Анатолий
Шихатов

ИЗДАНИЕ ШЕСТОЕ,
ДОПОЛНЕННОЕ И ПОСЛЕДНЕЕ

КОНЦЕРТНЫЙ ЗАЛ НА КОЛЕСАХ

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ
АВТОМОБИЛЬНОГО
ЗВУКА

ДМК
ПРЕСС

Шихатов А.И.

КОНЦЕРТНЫЙ ЗАЛ НА КОЛЕСАХ

ИЗДАНИЕ ШЕСТОЕ,
ДОПОЛНЕННОЕ И ПОСЛЕДНЕЕ

ДМК
Издательство
Москва, 2011

УДК 621.396.6
ББК 32.872
Ш65

Шихатов А.И.
Ш65 Концертный зал на колесах. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 504 с.: ил.
Шестое издание, дополненное.

ISBN 978-5-94074-661-4

В данной книге рассмотрены основные принципы конструирования высококачественных автомобильных аудио- и мультимедийных систем. Книга охватывает широкий круг вопросов: конструкция и схемотехника автомобильных мультимедийных устройств и усилителей, расчет и изготовление акустических систем, выбор структуры системы и ее компонентов, монтаж в автомобиле. Приведены справочные материалы и схемы узлов для самостоятельного изготовления. По сравнению с предыдущими изданиями материал значительно переработан: сокращена устаревшая информация, добавлены новые разделы.

К материалам шестого издания добавлен обзор современного состояния этой области техники и перспективы ее развития.

ББК 32.872
УДК 621.396.6

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельца авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность наличия технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможный ущерб любого вида, связанный с применением или неприменимостью любых материалов данной книги.

ISBN 978-5-94074-661-4
© Шихатов А. И., 2011
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

От автора ... 8
Соглашение ... 8
1. Что такое автозвук ... 10
1.1. Как все начиналось (звук) ... 13
1.2. Как все начиналось (видео) ... 21
1.3. Особенности стандартов телевещания ... 24
1.4. Эра DVD ... 27
1.5. Мультимедийные системы ... 29
1.6. Nostalgia ... 31
2. Источники сигнала ... 34
2.1. Классификация головных устройств ... 35
2.1.1. ГУ начального уровня ... 36
2.1.2. ГУ среднего класса ... 37
2.1.3. ГУ высокого класса ... 39
2.1.4. Комбинированные ГУ («сидиолы») ... 43
2.1.5. ГУ без дисковода ... 43
2.1.6. ГУ с видеомонитором ... 45
2.1.7. Мультимедийные центры ... 46
2.1.8. Мультимедийные проигрыватели ... 48
2.1.9. Видеомагнитофоны ... 51
2.2. Выбор головного устройства ... 51
2.3. Органы управления, компоновка и особенности конструкции ... 54
2.3.1. Механические органы управления ... 56
2.3.2. Электронные органы управления ... 56
2.3.3. Системы защиты ... 58
2.3.4. Региональные особенности ... 59
2.4. Радиоприемный тракт ... 60
2.5. Тракт звуковой частоты ... 64
2.5.1. Входные цепи тракта ЗЧ ... 64
2.5.2. Аудиорегулировки ... 65
2.5.3. Усилители мощности ГУ ... 68
2.6. Тракты CD и MD ... 71
2.7. Видеомониторы ... 74
2.7.1. Устройство ЖК-дисплея ... 75
2.7.2. Типы автомобильных мониторов ... 77
2.7.3. Радиоканал ... 78
2.7.4. Видеотракт ... 79
2.7.5. Канал звука ... 81
3. Автомобильные громкоговорители ... 82
3.1. Классификация головок громкоговорителей ... 83
3.1.1. Электродинамические головки прямого излучения ... 84
3.1.2. Изодинамические головки ... 86
3.1.3. Роторные головки ... 86
3.1.4. Электростатические головки ... 87

3.1.5. Пьезоэлектрические головки 88
3.1.6. Ионно-плазменные головки 88
3.2. Характеристики головок громкоговорителей 89
3.3. Динамические головки 92
3.3.1. Магнитная система 93
3.3.2. Подвес диффузора 100
3.3.3. Диффузор 103
3.4. Конструкции динамических головок 109
3.4.1. Диффузорные головки 109
3.4.2. Купольные головки 112
3.4.3. Коаксиальные головки 113
3.4.4. Специальные низкочастотные головки 116
3.5. Особенности автомобильных громкоговорителей 118
3.5.1. Широкополосные и коаксиальные головки 120
3.5.2. Специализированные громкоговорители 121
4. Акустическое оформление 125
4.1. Параметры Тиля-Смолла 126
4.2. Измерение параметров динамических головок 127
4.2.1. Оборудование для измерений 129
4.2.2. Измерение активного сопротивления 131
4.2.3. Измерение частоты основного механического резонанса 131
4.2.4. Определение добротности 132
4.2.5. Определение эквивалентного объема методом добавочной массы 133
4.2.6. Определение эквивалентного объема методом добавочного объема 134
4.3. Виды акустического оформления 136
4.3.1. Классификация низкочастотного акустического оформления 137
4.3.2. Открытое оформление 139
4.3.3. Лабиринт 140
4.3.4. Закрытый корпус 141
4.3.5. Фазоинвертор 143
4.3.6. Пассивный излучатель 145
4.3.7. Акустическая нагрузка 146
4.3.8. Полосовые громкоговорители 147
4.3.9. Сдвоенные головки 149
4.3.10. Рупор и акустическая линза 150
4.4. Выбор головки и расчет акустического оформления 151
4.4.1. Передаточная характеристика салона 154
4.4.2. Расчет открытого оформления 157
4.4.3. Расчет лабиринта 158
4.4.4. Расчет закрытого корпуса 159

4.4.5. Расчет акустического режекторного фильтра ... 159
4.4.6. Расчет фазоинвертора ... 163
4.4.7. Расчет пассивного излучателя ... 166
4.4.8. Расчет рупора ... 169
5. Усилители ... 171
5.1. Параметры усилителя и качество звучания ... 172
5.1.1. Выходная мощность ... 174
5.1.2. Гармонические и интермодуляционные искажения ... 174
5.1.3. Диапазон воспроизводимых частот ... 175
5.1.4. Скорость нарастания выходного напряжения ... 175
5.1.5. Коэффициент демпфирования ... 176
5.1.6. Минимальное сопротивление нагрузки ... 180
5.2. Структура автомобильных усилителей ... 181
5.3. Предварительные усилители и фильтры ... 185
5.4. Схемотехника усилителей мощности ... 189
5.4.1. Усилители на дискретных элементах ... 190
5.4.2. Усилители с применением интегральных схем ... 196
5.4.3. Гибридные усилители ... 200
5.5. Блоки питания автомобильных усилителей ... 204
5.5.1. Структура блоков питания ... 206
5.5.2. Цепи управления и защиты ... 209
5.5.3. Практические схемы узлов ПН ... 210
5.6. Импульсные усилители ... 215
5.6.1. Усилители класса D ... 217
5.6.2. Усилители класса T ... 220
5.6.3. Полностью цифровые тракты ... 223
5.7. Конструкция усилителей ... 225
6. Устройства обработки сигнала ... 230
6.1. Разделительные фильтры АС ... 230
6.1.1. Методика расчета пассивных фильтров ... 231
6.1.2. Корректирующие и согласующие цепи ... 235
6.1.3. Разделительно-корректирующие фильтры ... 240
6.1.4. Конструкция фильтров ... 246
6.2. Активные кроссоверы ... 248
6.2.1. Конструкция и органы управления ... 250
6.2.2. Схемы активных кроссоверов промышленного изготовления ... 256
6.2.3. Любительские схемы для сабвуферов ... 264
6.2.4. Любительские схемы активных фильтров ... 273
6.3. Корректоры АЧХ ... 276
6.3.1. Параметрическая коррекция АЧХ ... 278
6.3.2. Коррекция при помощи режекторного фильтра ... 279

6.3.3. Кроссовер-эквалайзер ... 281
6.3.4. Коррекция при помощи эквалайзера ... 284
6.3.5. Корректор в канале сабвуфера ... 289
6.4. Звуковые процессоры ... 291
6.4.1. Особенности пространственного слухового восприятия ... 293
6.4.2. Аналоговые системы объемного звучания ... 295
6.4.3. Цифровые системы объемного звучания ... 301
6.4.4. Психоакустические процессоры ... 304
7. Дополнительные устройства ... 316
7.1. Антенны ... 316
7.1.1. Основные определения ... 317
7.1.2. Типы автомобильных антенн ... 319
7.1.3. Активные антенны ... 321
7.1.4. Разнесенные антенные системы ... 323
7.1.5. Выбор антенны ... 325
7.1.6. Антенна из обогревателя ... 327
7.2. Видеокоммутатор ... 328
7.3. Устройства индикации ... 333
7.3.1. Стрелочные индикаторы выходной мощности ... 338
7.3.2. Светодиодные индикаторы выходной мощности ... 340
7.3.3. Питание ... 346
7.3.4. Конструкция ... 348
7.4. Устройства управления питанием ... 349
7.4.1. Распределитель управляющего напряжения ... 349
7.4.2. Автоматический выключатель ... 351
7.5. Проводное дистанционное управление ... 353
8. Компоновка аудиосистемы ... 356
8.1. Слагаемые результата ... 357
8.1.1. Акустические свойства салона автомобиля ... 358
8.1.2. Особенности слухового восприятия ... 360
8.1.3. Ориентация излучателей ... 361
8.1.4. Фронтальный бас ... 362
8.2. Выбор структуры АС ... 363
8.3. Выбор частот раздела и порядка фильтров ... 372
8.4. Би-ампинг ... 376
8.5. Комбинированное подключение нагрузки ... 379
8.6. Малосигнальные пассивные фильтры ... 383
8.7. Выбор структуры усилительного тракта ... 385
9. Монтаж аудиосистемы ... 388
9.1. Стеклопластик ... 389
9.2. Изготовление акустического оформления ... 390
9.2.1. Особенности автомобильных АС ... 391
9.2.2. Установка головок ... 392
9.2.3. Герметичность ... 394

9.2.4. Жесткость ... 395
9.2.5. Наполнитель ... 395
9.2.6. Изготовление прямоугольных корпусов ... 397
9.2.7. Изготовление корпусов сложной формы ... 398
9.2.8. Изготовление рупоров ... 400
9.2.9. Практические конструкции АС ... 401
9.3. Шумоизоляция и вибродемпфирование ... 405
9.4. Цепи питания ... 409
9.4.1. Требования безопасности ... 410
9.4.2. Буферный конденсатор ... 411
9.4.3. Дополнительный аккумулятор ... 413
9.4.4. Нестандартное напряжение бортовой сети ... 414
9.5. Цепи акустических систем ... 416
9.6. Сигнальные цепи и помехи ... 417
9.7. Сервоприводы ... 420
9.8. Антенны ... 421
9.9. Настройка ... 422
9.9.1. Абсолютная и относительная фазировка АС ... 423
9.9.2. Измерение и коррекция АЧХ ... 423
10. Последняя глава ... 427
10.1. Тенденции и перспективы car audio ... 428
10.2. Шаги в будущее ... 433
10.2.1. Интернет-мобиль ... 433
10.2.2. Айфон-мобиль ... 434
10.3. Аудио для скутера ... 439
10.3.1. Акустическая система ... 439
10.3.2. Усилитель ... 440
10.3.3. Детали и конструкция ... 444
10.3.4. Подключение нагрузки ... 445
10.4. Адаптивный тыловой канал системы пространственного звучания ... 446
10.4.1. Из истории систем объемного звучания ... 447
10.4.2. Теория ... 450
10.4.3. Принцип работы ... 452
10.4.4. АТК – вариант 1 ... 454
10.4.5. АТК – вариант 2 ... 460
10.4.6 АТК – вариант 3 ... 463
10.4.7. Детали, конструкция, возможные замены ... 463
Приложения ... 467
Приложение 1. Базовые сведения ... 467
Приложение 2. Аудиокарты инсталляций ... 479
Приложение 3. Характеристики телевизионных стандартов ... 484
Литература ... 491
Алфавитный указатель ... 498

Моей жене Белле –
она верила в меня всегда.

ОТ АВТОРА

В России недостаток средств традиционно компенсируется оригинальностью решений, и эта книга предназначена в первую очередь тем, кто привык все делать своими руками. Это не пособие по ремонту магнитол, и не руководство по конструированию громкоговорителей, и не справочник начинающего плотника. Хотя книгой можно пользоваться и в этих целях, ее главная задача – объединить и систематизировать основные сведения, необходимые конструктору автомобильной аудиосистемы, не превращаясь при этом в гибрид энциклопедического словаря и армейской инструкции. Прошу не судить слишком строго: насколько мне известно, за годы, прошедшие с момента выхода первого издания, других попыток такого рода больше никто не предпринял. Но критиков хватает...

Книга тщательно структурирована, это облегчает поиск нужной информации. По той же причине некоторые положения иногда повторяются. Благодаря этому читать ее можно с любого места и в любую сторону, но я рекомендую в первый раз все же прочитать ее традиционным способом – с начала и до конца. Надеюсь, что она окажется полезной широкому кругу любителей музыки, и не только автомобилистам.

Я старался по возможности избегать сложных формул и теоретических обоснований – только выводы, имеющие практическую ценность, поэтому желающих получить подробную информацию отсылаю к специальной литературе. Краткий список использованных трудов есть в конце книги, его можно расширить еще в несколько раз, – но я вовремя остановился. Нельзя объять необъятное: слишком динамично развивается эта область техники, поэтому подробно рассмотрены только те решения, которые на настоящий момент стали классическими.

Выражаю свою искреннюю признательность всем, кто прямо или косвенно помог созданию, а потом и улучшению этой книги. Спасибо и книге – она увлекла за собой автора. Как и положено литературному произведению.

Москва, февраль 2008

Соглашение

Основные термины и определения в тексте выделены *курсивом*.

Автозвук, или **car audio**, – тяжелая форма аудиофилии, выражающаяся в стремлении добиться идеального звучания автомобильной аудиосистемы. Передается при контакте с носителем болезни. Лечению обычно не поддается. Скрытый инкубационный период – от нескольких часов до нескольких месяцев. В начале XXI века достиг масштабов эпидемии.

Большой музыкальный словарь. Москва. 2050 год

1. ЧТО ТАКОЕ АВТОЗВУК

Еще недавно желание иметь в автомобиле аудиосистему класса Hi-Fi расценивалось большинством окружающих в лучшем случае как пижонство. Однако для многих автомобилистов машина превратилась в нечто большее, чем просто средство передвижения. Отношение к автомобилю как к среде обитания уже не вызывает недоумения окружающих, а поклонников качественного звуковоспроизведения и мультимедиа в автомобиле становится все больше. Человек, проводящий за рулем несколько часов в день, хочет слушать не только последние известия, поэтому вполне объяснимо желание иметь в машине нечто большее, чем просто «магнитола + две колонки». Автомобиль нередко остается единственным местом, где можно послушать музыку в свое удовольствие, не создавая проблем окружающим. А мультимедийная система способна превратить его в дом на колесах.

Не верьте тем, кто говорит, что музыка в салоне автомобиля хорошо звучать не может «по определению», а стало быть, не нужна. Хорошее звучание в салоне автомобиля не только возможно, но и необходимо – по крайней мере, его владельцу. По данным последних исследований правильно подобранная музыка снижает утомляемость водителя. Однако никакого особенного «автомобильного» звука нет и быть не может, хотя конструирование качественных автомобильных аудиосистем имеет свои специфические особенности. Это связано с акустическими свойствами салона автомобиля, о чем будет рассказано позднее. Кстати, многие используемые в автомобильных аудиосистемах решения вполне можно распространить и на домашнюю аппаратуру. Обратное верно только отчасти!

Не каждый автомобиль стоит превращать в концертный зал на колесах. Нет смысла тратить силы и средства, если музыкальные вкусы владельца ограничены незатейливой музыкой. Для ее воспроизведения не требуется ни широко-

го динамического диапазона, ни правильной передачи нюансов звучания. В подобных случаях хорошая акустика просто противопоказана: все огрехи записи и исполнения становятся сразу заметны. Идеал нужен не всем. Сколько людей довольны случайным набором аппаратуры – лишь бы она не хрипела и подходила по цвету.

Зато поклонникам «натуральных» жанров открывается широчайшее поле для деятельности. Как нет двух одинаковых автомобилей (это прекрасно знают автолюбители), так нет одинаковых аудиосистем. Создателю высококачественной установки придется стать конструктором, художником, механиком и овладеть еще десятком других специальностей. Автозвук – это сплав музыки, науки и спорта, поиск закономерностей и выработка теорий еще ждут своих первооткрывателей.

Нередко поиск идеала идет годами. Этот увлекательный процесс (порой даже не процесс, а состояние), помимо точного расчета, включает в себя немалую долю «шаманства», а самые удачные установки сродни произведениям искусства. Обойтись при этом только готовыми изделиями практически невозможно. Необычные компоновочные и схемотехнические решения несут в себе индивидуальность автора, а самые удачные становятся объектом для подражания. В этом плане автозвук подобен автоспорту – новинки, бывшие когда-то уделом рекордных автомобилей, теперь применяются в серийном производстве.

Впрочем, автозвук уже стал одним из видов спорта. В олимпийскую программу он пока не включен, но это дело будущего. За рубежом соревнования по качеству звучания автомобильных аудиосистем поводятся уже много лет. В России соревнования различных форматов регулярно проводятся с 1998 года и неизменно привлекают большое количество зрителей и участников из разных городов. За прошедшие годы география соревнований расширилась: прошла серия соревнований на первенство Урало-Сибирского региона, ряд соревнований на Дальнем Востоке.

Позднее Россия стала членом EMMA – европейской ассоциации автомобильного мультимедиа. Самая зрелищная часть соревнований – dB-drag, «гонка за децибелами», выделилась в самостоятельный вид автозвукового спорта. Увеличение числа мультимедийных систем привело к необходимости выделить в 2003 году отдельный класс участников, но уже в 2004 году внутри класса «мультимедиа» было введено внутреннее деление.

В зависимости от формата соревнований судейские бригады по специальной системе оценивают исполнение установки, субъективное качество ее звучания и объектив-

ные параметры: частотную характеристику системы и максимальный уровень звукового давления в салоне. Победители получают призы, дипломы и кубки.

Благодаря растущему интересу к автомобильной аудиотехнике появились специализированные издания, предлагающие готовые решения в этой области. В то же время они дают немало пищи для размышлений самодеятельному конструктору. Публикации на эту тему появились и в радиолюбительской литературе. Конечно, заниматься самостоятельной разработкой и изготовлением магнитол, приемников или телевизоров в наши дни вряд ли кто станет – в продаже имеется аппаратура на любой вкус, однако доработка и изменение ее характеристик всегда по силам любителю.

Что же касается усилителей и дополнительных устройств – это традиционно наиболее популярные конструкции для самостоятельного изготовления. Тем более что в ряде случаев «коробочку» с необходимыми свойствами легче изготовить, чем купить. Поэтому среди поклонников автозвука появилось пока немногочисленное «леворадикальное» крыло. Самодельная аппаратура, минималистский подход к конструированию («чем проще – тем лучше»). Впрочем, простота в данном случае не означает дешевизну. Время и труд бесплатны только для себя, а на пробы и ошибки и того, и другого уходит немало. Ведь понятия «дешево», «хорошо» и «быстро» сочетаются только попарно...

Но источник сигнала и усилитель – только надводная часть целого айсберга проблем, встающих перед создателем мобильной установки. Скептическое отношение к Hi-Fi в автомобиле вызвано прежде всего безграмотным подходом к установке акустических систем. Ошибки пытаются устранить техническими изменениями, такими как замена динамиков, установка усилителей; хотя в подобной ситуации необходим пересмотр компоновки системы в целом.

При любом подходе к аудиосистеме в процессе установки аппаратуры необходимо выполнять определенные требования. Поэтому если вам предлагают «быстро и качественно установить музыку» – не верьте. Процесс этот совсем не быстрый, даже если на автомобиль набросится целая бригада («лобовой» вариант – скопировать готовую систему или установить все компоненты в штатные места – рассматривать не будем, это не спортивно). Оставим пока в стороне дизайн системы и удобство управления – это важные, но не основные требования. В первую очередь речь в этой книге пойдет о качестве звучания и о том, какими средствами решить эту задачу.

Как ни странно, совершенствуя десятилетиями автомобильную аудиоаппаратуру, инженеры всего мира позабыли

о том, для чего она, собственно, предназначена, – об автомобиле. Устанавливали как придется и где придется, а чаще – в штатные места, предложенные людьми, ни бельмеса не смыслившими в акустике. Спохватились где-то к середине 90-х годов, и начала бурно развиваться новая наука – наука установки.

Любая аудиосистема состоит из трех составных частей: источника сигнала, усилительного тракта и акустического преобразователя. Они же являются причинами искажений исходного звукового сигнала. Задача конструктора – разработать структуру тракта и подобрать компоненты так, чтобы эти искажения были минимальными при разумных затратах на их минимизацию. Искусство как раз и заключается в том, чтобы в каждом случае найти «золотую середину». А складывается оно из трех составляющих: знания материальной части, теории и практики. В этой последовательности мы их и рассмотрим. Но сначала обратимся к истории [38, 66].

1.1. КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ (ЗВУК)

Первым дополнительным устройством автомобиля стал радиоприемник. К началу 30-х годов он стал широко использоваться ведущими производителями автомобилей в качестве штатного оборудования. Кстати, именно автомобильные радиоприемники дали жизнь многим техническим решениям и стандартам – например, виброустойчивые радиолампы в металлических баллонах с напряжением накала 6,3 В появились именно тогда. Только в начале 50-х годов напряжение бортовой сети автомобилей поднялось до 12,6 В.

В те же 30-е годы были заложены и основы нынешней несогласованности стандартов радиовещания: Европа использовала в основном диапазон длинных волн, США активно осваивали средневолновый. При распределении частот в каждом регионе руководствовались своими соображениями, и стандартизация сетки частот, проведенная впоследствии, просто закрепила status quo.

Даже при наличии развитой сети станций радиовещания удовлетворить вкусы всех слушателей невозможно, и поиск альтернативного источника звуковых программ начался практически сразу. Первые попытки были предприняты еще в 30-е годы, когда магнитофон использовал в качестве носителя записи стальную проволоку. Впрочем, стоимость по тем временам была просто чудовищной, и покупателей нашлось немного. Аппаратура устанавливалась в багажнике – полвека спустя автомобилисты снова вернулись к этой компоновке. Позднее, в 60-х годах были попыт-

ки использования катушечных магнитофонов с широкой лентой, на которой размещали множество дорожек с отдельными программами. Однако, несмотря на повышение надежности, эксплуатация была неудобной, а стоимость – весьма высокой. До уровня «народной» эта аппаратура никак не дотягивала.

Появившиеся после Второй мировой войны грампластинки на 45 оборотов и музыкальные автоматы «Juke Box» тоже пытались использовать в автомобиле. Хотя разработчикам и удалось адаптировать конструкцию такого «чейнджера» к условиям автомобиля, но слушать пластинки во время движения можно было только в лимузинах с мягкой подвеской – несмотря на амортизацию проигрывателя, игла звукоснимателя часто выскакивала из дорожки. Малогабаритные долгоиграющие грампластинки с частотой вращения $16^2/_3$ об/мин и созданные специально для них автомобильные проигрыватели также не имели успеха. Увеличение прижимной силы иглы сократило время жизни пластинки до нескольких проигрываний, но мир еще не был готов к одноразовым изделиям.

Рис. 1.1. Автомобильный проигрыватель пластинок

Сейчас уже трудно установить, кому первому пришла в голову мысль объединить автомобильный приемник с магнитофоном, но практическое применение автомагнитолы стало возможным с появлением различных вариантов магнитофонной кассеты, упрощающих водителю и слушателям манипуляции с магнитофоном. Конкурировавшие между собой на рынке домашней аудиотехники компакт-кассета, предложенная фирмой Philips в 1964 году, и EL-кассета продолжили борьбу и на рынке автомагнитол. Однако первый автомобильный проигрыватель TC-3200 под компакт-кассету был выпущен фирмой Sony только в 1969 году. В EL-кассете использовалась лента шириной 6,25 мм, (как в катушечных магнитофонах), скорость движения также была «катушечной» – 9,53 см/с. От привычной нам сегодня компакт-кассеты EL отличалась несколько большими размерами, что и дало тогда повод назвать кассету Philips «компактной». Несмотря на значительно более высокие технические параметры, этот стандарт потерпел полное поражение. Для массового потребителя малые габариты компакт-кассеты перевесили ее недостатки, поэтому продукт EL к середине 70-х годов полностью вышел из употребления. Этому способствовало и быстрое улучшение качества магнитных лент, головок, а также самих кассетных магнитофонов.

Рис. 1.2. Первый проигрыватель кассет SONY TC-3200

В Америке долгое время была популярна появившаяся несколько раньше картридж-кассета, в которой также использовалась широкая лента. Без борьбы не обошлось и тут: существовали две абсолютно несовместимые конструкции картридж-кассеты. Однако победителей в этом поединке не было: конструкция обеих кассет оказалась не самой удач-

ной. Рулон ленты в картридж-кассете был бесконечным: лента вытягивалась из середины рулона и наматывалась на него снаружи. Возможность перемотки отсутствовала принципиально. Несмотря на малую длину ленты (всего 25 м), она часто запутывалась, не помогло и введение графитовой смазки. После распространения компакт-кассеты позиции картридж-кассеты сильно пошатнулись, и их удалось на некоторое время поправить только благодаря моде на квадрофонию. Однако мода прошла достаточно быстро, поэтому к середине 70-х годов производство аппаратуры с картридж-кассетой было прекращено.

Впрочем, свой след в истории она оставила: отсутствие перемотки в тот момент преподносилось как дополнительный фактор безопасности – водителю уже не нужно было отвлекаться от управления. К слову, во многих странах запрещается отрывать руки от руля во время движения, что в немалой степени способствовало появлению органов дистанционного управления магнитолами.

Понятно, что автомобильная аппаратура вплоть до середины 60-х была ламповой. Условия эксплуатации в автомобиле – вибрация, перепады температуры – заставили инженеров всего мира искать новые технические решения. Требование компактности заставило очень оперативно перейти от ламп к транзисторам, а от них – к микросхемам. В СССР транзисторные автомобильные приемники начали производиться с 1964 года, и первыми были АТ-64 и АТ-66 – внушительного размера ящики, четко ориентированные на престижную 21-ю «Волгу». Радиоприемники А-370 (для «копейки») и А-370М (для «ушастика») появились в 1970 году. В них было целых 8 транзисторов! Но даже в начале 80-х, когда на Западе вовсю применялись микросхемы и микросборки, практически все советские автомобильные приемники и магнитолы продолжали выпускаться на дискретных элементах...

Автомагнитолы в СССР появились еще в начале 70-х годов. Первоначально они привозились из-за рубежа и были

Рис. 1.3. Автомобильный приемник А-370

рассчитаны на использование компакт-кассеты, но вместе с иностранными автомобилями к нам иногда попадали аппараты других типов.

Первый отечественный массовый автомобильный проигрыватель компакт-кассет (еще не автомагнитола, а только проигрыватель) «Электрон-501 стерео» появился на рынке в 1975 году и сразу стал «хитом сезона». Конструкция его не отличалась особой оригинальностью, но оказалась удивительно надежной, а сама модель стала редкой долгожительницей и претерпела несколько модернизаций. В конце 80-х годов заводские заделы продавались в виде набора узлов для самостоятельной сборки.

Рис. 1.4. Автомомагнитола АМ-301

Рис. 1.5. Автомобильный проигрыватель «Электрон-501»

Следующие два изделия явно указывают на то, сколь тесны были узы между производством автомагнитол в СССР и «оборонкой» с ее кондовостью и несокрушимой боевой мощью. Уже в 1973 году в Загорске начался мелкосерийный выпуск монофонической магнитолы «АМ-301» с ориги-

нальным лентопротяжным механизмом – без перемотки, но с моторизованной загрузкой. Она имела одну-единственную кнопку управления – выброс кассеты. Но что это была за кнопка! Горе пассажиру, не успевшему отклониться вправо или влево! Кассета выстреливалась мощной патефонной пружиной, взведенной при помощи червячного механизма и удерживавшейся электромагнитом. Загрузка «катапульты» производилась электромотором, и ЭТО еще и играло...

Другой музыкальный агрегат эпохи гонки вооружений – автомагнитола с автореверсом «Эола-310» для «Волги», экзотическая штука даже для загнивающего Запада. Автореверс был реализован при помощи храповика и электромагнита, который управлялся генератором импульсов – по сути, это был шаговый двигатель, «мозг» передовой военной техники того времени. В кабине «Волги» в течение двух секунд, пока работал автореверс – а работал он, надо признать, чрезвычайно четко и быстро, – стоял оглушительный треск, так что водитель и пассажиры могли себя почувствовать, к примеру, экипажем бомбардировщика на боевом вылете.

Рис. 1.6. CD-проигрыватель Sony CDX-5

Появление в 1982 году компакт-диска дало новый толчок развитию автомобильной аппаратуры. Уже в 1984 году фирма Sony выпустила первый образец автомобильного проигрывателя компакт-дисков CDX-5, а через пару лет CD-ресиверы (или магнитолы с компакт-диском, как их порой неверно называют) стали выпускать практически все ведущие производители автомобильной аппаратуры. Радикальное улучшение качества воспроизведения и высокий уровень сервиса сделали этот вид аудиотехники очень популярным. На первом этапе в основном использовались CD-чейнджеры, подключаемые к магнитоле, но затем рас-

пространение получили аппараты в габаритах стандартной магнитолы с проигрывателем компакт-дисков (CD-ресиверы) и мини-дисков (MD-ресиверы). Кроме однодисковых моделей, выпускаемых всеми производителями, фирма Alpine выпускала трехдисковый CD-ресивер с кассетной загрузкой 3DE-7886R, фирма JVC – трехдисковый KD-GT5R, а Nakamichi – шестидисковый со щелевой загрузкой MB-100. Фирма JVC в 1999 году выпустила комбинированный аппарат KD-MX3000R, который работает с CD и MD (считывающий механизм автоматически распознает тип носителя).

Мини-диск, разработанный фирмой Sony, – прекрасная альтернатива компакт-кассете и компакт-диску одновременно. В стандарте MD используется сжатие цифровой информации приблизительно в пять раз с учетом особенностей слухового восприятия. Качество звучания незначительно уступает компакт-диску и связано с характером музыкального материала, но при этом габариты мини-диска значительно меньше, а гарантированное число перезаписей – до миллиона. Автомобильную аппаратуру под мини-диск, помимо Sony, выпускают JVC, Alpine и другие производители. Коммерческого успеха мини-диск не имеет, но пока и не умирает. Причина состоит в том, что на момент разработки этого стандарта записываемые и перезаписываемые компакт-диски рассматривались исключительно как компьютерные носители. Широкое распространение этих дисков заставило производителей домашней и автомобильной аппаратуры ввести в массовых моделях возможность их чтения. После этого главное преимущество мини-диска – возможность самостоятельно составлять фонограммы – стало несущественным. В то же время записываемые и перезаписываемые диски не всегда хорошо воспринимаются автомобильной аппаратурой высокого класса.

Помимо перечисленных цифровых источников сигнала, известны и другие. Фирма Sony выпускала автомобильные цифровые магнитофоны формата R-DAT. Запись цифрового сигнала в них производится блоком вращающихся головок на магнитную ленту, размещенную в кассете специальной конструкции. Несмотря на высокое качество записи, превосходящее компакт-диск, коммерческого успеха эти аппараты не имели. Значительная сложность и обилие прецизионных механических узлов не позволили снизить их стоимость.

Не все характеристики компакт-диска идеальны, но из существующих на сегодняшний день форматов цифровой записи он обеспечивает наиболее высокое качество звучания. Емкость компакт-диска (74 минуты) многим кажется недостаточной, и популярность приобретают форматы со

сжатием данных, позволяющие в несколько раз сократить физический объем фонотеки. Хотя «сжатые» форматы MP3 и WMA удобны в эксплуатации, они все же малопригодны для записи «живой» музыки с большим динамическим диапазоном и сложным спектральным составом. Динамический диапазон сжимается, средний уровень громкости повышается, и звучание становится «плотным». Звуки второго плана (реверберация, сложные оттенки звучания) безжалостно подавляются, остается только лидирующая мелодия. Но, как и сорок лет назад, для многих слушателей удобство выше качества [11].

Вот и сейчас на рынок автомобильной аудиотехники стремительно наступает цифровой формат MP3. От других цифровых методов звукозаписи он отличается значительной степенью сжатия данных. Первые модели автомобильных MP3-плееров представляли собой специализированные компьютеры с записью звуковой информации в цифровом виде на винчестер и декодер MP3. Однако очень скоро основным носителем стал компакт-диск, а в современных моделях широко используются твердотельные носители – карты памяти SD/MMS и флеш-накопители с интерфейсом USB. Появились модели ресиверов, вовсе не имеющие дисковода.

В массовых образцах MP3-ресиверов предусматривается возможность воспроизведения как обычных аудиозаписей, так и записей в формате MP3, а во многих моделях – и «компьютерного» формата WMA. Хотя качество звучания MP3, а тем более WMA заметно хуже по сравнению с другими цифровыми стандартами, число приверженцев новой аппаратуры увеличивается. Не в последнюю очередь это происходит благодаря доступности звуковых файлов через Интернет. В результате разрыв между поклонниками качественного звучания и рядовыми слушателями стал еще больше.

Массовая психология – загадка. Очень часто коммерческий успех или провал каких-либо решений не поддается никакому рациональному обоснованию. Вспомните триумф компакт-кассеты (потенциал которой тогда не могли предвидеть даже специалисты) или сокрушительный провал цифровой магнитной записи без сжатия данных (R-DAT, S-DAT/DCC), которой прочили блестящее будущее. Формат «мини-диск», использующий весьма «деликатное» сжатие данных, практически без потери качества, оказался не у дел по причине малой емкости – те же 74 минуты, что и у компакт-диска. В то же время слухи о скорой смерти кассеты сильно преувеличены. Хотя по техническим параметрам аналоговая магнитная запись на кассете усту-

пает всем цифровым форматам, победителя будет определять жанр музыки и класс аппаратуры, и еще не факт, что кассета проиграет это соревнование. Прибавьте к этому смешную стоимость носителя.

В пору появления первых автомагнитол качество звучания радиоприемника в диапазоне УКВ намного превосходило качество компакт-кассеты, и лишь к началу 80-х они примерно сравнялись. Появление CD-ресиверов сразу отодвинуло аналоговый радиоприем на второй план. Поэтому радиовещательные компании вкладывают средства в развитие цифровых технологий, цифровое радиовещание за рубежом становится серьезным конкурентом «твердых» носителей сигнала [23, 32, 33]. Качество звучания в этом случае хоть и уступает компакт-диску, но вполне адекватно звучанию сжатых форматов. Зато шумы и помехи, главный источник раздражения при прослушивании радиопередач, отсутствуют полностью.

Появившиеся на рубеже веков автомобильные DVD-проигрыватели и DVD-ресиверы быстро вышли из разряда дорогих игрушек и стали вполне доступны по цене [51, 58, 59, 76, 77]. Поскольку эти аппараты поддерживают практически все дисковые форматы, у них есть шансы вытеснить обычные CD-ресиверы. И какие бы доводы ни приводили противники телевизоров в автомобиле, но за мультимедийными системами – будущее. Монитор или телевизор – это не только кино в дороге, это и навигация, и обзор «мертвых» зон, и другая информация [7, 10, 38, 53, 67, 94].

1.2. КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ (ВИДЕО)

Первые телевизоры, пригодные для использования в обычном автомобиле, появились уже в середине 60-х. Правда, это были черно-белые модели – эра цветного телевидения только начиналась. Но развитие техники шло гигантскими темпами. Распространение транзисторов (а потом микросхем) позволило ввести необходимые для мобильной аппаратуры функции, повысить надежность и значительно уменьшить габариты. И если в фильмах про Фантомаса (1964–1967) автомобильный телевизор еще был частью фантастического антуража (монтаж виден невооруженным глазом), то в фильме «Высокий блондин в черном ботинке» (1972) автомобильная видеодвойка – штатное оборудование (правда, пока в лимузине секретной службы).

К середине 70-х автомобильный телевизор перестает быть экзотикой. Образцы такой техники в 1975–1978 годах выпустила отечественная промышленность («Электроника

ВЛ-100», «Шилялис-авто» и др.). К концу 70-х появились и первые портативные модели, рассчитанные на прием цветного изображения. Однако, несмотря на достаточно демократичные цены, автомобильные телевизоры широкого распространения не получили ни «у них», ни «у нас». Главный парадокс заключался в том, что автомобильный телевизор чаще всего приобретали не для машины, а для пикника на лоне природы или для дачи. Причина этого – сложность размещения в салоне автомобиля даже небольшого телевизора. Осознавали этот факт и разработчики, но отойти от традиционных кубических объемов было не так-то просто.

Видеотехника тех лет использовала электронно-лучевую трубку, поэтому глубина аппарата была достаточно велика. Для укорочения трубки нужно увеличить угол отклонения луча, но такое решение резко увеличивает мощность, потребляемую узлом развертки телевизора. И если для стационарного аппарата дополнительные 30–50 ватт потребляемой мощности не имеют особого значения, то автомобильный телевизор с таким потреблением энергии никому не нужен. Привычка к сотням ватт, потребляемых автомобильной аппаратурой, еще не сформировалась.

Для решения задачи требовался экран принципиально нового типа – компактный и экономичный. К концу 70-х годов кинескоп оставался в телевизоре единственным электровакуумным прибором, но его позиции казались незыблемыми. Жидкокристаллические индикаторы (LCD-display) в тот момент никто не рассматривал всерьез. Телевизор в наручных часах, телевизор-картина и прочие чудеса техники имели чудовищную себестоимость и крайне низкие характеристики. Уровень технологии не позволял наладить массовый выпуск таких товаров по доступной цене, так что дальше выставок и сенсационных заметок в прессе дело не пошло. Основные силы были брошены на совершенствование традиционных методов получения телевизионного изображения, прежде всего – улучшение характеристик кинескопа.

Великолепный портативный телевизор Sinclair Vision создал гениальный инженер Клайв Синклер (еще мы обязаны ему появлением домашних игровых компьютеров, развитию электронных наручных часов и портативных калькуляторов). В телевизоре был использован почти плоский кинескоп черно-белого изображения (толщина 2 см при диагонали 12 см). Благодаря уникальной системе отклонения электронного луча удалось переместить электронную пушку с задней поверхности кинескопа на боковую сторону. Однако попытки создать кинескоп цветного изображения с аналогичным принципом действия оказались безрезуль-

татными. Для массового выпуска технология была слишком «ювелирной».

Тем временем совершенствовалась конструкция ЖК. Поначалу развитие шло медленно. Хотя символьные индикаторы на жидких кристаллах широко применялись уже в середине 70-х годов, матричные панели, пригодные для вывода произвольной информации, появились только в начале 80-х. Быстродействие их было крайне низким, разрешающая способность и контрастность также оставляли желать лучшего, поэтому такие панели применяли поначалу только в портативных компьютерах.

Тем не менее уже к концу 80-х годов появились первые жидкокристаллические панели, пригодные для вывода движущегося цветного изображения с приемлемым качеством. Дальнейший прогресс шел по пути совершенствования достигнутого. Качество изображения современного жидкокристаллического экрана уже как минимум не уступает традиционному кинескопу, а потребление энергии и габариты сведены к минимуму. Наработка на отказ превышает сроки эксплуатации аппаратуры в несколько раз [10]. Теперь телевизор действительно смог стать автомобильным, хотя на этом пути были и другие препятствия.

Основная проблема при приеме изображения в движущемся автомобиле – непостоянство уровня сигнала. Телевизионное вещание ведется в диапазоне УКВ на метровых и дециметровых волнах. Радиоволны этого диапазона распространяются только в пределах прямой видимости, отражаются и поглощаются предметами. Поэтому на условия приема оказывает влияние буквально все – прежде всего рельеф местности и состояние атмосферы [37, 74, 80].

Каждый «ухудшающий» фактор проявляется по-своему. Отраженные сигналы вызывают «повторы» и «тянучки» на изображении, изменения уровня проявляются как резкое изменение яркости и контрастности изображения. При слабом сигнале происходит срыв синхронизации развертки, изображение «мелькает». Это общие особенности телевизионного приема в автомобиле, в частности, зависят от используемого телевизионного стандарта. Искажения «картинки», вызванные приемом отраженных или задержанных сигналов, подавить очень сложно. В какой-то степени проблему решают разнесенные антенные системы, но положение усугубляется еще и тем, что для передачи изображения во всех телевизионных стандартах используется амплитудная модуляция, подверженная помехам и критичная к уровню сигнала.

Поскольку видеоинформация в мультимедийных системах передается в формате телевизионного сигнала, ло-

гичнее всего будет рассмотреть особенности существующих сегодня стандартов. Это позволит в дальнейшем не отвлекаться на вопросы взаимной совместимости оборудования.

1.3. ОСОБЕННОСТИ СТАНДАРТОВ ТЕЛЕВЕЩАНИЯ

Различия телевизионных систем были заложены еще на этапе черно-белого телевидения [80]. Во всех системах уже с самого начала использовалась чересстрочная развертка, но частота смены полей (полукадров) была привязана к частоте питающей сети. Поэтому в Старом свете она равна 50 Гц, что составляет 25 кадров в секунду, в Новом свете – 60 Гц (30 кадров в секунду). Но это только цветочки. Число строк разложения в разных телевизионных стандартах также различалось. Разброс был приличный – от 343 строк в раннем американском стандарте до 819 строк во французском. К началу 70-х годов осталось только два варианта развертки – на 525 и 625 строк. Дольше всех держались консервативные британцы: стандарт разложения на 405 строк свалило только цветное телевидение, к созданию которого основательно приложили руку их извечные соперники – германцы и французы. Кстати, наряду с новым стандартом телевещания Франция и Англия более 20 лет (до 1987 г.) поддерживали старый.

Для передачи видеосигнала используется амплитудная модуляция. Применительно к видеосигналу существуют два способа амплитудной модуляции – позитивная и негативная. При позитивной модуляции уровень сигнала прямо пропорционален яркости элемента изображения. При негативной – наоборот (чем «чернее», тем больше уровень сигнала). Сигналы синхронизации развертки в любом случае передаются уровнем «чернее черного» вместе с видеосигналом. Поэтому вид модуляции определяет и чувствительность к помехам. Синхросигналы в системах с негативной модуляцией передаются с максимальным уровнем, поэтому помехоустойчивость таких систем выше. Да и сами помехи при негативной модуляции имеют вид черных точек, менее заметных, чем светлые пятна при позитивной модуляции. Сейчас позитивная модуляция сохранилась только во французском стандарте вещания (SECAM-L).

Помимо различий в способе получения и передачи «картинки», не меньше проблем связано с передачей звука. Сигнал звука передается на собственной несущей частоте отдельно от сигнала изображения, и тут открылся такой простор для творчества! Французы и здесь отличились (вместе с англичанами, но те быстро одумались). Во фран-

цузском стандарте для передачи звука с 1948 года используется амплитудная модуляция. Весь остальной мир (кроме Монако и Люксембурга) давно перешел на частотную модуляцию. Она не только повышает качество вещания, но и позволяет упростить конструкцию радиоприемного тракта телевизора.

Остается еще разнос несущих частот звука и изображения. Он определяется полосой частот, занимаемой видеосигналом, плюс некоторый защитный промежуток. Уменьшение этого промежутка позволяет при одной и той же сетке частот уменьшить влияние соседних каналов, но требует усложнения конструкции телевизора (чтобы избежать взаимных помех каналов звука и изображения). Критерии целесообразности выдвигались разные, в результате разнос несущих частот звука и изображения даже в родственных стандартах составлял 4,5, 5,5, 6,0, 6,5 МГц (**Приложение 3**).

Наконец, последнее звено – цвет. Для передачи цвета используются всего три основные системы – NTSC, PAL, SECAM и две разновидности имеющихся (PAL-M и MESECAM). С точки зрения качества «картинки» все они примерно равноценны (если хотите, одинаково ущербны).

Все существующие сейчас системы цветного ТВ используют психофизиологическое свойство человеческого зрения: пониженную чувствительность к цветовой четкости по сравнению с четкостью черно-белого изображения. Это позволяет передавать с максимальным разрешением сигнал яркости (черно-белый сигнал), а сигналы цветности – с потерей деталей. Для передачи достаточно «красного» и «синего» сигналов, «зеленый» можно получить при декодировании. Для этого в телевизоре из сигнала яркости в определенной пропорции вычитаются «синий» и «красный» цветоразностные сигналы. Передача сигналов цветности идет совместно с сигналом яркости на поднесущей частоте, значение которой составляет 4,43 МГц или 3,58 МГц (в «оригинальном» SECAM-L используются две отдельных поднесущих 4,25 и 4,4 МГц). Технические различия определяются способом модуляции поднесущей частоты и сигналами опознавания цвета (**Приложение 3**).

Кстати, о четкости изображения. Наше зрение устроено таким образом, что разрешающая способность по горизонтали значительно выше, чем по вертикали. Проверить это легко – просто положите телевизор на бок, и «полосатость» будет бросаться в глаза. Поэтому во всех телевизионных стандартах используется чересстрочная горизонтальная развертка, а вертикальную четкость можно снизить в два-три раза без потери качества изображения. Полоса частот видеосигнала при этом сужается, да и стоимость видеотрак-

та заметно снижается. Таково экономическое следствие биологического факта.

Компромиссы на этом не заканчиваются. Во всех аналоговых телевизионных системах сигнал цветности передается совместно с сигналом яркости в виде так называемого композитного сигнала. Чтобы не увеличивать полосу частот, занимаемую каналом, сигнал цветности приходится размещать «внутри» сигнала яркости, в результате чего страдают оба. Передача композитного видеосигнала по длинному кабелю еще более снижает качество изображения. Выделение сигнала цветности в отдельный канал (S-video) снижает влияние кабеля, но имеет смысл только для DVD, где качество сигнала изначально высокое. Однако соответствующий вход есть далеко не у всех видеомониторов.

Да простят меня специалисты за столь примитивное изложение принципов цветного ТВ, но для определения совместимости на уровне видеосигнала этой информации более чем достаточно. Дальнейшие подробности можно опустить. Все остальные различия появляются в тот момент, когда мы хотим воспользоваться антенным входом – тут и начинаются описанные выше прелести модуляции и разноса частот.

Разработки телевидения высокой четкости (так до сих пор и не вышедшие «в люди») и появление DVD позволили отойти от традиционного соотношения сторон кадра 4:3,

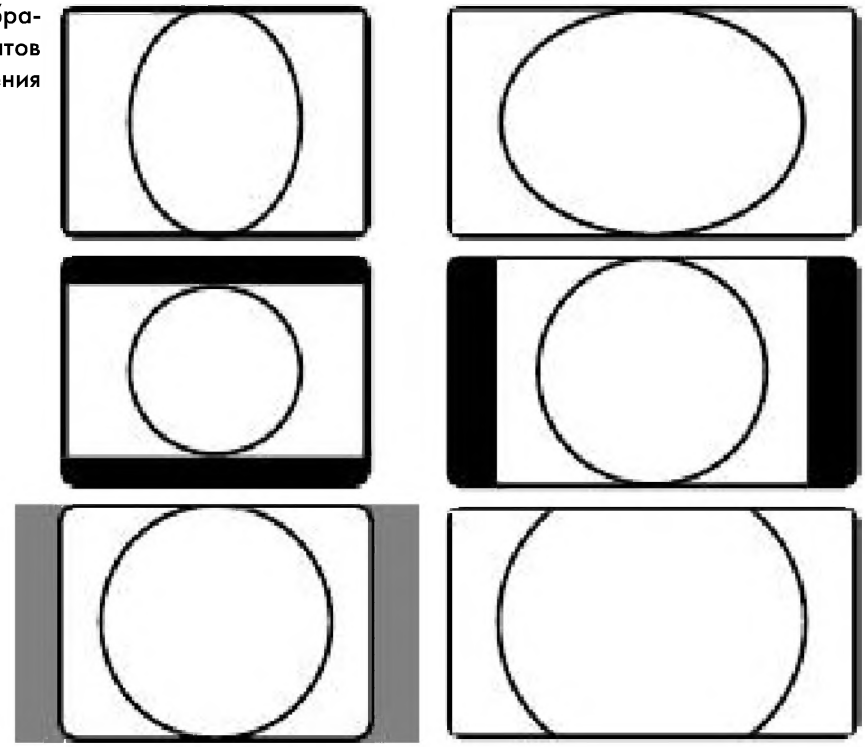


Рис. 1.7. Преобразование форматов изображения

принятого в телевидении. Для широкого экрана приято соотношение сторон 16:9, опробованное в свое время в кинематографе. Это не каприз – широкий экран больше соответствует физиологии зрения, чем традиционный формат 4:3. В связи с этим возникла проблема совместимости при просмотре изображений одного формата на экране другого формата. Преобразование выполняет специальный видеопроцессор. При этом возможны различные варианты – модификация («растяжка») кадра на весь экран с искажением геометрических пропорций, отображение на экране кадра целиком (с темными полями сверху или по краям), отображение центральной части кадра, а также комбинация этих режимов.

Системы аналогового телевизионного вещания исправно служат человечеству более 60 лет, а аналоговое радиовещание – больше века, но резервы их совершенствования практически исчерпаны. Решение проблем связывают с переходом к цифровому вещанию.

Процесс перехода к цифровому вещанию уже начался и идет достаточно организованно, поэтому есть надежда, что путаница стандартов больше не повторится. Отрадно, что Россия старается не отставать от общего ритма. Министерство связи РФ разработало концепцию перехода к 2015 году с аналогового на цифровое телевизионное вещание. В соответствии с этой концепцией для экспериментального вещания рекомендованы европейские стандарты DVB-T (для телевидения) и T-DAB (для радио).

1.4. ЭРА DVD

Революцией в области мультимедиа стало появление DVD-диска. Он становится самым распространенным носителем как дома, так и в машине [40]. Происходит это благодаря компактности, информационной емкости, высокому качеству воспроизведения любой записанной информации, а также мощному давлению со стороны производителей. Автомобильные проигрыватели для дисков DVD выпускают не только самые известные производители-гиганты, но и фирмы, недавно вышедшие на рынок. Сегодня автомобильные DVD-проигрыватели стоят дешевле, чем автомобильные же видеомагнитофоны VHS (которые так и не успели завоевать широкую популярность).

За два года, прошедшие с момента выхода четвертого издания книги, появилось немало моделей автомобильных DVD-проигрывателей, DVD-ресиверов и DVD-чейнджеров. Стандартный набор функций предусматривает воспроизведение обычных CD, MP3 и DVD. В расширенном варианте возможно чтение видеозаписей формата Video CD и

неподвижных изображений формата JPEG. Во многих моделях возможно воспроизведение видеозаписей в компьютерном формате MPEG-4.

Буква V в обозначении формата означает Versatile, то есть многоцелевой. По спецификации формата DVD записать на диск можно любую информацию, поэтому предназначенные для DVD проигрыватели тоже становятся многоцелевыми, вернее – многоформатными, что важно и удобно в условиях очень ограниченного пространства автомобиля.

Отличие DVD от других дисков – деление информации на фрагменты. Фильм разделяется на крупные части (titles), каждая из которых, в свою очередь, – на более мелкие (chapters). Стандарт DVD позволяет записать на диске одновременно диалоги на восьми языках и субтитры на тридцати двух. На практике эти возможности используются не полностью, диалоги записывают на двух-трех языках, плюс несколько вариантов субтитров. Музыка и эффекты могут быть записаны на одном и том же диске в разных вариантах кодировки пространственной аудиоинформации – стерео, Dolby Surround, Dolby Digital 5.1 и DTS. Все варианты, которые предусмотрены изготовителем DVD, будут отражены в меню диска. Из этого же меню можно выбрать нужный эпизод фильма. Как правило, пульт управления проигрывателя позволяет непосредственно перейти к выбору нужного языка диалогов (Audio) или субтитров (Subtitle). Кроме того, есть функции увеличения изображения и выбор угла просмотра (если съемка велась с разных точек одновременно). Правда, на практике ими пользуются редко.

Меню самих проигрывателей отличается от меню диска. Здесь тоже можно выбрать языки диалога и субтитров, но если на самом диске такого варианта нет, то субтитры не воспроизводятся, а диалоги идут на языке оригинала. В звуковых опциях можно выбрать величину компрессии, а также формат данных, которые поступают на цифровой выход. Если звук на диске записан в формате Dolby Digital (DD), то аналоговый сигнал поступает и на линейные выходы аппарата. Если звук записан в формате DTS, то, как правило, он идет только на цифровой выход, и без декодера (уже цифрового) его воспроизвести не удастся. Поэтому многие модели сейчас оснащены встроенным декодером.

Для DVD есть возможность изменения формата и пропорций экрана, выбора масштаба и показа части изображения, воспроизведения с «точки останова», покадрового/ускоренного/замедленного воспроизведения, причем ускорение и замедление могут регулироваться на несколько «ступеней». В некоторых моделях порядок воспроизведения можно программировать. Помимо традиционных «дис-

ковых» функций, предусмотрены и специфические для DVD возможности: показ «картинки» с разных углов, выбор языка звукового сопровождения и субтитров, однако доступность этих функций определяется конкретным диском, точнее – заложенным в него уровнем сервиса. Обычно предусмотрена и функция запрета воспроизведения некоторых дисков или их частей – так называемый Parental Lock – «родительский запрет». Можно установить «уровень безопасности» и пароль. Но это уже явно дань американским законам. Разве у нас можно что-то запретить?

Разумеется, любой автомобильный DVD-проигрыватель умеет воспроизводить и видеодиски (VCD), обычные аудио-CD, а большинство современных моделей – и MP3. Качество изображения записей в формате DVD, безусловно, выше, чем VCD. Более того, на автомобильных мониторах уловить разницу между разными проигрывателями очень сложно, поскольку изначально формат рассчитан на высококачественные домашние телевизоры и проекторы с большими размерами экрана. Насколько хорошо будет звучать сопровождение к фильмам, в первую очередь зависит от качества самой записи, во вторую – от остальных компонентов автомобильной системы. Вклад самого проигрывателя здесь невелик. Что же касается воспроизведения аудиодисков (CD), то в DVD-проигрывателях используют современные 24-разрядные ЦАП.

1.5. МУЛЬТИМЕДИЙНЫЕ СИСТЕМЫ

Технический прогресс не стоит на месте, и то, что еще недавно казалось фантастикой, активно входит в нашу жизнь. Как только появляется новое устройство для бытового применения, можно быть уверенным – в скором времени появится его автомобильная версия. Так было с приемниками и магнитофонами, кондиционерами и холодильниками, CD-проигрывателями и компьютерами. Теперь наступила эра мобильного мультимедиа.

Этому способствует не только расширение ассортимента, но и появление вполне доступных по цене устройств. А устройства отображения видеосигнала – малогабаритные телевизоры и видеомониторы – стали доступны широким слоям населения еще раньше. Поэтому распространение мультимедийных проигрывателей «вширь и вглубь» вполне закономерно.

За последние два-три года сложилось несколько вариантов автомобильной мультимедийной системы, но единой для всех оптимальной структуры нет и быть не может. В зависимости от постановки задачи возможно множество вариантов компоновки [38, 40, 63, 114]. Помимо традицион-

ных видеомагнитофонов, DVD-ресиверов и мультимедийных центров, в него можно включить видеоигры, персональные компьютеры, системы навигации, фото- и видеокамеры. Сюда же можно отнести и камеры обзора «мертвых зон», популярные среди водителей джипов, автобусов и фургонов. Установленная по левому борту камера переднего обзора облегчает жизнь водителей «праворульных» машин [38].

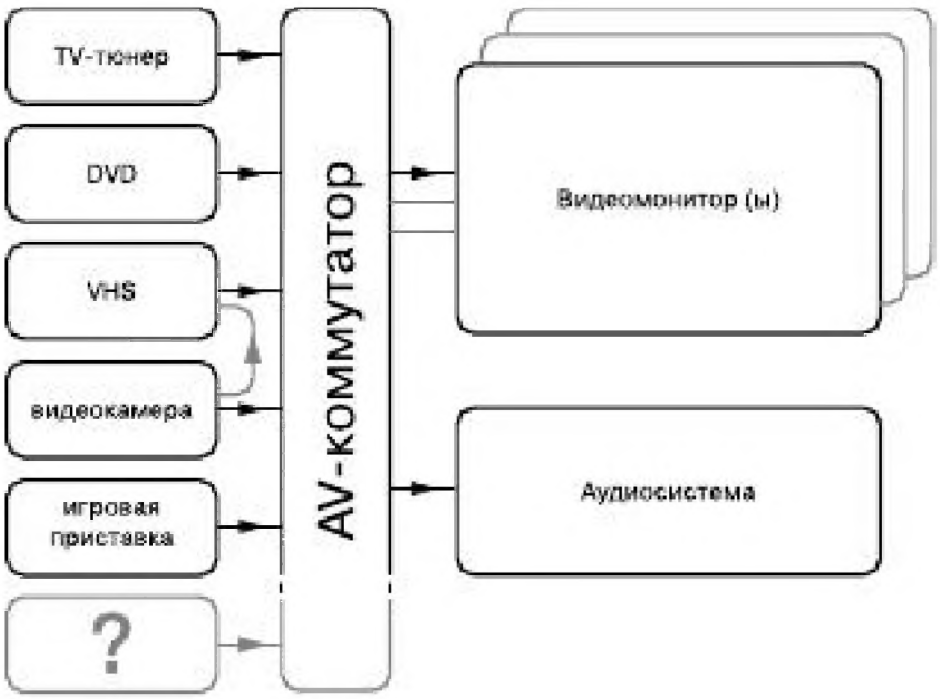
Кстати, видеомагнитофон вполне можно использовать в роли своеобразного «черного ящика» для записи дорожной обстановки. Это может помочь в спорных ситуациях. Для этой цели подойдут стандартные автомобильные камеры обзора, многие из которых снабжены встроенной инфракрасной подсветкой. Для одновременной обработки сигналов нескольких камер понадобится квадратор, используемый в системах видеонаблюдения.

Однако, несмотря на обилие вариантов компоновки, все системы используют в своем составе:

- источники сигналов;
- коммутатор сигналов;
- видеомонитор (телевизор);
- аудиосистему.

Перечисленные устройства могут быть как полностью независимыми, так и сочетаться в различных вариантах в составе комбинированных аппаратов.

Рис. 1.8. Структура мультимедийной системы



Полноценный телевизор в автомобиле нужен не всегда. Качество традиционного телевизионного сигнала зависит от такого количества факторов, что стабильный прием возможен только на небольшом удалении от телецентра. Вне зоны уверенного приема придется использовать другие источники видеосигнала: видеомагнитофон или DVD-проигрыватель. А в этом случае логичнее выбрать вместо телевизора видеомонитор, к тому же его проще интегрировать в интерьер салона. В конце концов, если возникнет необходимость смотреть эфирные программы, к монитору можно подключить ТВ-тюнер.

В сложных системах для соединения компонентов в единую сеть используется специальный коммутатор сигналов (AV-мастер), позволяющий подать сигнал с любого источника на любой монитор, что дает возможность организовать несколько независимых зон обслуживания. Помимо основной аудиосистемы, для передачи звукового сопровождения могут использоваться беспроводные ИК-наушники или индивидуальные радиоканалы ближнего действия.

Мониторы для установки в приборную панель по своей сути уже являются AV-мастерами, поскольку, кроме собственно монитора, содержат в себе только AM/FM-тюнер (иногда и TV-тюнер). Остальные источники сигналов подключаются к такому головному устройству извне. Входов желательно иметь три-четыре, причем у каждого из них могут быть свои особенности. Так, вход, предназначенный для камеры заднего вида, включается при подаче сигнала от соответствующего датчика (того же, который включает фонари заднего хода). Видеовходы ТВ-тюнера и DVD-чейнджера активизируются при затянутом «ручнике». Привилегированное положение только у навигационной системы – с нее видеоинформация может отображаться на экране всегда, независимо от того, движется машина или стоит. В некоторых системах выходные сигналы коммутируются независимо от монитора самого головного устройства. Например, фильм, воспроизводимый с проигрывателя DVD, отображается на втором мониторе для задних пассажиров. Звуковое сопровождение они прослушивают через встроенные в «их» монитор динамики или через наушники. Те, кто находится в передней части машины, в это же время, скажем, слушают радио.

1.6. NOSTALGIA

Еще четыре десятилетия назад, когда человечество млело от каждого свершения и открытия, Станислав Лем в своей «Сумме технологии» предрек, что наступит момент насыщения – и технологические достижения цивилизации

станут привычными, обыденными и сами собой разумеющимися. Нас уже трудно чем-либо удивить – и если появляется что-то новое, многим из нас приходит в голову лишь одна мысль: «Давно пора!» Мы уже как-то и не задумываемся об окружающих нас сложных устройствах, и скорость, с которой они прогрессируют, нас тоже не удивляет – а нашим детям трудно представить, что совсем недавно ничего этого и в помине не было.

Технический прогресс – страшная штука. Микросхема убила красоту инженерной мысли. Сегодня никто не заморачивается, как сделать схему поэлегантнее: автоматизированное проектирование, чип-компоненты и сверхплотный монтаж делают свое черное дело – искусство уходит все дальше, остается только оболочка. Все стандартизовано и просто собирается из кирпичиков по типовым схемам, заложенным разработчиком микросхемы. Шаг влево, шаг вправо – побег, отступника предать позору как радиолюбителя. По сравнению с концептуальным минимализмом 60-х, начиная примерно с середины 80-х годов сложность возросла многократно, качество же порой стало хуже, несмотря на высочайшие технические показатели. Как будто мы слушаем чистую синусоиду... Впрочем, страдают лишь живые жанры, любителям электронной музыки горевать не о чем. Для них прогресс – благо.

Когда полоса воспроизводимых частот от 100 Гц до 12 кГц казалась вполне приемлемой, а о большем не приходилось и мечтать (по крайней мере, в автомобиле), интересовало в первую очередь впечатление от звучания без оглядки на цифры. Судьей был меломан. Теперь же, когда материалы и технологии наконец-то позволяют без труда добиться записи и воспроизведения звука в полосе 20 Гц–20 кГц (мечта меломана 60-х!), разработчики, как назло, готовы пожертвовать всем ради технологичности. Да и срок жизни, отпущенный новой модели, сократился до минимума – рынок требует очередных новинок, «сделанное на века» уже никому не интересно.

Рис. 1.9. Винчестер 60 Гб для хранения музыкальных файлов (2007 г.)

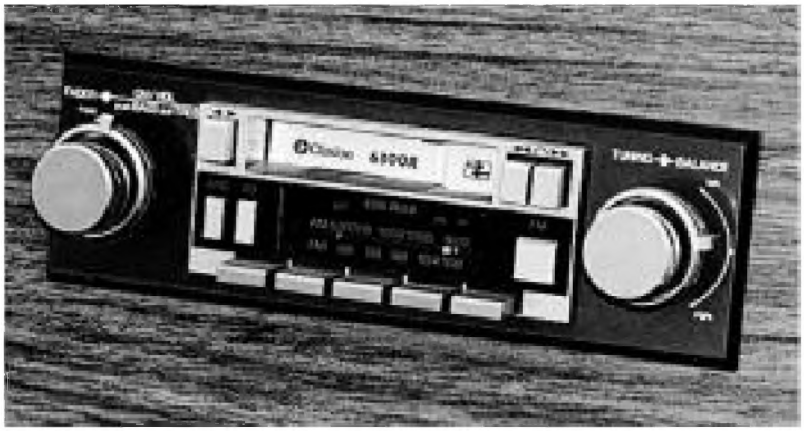


Рис. 1.10. «Золотой век» автомагнитол (1982 г.)

2. ИСТОЧНИКИ СИГНАЛА

Любительская система на первом этапе состоит обычно из головного устройства (магнитолы, ресивера) и комплекта динамических головок. Конструкция традиционных магнитол и CD/MD/DVD-ресиверов имеет множество сходных черт. Основные отличия связаны только с процессом воспроизведения фонограммы. Радиоприемный тракт и тракт звуковой частоты (ЗЧ) практически одинаковы. В дальнейшем изложении (кроме тех случаев, когда различия носят принципиальный характер) любой из перечисленных аппаратов будет именоваться именно головным устройством (ГУ). Эта калька с английского термина head unit точнее отражает центральную роль источника сигнала в разветвленной системе, чем традиционный для нашей страны термин «магнитола».

Головное устройство (head unit, «голова») – центр управления автомобильной аудиосистемой и основной источник сигнала. По этой причине им в книге уделено особое внимание. Усилители, видеомониторы и другие компоненты обычно появляются позднее, когда «болезнь» зайдет уже далеко. Однако в *мультимедийной системе* монитор в том или ином виде будет присутствовать с самого начала.

Вследствие быстрого прогресса мультимедийных устройств прекращен не только выпуск автомагнитол, та же участь постигла и «чистые» CD-ресиверы, не поддерживающие сжатых аудиоформатов. Отдельные «ностальгические» модели высокого класса погоды на рынке не делают. В связи с распространением сжатых аудиоформатов и носителей высокой емкости пошатнулись позиции CD-чейнджеров и компакт-диска. А в 2007 году появились бездисковые головные устройства.

Твердотельные носители информации стремительно завоевывают медиа-рынок. Их преимущества перед тради-

ционными дисковыми накопителями неоспоримы. Во-первых, компактность, карта памяти при сопоставимой с оптическим диском емкости занимает в десятки раз меньший объем. Во-вторых, надежность хранения информации, ей угрожает только физическое разрушение носителя (что в силу малого размера карточки менее вероятно, чем повреждение диска). В-третьих, отсутствие медлительных и потенциально ненадежных механических приводов делает доступ к информации мгновенным и независимым от вибрации, а само устройство чтения – практически вечным. Недостатков всего два – не слишком высокая емкость и относительно высокая стоимость, но и то и другое быстро меняется в лучшую сторону, что открывает все новые и новые области применения. Флеш-карты моментально «прописались» в мобильных телефонах и цифровых фотоаппаратах, затем практически вытеснили дисковые музыкальные плееры. На очереди портативные медиа-проигрыватели, где позиции еще удерживают миниатюрные винчестеры емкостью десятки гигабайт – но это лишь вопрос времени, и судя по темпам развития технологии, не слишком долгого.

Упреждая требования рынка, ведущие производители car audio поспешили снабдить головные устройства интерфейсами для подключения флеш-карт. Однако и дисковые приводы сохранили – покупатели, особенно старшего поколения, не спешат отказываться от привычных дисков. Зато для продвинутых пользователей (прежде всего молодежи, стремительно впитывающей все новое) привод для чтения дисков оказался лишним. Первым аппаратом такого рода стал Clarion FB275BT, оснащенный лишь FM-тюнером, поддержкой BlueTooth и считывателем SD-карт. Он был представлен в январе 2007 года на выставке CES-2007 в Лас-Вегасе и вызвал большой интерес (хотя и не был отмечен призами – ну, это спишем на консерватизм).

2.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГОЛОВНЫХ УСТРОЙСТВ

Технологический век и унификация комплектующих стремительно нивелируют различия между аппаратурой разных групп. Да и сами различия нередко ограничиваются лишь элементами конструкции и дополнительными функциями, но не качеством звучания.

Семейство головных устройств одного производителя образуется на основе *базовой платы*. В упрощенных моделях часть компонентов отсутствует, а ряд посадочных мест для отсутствующих блоков остается свободным. Радиолюбителю средней квалификации даже при отсутствии прин-

ципиальной схемы несложно найти точки подключения и ввести отсутствующие в данной модели функции (например, линейный вход или выход). Монтаж современных аппаратов достаточно плотный, широко используются элементы поверхностного монтажа. Представляющие интерес узлы обычно либо смонтированы на субплатах, либо соединяются с остальной схемой проволочными перемычками, поэтому трудностей при модернизации обычно не возникает [66, 115].

При условии качественной сборки головные устройства редко доживают до износа органов управления и приводов – раньше появится модель с новыми функциями. Основное техобслуживание заключается в периодической очистке оптики – неизбежная процедура, если владелец много курит в салоне...

Любой желающий приобрести новую аппаратуру увидит головные устройства различного уровня сложности, поэтому имеет смысл классифицировать их, чтобы облегчить выбор при покупке и оценить возможности их самостоятельного техобслуживания, ремонта и модернизации. Классификация проводится по функциональной насыщенности и техническим характеристикам, при этом аппараты одной категории могут заметно отличаться по цене. Предлагаемое деление весьма условно, к тому же сложившуюся стройную систему пошатнуло появление «внеклассных» мультимедийных устройств.

Особняком стоят и головные устройства класса Hi-End (для тех, кто за ценой не постоит). В их конструкции все отдано максимально точному воспроизведению. Высококачественный ЦАП, аналоговые регулировки, двуполярное питание, омедненное шасси – и никаких «улучшайзеров». Типичные представители этого крайне немногочисленного семейства – McIntosh MX406, DENON DCT-Z1. В CD/MP3-ресивере Panasonic CQ-TX 5500D в составе ЦАП даже использован ламповый выходной каскад [118].

Исходя из характерных особенностей конструкции и характеристик, можно выделить следующие группы головных устройств.

2.1.1. ГУ начального уровня

Благодаря простой и отработанной конструкции ГУ начального уровня надежны и недороги. Это обеспечило им популярность у автолюбителей [100]. Для защиты от кражи эти ГУ оснащаются съемной передней панелью. В несъемном варианте выполнены аппараты, входящие в штатный комплект оборудования иномарок.

Технические характеристики обеспечивают нормальное звуковоспроизведение, из эксплуатационных удобств обязательны только автоматическая настройка, память фиксированных настроек, сканирование настроек. Воспроизведение аудиофайлов сжатых форматов присутствует во всех современных моделях, а вот поддержка твердотельных накопителей – скорее исключение, чем правило.

В некоторых моделях встречаются предварительные настройки тембров (режимы classic, rock, pop и т. д.). Мощность четырехканального мостового УМЗЧ, как правило, составляет 4×(40–45) Вт. Во всех моделях (кроме ГУ заводской комплектации) предусмотрены линейные выходы для дальнейшего наращивания системы. Во многих моделях на передней панели есть линейный вход (на базе автоматического гнезда 3,5 мм – mini jack), предназначенный для подключения внешних источников сигнала.

Рис. 2.1. CD-ресивер начального уровня

2.1.2. ГУ среднего класса

Довольно большой разброс в цене среди ГУ этой группы объясняется маркетинговыми решениями и функциональной насыщенностью – качество звучания и построение звукового тракта всех моделей примерно одинаковы. Выходная мощность составляет 4×(45–55) Вт. Ряд моделей имеет дополнительный линейный выход сабвуферного канала. В обязательном порядке предусмотрено воспроизведение записей в формате MP3, а в ряде моделей и WMA [57].

По сравнению с моделями начального уровня, значительно расширены эксплуатационные удобства (поддержка твердотельных накопителей, дистанционное управление, приглушение звука, в том числе при звонке мобильного телефона, часы, переключение цвета подсветки дисплея, анализатор спектра, эквалайзер, система RDS и др.). Отдельные ГУ этой группы могут управлять CD- или MD-чейнджером совместимого семейства. Помимо чейнджера, в ряде моделей возможно также управление и другими аудиоком-

понентами того же производителя (например, внешним звуковым процессором).

К этому же классу головных устройств можно отнести и значительную часть DVD-ресиверов. Основное их отличие от традиционных CD/MP3-аппаратов – наличие DVD-привода и видеовыхода. Компоновка и звуковой тракт су-

Рис. 2.2. CD/MP3-ресивер среднего класса

Рис. 2.3. DVD-ресивер среднего класса Prology DVD-525UR

щественных особенностей не имеют. Встроенные усилители работают по классической четырехканальной схеме «фронт-тыл», и звуковое сопровождение фильмов воспроизводится в обычном стереоварианте. В некоторых моделях предусмотрен встроенный декодер Dolby Digital и линейные выходы 5.1, но чаще для реализации всех потенциальных возможностей звукового сопровождения DVD требуется внешний декодер, подключаемый к цифровому оптическому или коаксиальному выходу. Само собой, для просмотра фильмов требуется и внешний монитор [58].

Среди головных устройств 2007 года особое место занимают DVD-ресиверы формата 1DIN со встроенным в переднюю панель мини-экраном с диагональю 3,5–4 дюйма. Это не просто модная фишка, а действительно полезное нововведение: для работы со списками файлов и медиа-данными цветной монитор неизмеримо удобнее однострочного сим-

вольного дисплея, каким бы «навороченным» он ни был. А возможность вывода графической информации, пусть и весьма скромного формата, – еще одно достоинство. Конечно, смотреть фильм на таком экране можно, лишь уткнувшись в него носом, – но для быстрого просмотра он вполне пригоден, детали рассматривать не обязательно. А для серьезного просмотра можно подключить и дополнительный монитор, благо такая возможность есть всегда.

Популярность этих DVD-ресиверов не в последнюю очередь определяется возможностями, и они расширяются с каждым днем. Коммутация сигналов различных источников, возможность работы с твердотельными носителями информации, подключение дополнительных устройств – а в ряде новых моделей еще и поддержка BlueTooth. В этом режиме ресивер может выводить на экран содержимое телефонной книги, списки входящих/исходящих/пропущенных звонков. Поддерживаются также голосовой набор и передача аудиофайлов (если, конечно, эти функции поддерживает телефон).

Рис. 2.4. DVD-ресивер среднего класса со встроенным монитором Prology DVS-1125

2.1.3. ГУ высокого класса

Аппарат этой группы становится ядром разветвленной аудиосистемы. Технические и эксплуатационные характеристики в целом аналогичны предыдущей группе, но не все измеряется цифрами. Во многих моделях есть встроенный цифровой звуковой процессор (DSP), позволяющий компенсировать разность времени распространения сигнала от динамиков и имитировать акустические характеристики определенных помещений. Некоторые из этих аппаратов способны производить автоматическую коррекцию АЧХ-тракта при помощи входящего в комплект измерительного микрофона. Как правило, предусмотрены встроенные электронные кроссоверы, формирующие необходимые сигналы для нескольких усилителей.

В моделях этой группы предусмотрено отключение встроенного усилителя через меню, а в топ-моделях встро-

енного усилителя нет вообще. В некоторых моделях усилитель выполнен в виде отдельного блока. Типичные представители этой группы – DENON DCT-1000R, Clarion DXZ 838 RMP, PIONEER DEX-P9, Alpine CDA-9833R. В некоторых моделях для управления используется сенсорный экран.

К этому же классу головных устройств можно отнести дорогие DVD-ресиверы. Обычно модели этой группы оснащаются встроенным декодером 5.1. Как правило, присутствует и встроенный пятиканальный усилитель [51]. Внешний усилитель требуется только для сабвуфера. Выход на видеомонитор может быть и не один.

С распространением цифровых источников и устройств обработки сигнала появилась возможность устанавливать компоненты в любом удобном месте автомобиля. Все больше моделей высокого уровня (Alpine, Clarion и др.) для повышения помехозащищенности передают звуковой сигнал между компонентами в цифровом виде по оптоволоконному кабелю. Немецкая фирма Becker еще в 1998 году выпустила головной аппарат Millenium, снабженный только оптическим цифровым выходом и усилитель Energy 350 со встроенным цифровым сигнальным процессором (DSP) [1]. Хотя органы управления расположены на панели головного устройства, все регулировки (громкость, настройка фильтров, установки эквалайзера и т. д.) выполняются непосредственно в усилителе.

Такое решение, еще несколько лет назад бывшее признаком исключительности аппаратуры, получает все большее распространение. Соединение по оптоволоконному кабелю гарантирует идеальную помехозащищенность системы независимо от местонахождения компонентов. Это позволяет разместить ЦАП в непосредственной близости от усилителя.

Рис. 2.5. Программируемый ресивер URAL ConceRt CDD

К этой группе относится и разработанный российскими инженерами многофункциональный дисковый аппарат URAL ConceRt CDD – устройство, способное после соот-

ветствующего программирования поддерживать любые дисковые форматы. Аппарат поддерживает также внешний хард-диск (60 Гб), что позволяет создать объемную фонотеку с качеством CD, а для сжатых аудиоформатов такой объем винчестера практически безграничен. Первые промышленные образцы были проданы в марте 2005 года целевой аудитории. Каждый пользователь мог высказать свои предложения, идеи, комментарии на форуме и, таким образом, принять участие в дальнейшем совершенствовании системы.

URAL ConceRt CDD – это не только мультимедиа, его возможности можно расширить до уровня бортового компьютера. При подключении к системе управления двигателем модель выдает информацию (в том числе и голосовую) о состоянии систем автомобиля. Можно запрограммировать отображение на дисплее уровня масла, топлива, температуру охлаждающей жидкости, работу тахометра и многое другое. Но возможности системы не ограничиваются диагностикой и информированием водителя. Предусмотрен ряд функций, сближающих CDD с обычным компьютером: записная книжка, диктофон, календарь, часы/таймер/будильник и даже игры. Встроен скоростной интерфейс MegaBUS (5 Mbps), поддерживаются внешние ATA-накопители (HDD и ATAPI CD/DVD).

Хотя при наличии мультиформатного дискового проигрывателя требования к радиоприемнику можно и снизить, разработчики не забыли и тех, кто предпочитает слушать радио. При разработке радиоприемного тракта учтены особенности российского вещания. Так, шаг сетки частот сделан 10 кГц, хотя в диапазоне 65–73 мГц частоты станций кратны 30 кГц, а в диапазоне 87,5–108 мГц – даже 100 кГц. Столь «мелкий» шаг настройки не только повышает точность установки частоты и ее удержание в заданных пределах, но и позволяет в процессе настройки проанализировать обстановку в эфире в полосе частот каждого передатчика и оптимизировать параметры радиоприемного тракта. Для этого радиосигнал преобразуется в цифровой, затем обрабатывается при помощи программного обеспечения.

Разработчики и производители URAL ConceRt CDD предоставляют гарантию в течение пяти лет, а таких сроков пока не дает ни один производитель. При столь солидном сроке физической жизни аппарата его моральная смерть зависит только от программного обеспечения и заложенных в «железо» возможностей перепрограммирования. Аппарат можно постоянно усовершенствовать, обновляя программное обеспечение с компакт-диска. Все функции URAL ConceRt CDD могут быть запрограммированы пользователем

самостоятельно, все настройки энергонезависимые. Благодаря графическому интерфейсу и продуманной структуре меню управление устройством стало максимально простым и наглядным. Органов управления всего два – энкодер и дополнительная кнопка. Уникальный энкодер сводит все управление аппаратом к трем движениям: повороту, нажатию и повороту с нажатием. Несомненным удобством является наличие в комплекте двух ПДУ, кнопки которых можно запрограммировать через экранное меню в соответствии с привычками и пожеланиями каждого пользователя.

Звуковой тракт – сердце мультимедийной системы, и разработчики уделили ему особое внимание. Возможности системы поистине профессиональные. Встроенный шестиканальный DSP, 30-полосный эквалайзер, трехполосный кроссовер, 24-битные ЦАП и АЦП, выход на сабвуфер – и все это «в одном флаконе». В системе предусмотрены линейный вход и стереофонический вход для микрофона, сигнал с этих входов преобразуется АЦП для дальнейшей обработки. Предусмотрена генерация тестовых и измерительных сигналов, что позволяет в автоматическом режиме установить необходимую коррекцию и запомнить настройки. Измерительный микрофон входит в комплект системы.

Вся обработка сигнала выполняется в цифровой форме в DSP с шестью независимыми каналами. Для каждого из каналов можно установить необходимое время задержки и уровень сигнала. Кроме того, для каждой пары каналов предусмотрено независимое управление стереобазой, что расширяет возможности формирования звуковой сцены. Во всех конфигурациях акустического оформления, кроме кроссоверной, эквалайзер для каждого из шести каналов независимый. В кроссоверной конфигурации эквалайзер двухканальный («Правый» и «Левый» каналы), но при правильных настройках кроссовера полосе частот каждого выходного канала однозначно соответствуют определенные полосы эквалайзера. Встроенный трехполосный кроссовер перестраивается в широких пределах, крутизна среза переключаемая – 12 или 24 дБ/окт. Звуковой тракт можно сконфигурировать в различных вариантах – от мультимедийных многоканальных (5.1, 6.1) до аудиофильских многополосных. Выход сабвуфера SUB OUT нерегулируемый – это отфильтрованная (ФНЧ, 60Гц, 12dB/oct.) сумма 1-го и 2-го каналов.

Высокая выходная мощность встроенного усилителя (4×45 Вт + 2×35 Вт) позволяет этой интеллектуальной мультимедийной аудиосистеме работать без дополнительных внешних усилителей (за исключением сабвуфера, которому по определению «много мощности не бывает»). Напряже-

ние на линейных выходах составляет 5 В, что гарантирует высокую помехозащищенность системы.

2.1.4. Комбинированные ГУ («сидиолы»)

В состав этих ГУ входят несколько различных устройств. Обычно это приемник, CD-проигрыватель и магнитофон, но встречаются и более сложные комбинации (с мини-диском). В новых моделях есть поддержка сжатых аудиоформатов и твердотельных носителей. По своим техническим характеристикам они обычно относятся к среднему классу данной классификации, а кассетная секция нередко оказывается на класс ниже. Однако комбайны ценятся именно за «всеядность», а не за выдающееся звучание. На сегодняшний день можно встретить в продаже около десятка моделей, практически все из них размещены в корпусе двойной высоты (2DIN) . Это улучшает компоновку ГУ и облегчает управление им, но ограничивает возможности установки. Комбайны стандартной высоты на сегодняшний день представлены всего одной моделью Prology [86].

Рис. 2.6. Сидиола

2.1.5. ГУ без дисковода

Головные устройства этого типа появились совсем недавно – весной 2007 года в продаже появился ресивер Clarion FB275BT. В аппаратах данной группы не предусмотрено воспроизведение компакт-диска, его полностью заменили твердотельные носители – карты SD/MMS и флеш-накопители с интерфейсом USB. Радиоприемник и усилительный тракт традиционные. Устоявшегося названия для этого класса аппаратуры пока нет, предлагаются различные варианты: кард-ресивер, кардсивер, USB-ресивер... Время покажет, какой из вариантов приживется.

Функциональная насыщенность аппаратов этой группы может быть различной. В простейшей конфигурации это лишь приемник с поддержкой твердотельных накопителей, в более сложных вариантах есть управление внешним плеером iPod, и даже встроенный хард-диск большой емкости. Очевидно, что эти устройства будут особенно популярны у молодых пользователей.

Рис. 2.7. ГУ без дисковода Prology CMU-400

Появившийся в июле 2007 года Prology CMU-400 поддерживает карты SD/MMC и USB 1.1/USB 2.0 (скорость USB 2.0 не поддерживается, только чтение со скоростью USB 1.1). Длина названий файлов MP3 и директорий – до 32 символов, файловая система FAT12/FAT16/FAT32. Поддерживается информация ID3 TAG версии 2.0 (песня/исполнитель/альбом до 32 символов). Возможны поиск по номеру трека и названию композиции, случайное, повторное и сканирующее воспроизведение [119].

Рис. 2.8. Компоновка Prology CMU-400

CMU-400 удивил своей «невесомостью» – внутри лишь модуль тюнера, микросхема усилителя мощности и кроссплата с небольшим количеством деталей. Если бы не требования стандарта DIN в части крепления, глубину корпуса можно было бы сделать со спичечный коробок. Но, как говорят немцы, ordnung ist ordnung, стандарты приходится соблюдать.

2.1.6. ГУ с видеомонитором

Этот класс головных устройств – этап эволюции, переходная ступень к мультимедийным центрам. ГУ этого типа оснащено выдвижным жидкокристаллическим видеомонитором, но не имеет других источников сигнала, кроме радиоприемника. Для прослушивания фонограмм и просмотра фильмов необходим внешний мультимедийный проигрыватель или DVD-чейнджер. Если аппарат не оснащен встроенным TV-тюнером, для просмотра программ эфирного вещания понадобится внешний. Радиоприемник и аудиотракт обычно соответствуют среднему классу данной классификации, возможность управления внешним чейнджером присутствует «по определению» [40].

Размер видеомонитора ограничен габаритами стандартного корпуса ГУ, поэтому диагональ составляет 6,5–7 дюймов с форматом изображения 3:4 или 16:9. Установка монитора в рабочее положение и его уборка обычно выполняются сервоприводами, но в недорогих моделях эта процедура может быть ручной. В системах с сервоприводами последнее положение монитора автоматически запоминается в системных установках.

Появление сверхтонких DVD-приводов позволило разместить их вместе с выдвижным монитором в стандартном корпусе 1DIN, поэтому данный класс устройств в ближайшее время прекратит свое существование. На смену этим головным устройствам приходят моторизованные мониторы формата 1/2DIN [121].

Рис. 2.9. ГУ с монитором формата 1DIN

Рис. 2.10. Выдвижной монитор формата 1/2DIN

2.1.7. Мультимедийные центры

Универсальные DVD-ресиверы размером 1 DIN, равно как и головные устройства со встроенным выдвижным монитором, пользуются заслуженной популярностью у «продвинутых» автомобилистов. Однако разместить два аппарата в одной консоли можно далеко не во всех автомобилях. Подавляющее большинство машин в европейской части России оснащено только одним посадочным местом размера 1 DIN. Удачный выход из этой ситуации – многофункциональное головное устройство, совмещающее в одном корпусе все возможности.

Мультимедийные центры содержат «в одном флаконе» практически все, что только можно себе представить. Обязательный набор – DVD-транспорт, видеомонитор, радиоприемник, декодер многоканального звука (5.1, Pro Logic и т. д.), звуковой процессор, встроенный пятиканальный усилитель, линейный выход на сабвуфер. Дополнительные возможности – TV-тюнер, навигационная система, поддержка мобильной связи и т. д. [40].

На сегодняшний день существуют два варианта компоновки мультимедийных центров. В первом варианте все компоненты размещаются в корпусе размером 2 DIN, лицевая панель которого занята монитором формата 16:9 с диагональю 6–6,5 дюйма, угол просмотра можно регулировать. Загрузка диска – щелевая, либо монитор для загрузки сдвигается вниз.

По второму варианту в корпусе стандартного размера 1 DIN размещается выдвижной монитор с диагональю 7 дюймов, DVD-транспорт и органы управления. В первых моделях остальные узлы размещались в отдельном корпусе и соединялись с головным блоком кабелем [59]. В современных моделях все компоненты упакованы в стандартный корпус 1DIN.

Рис. 2.11. Мультимедийный центр размера 1 DIN

Рис. 2.12. Мультимедийный центр размера 2 DIN

При всем богатстве источников сигнала такая система не остается «вещью в себе» – к ней можно подключить внешние источники аудио/видеосигнала и дополнительные мониторы. Для подключения навигационной системы или компьютера во многих мультимедийных центрах есть вход RGB.

Тракт видеосигнала работает в телевизионных системах цветности NTSC/PAL, причем в большинстве современных проигрывателей возможно транскодирование сигнала из одной системы в другую (естественно, из-за отличающегося числа строк с некоторой потерей качества). Применительно к нашим условиям это означает, что для просмотра дисков в формате NTSC достаточно иметь телевизор или монитор

системы PAL/SECAM. Однако предпочтительнее использовать мультисистемный монитор – цветовой баланс перекодированного в стандарт PAL изображения явно хуже, с преобладанием красных тонов.

Для выводимой на монитор «картинки» стандартно можно выбрать два обычных формата: 4:3 (PanScan и Letter box) и широкоэкранный 16:9 (Wide). Кроме того, во многих моделях проигрывателей предусмотрено увеличение размеров изображения (ZOOM) с возможностью скроллинга. Благодаря 10-битному видео-ЦАП горизонтальное разрешение не хуже 500 линий. Для неподвижных изображений JPEG в режиме ZOOM четкость определяется разрешением исходной картинки. По умолчанию изображение масштабируется до размеров экрана.

Все проигрыватели дают на выходе стандартный композитный видеосигнал, но в некоторых моделях предусмотрен и формат S-Video. Поскольку сигналы цветности в этом случае передаются отдельно, качество изображения заметно выше. Как правило, предусмотрены два композитных видеовыхода (для каждого используется отдельный буферный видеоусилитель). Это позволяет организовать две зоны просмотра, не применяя дополнительных разветвителей видеосигнала. Напряжение видеосигнала стандартное – 1 В на нагрузке 75 Ом.

2.1.8. Мультимедийные проигрыватели

Чаще всего аппараты этого класса называют «DVD-проигрывателями» по названию самого современного формата, который они способны воспроизводить. Однако им «по зубам» воспроизведение аудиозаписей в сжатом формате MP3 и обычных CD-audio. В ряде моделей также возможно воспроизведение Video CD , MPEG4, diVx и неподвижных изображений в формате JPEG.

Сравнительно недавно мультимедийные дисковые проигрыватели можно было встретить только в дорогих автомобилях. Но за последние годы они заметно расширили «среду обитания» и прочно обосновались в машинах среднего класса [40]. Их стоимость заметно ниже стоимости DVD-ресиверов (а тем более мультимедийных центров), поэтому они заняли на рынке свою нишу. Стоимость снижена за счет того, что в проигрывателе отсутствует радиоприемный тракт, нет и аудиотракта в привычном для car audio виде, поэтому обычно их используют как дополнение к имеющейся аудиосистеме. Кстати, некоторые из моделей этой группы выполнены в стандартных габаритах 1DIN и снабжены управляющим выходом remote. Это позволяет использовать их в качестве головного устройства. Разумная

альтернатива для тех, кто не слишком привязан к радиоприемнику. Аппаратура этой группы приобретается в первую очередь для мультимедийного применения, и второстепенные функции вполне можно принести в жертву [76, 77].

В моделях первого поколения использовался лотковый механизм загрузки диска, но скоро от него отказались. Проигрыватели со щелевой загрузкой можно устанавливать там, где для аппаратов с лотковой загрузкой недостаточно места. Оборотная сторона этого решения – невозможность воспроизводить диски диаметром 8 см. Впрочем, невелика потеря: широкого распространения такие диски не получили из-за небольшой емкости.

Характерная особенность многих моделей проигрывателей – отсутствие информационного табло, вся служебная информация выводится в этом случае на экран видеомонитора. Поскольку для большинства дисков возможно использование функции OSD (системы экранных меню, отдельных для дисков разных форматов), возможности визуального контроля вполне достаточны. Управление функциями воспроизведения осуществляется как с лицевой панели, так и с полнофункционального комплектного пульта ДУ с выносным ИК-приемником. Более того, ряд функций (например, прямой выбор дорожки) обычно доступен только с пульта. Дублирование функций управления в автомобиле весьма удобно – проигрывателем может управлять не только водитель, но и любой пассажир.

Аудиотракт мультимедийных проигрывателей базируется на специальных мультистандартных ЦАП, что, кстати, обеспечивает весьма высокое качество звучания. При сравнении нескольких моделей DVD-проигрывателей с традиционными CD-ресиверами средней ценовой категории звучание в низко- и среднечастотной области практически не отличалось, но проработка высокочастотного участка диапазона у DVD-проигрывателей не в пример лучше. Это заслуга 24-разрядного ЦАП. Кроме того, традиционных аналоговых регулировок в тракте сигнала нет – громкость регулируется в «цифре». Это можно только приветствовать – укорочение аудиотракта положительно сказывается на качестве звучания. Другими словами, нет ничего, что мешало бы процессу воспроизведения звука, а есть только то, что нужно. На аналоговом линейном выходе обеспечивается диапазон воспроизводимых частот от 20 Гц до 20 кГц при отношении сигнал/шум не хуже 90 дБ, выходное напряжение обычно составляет 2,0 В.

Выходы аналогового сигнала могут быть организованы по-разному. Если модель оснащена встроенным декодером многоканального звука, то присутствуют все выходы фор-

мата 5.1. Если встроенного декодера нет, звуковой сигнал с DVD-дисков на линейные выходы выводится в режиме DOWNMIX (сигналы многоканального звукового сопровождения распределяются в два обычных стереоканала). Для полной реализации возможностей звукового сопровождения DVD-носителей в этом случае необходим внешний декодер Dolby Digital/Dolby Pro Logic/DTS. Решение, кстати, вполне разумное – мультиформатный декодер повлияет на окончательную стоимость, а многоканальный звук нужен не всегда и не всем. Если же использовать проигрыватель в роли транспорта с отдельным декодером или цифровым усилителем – качество работы всей аудиосистемы только возрастет.

Для подключения внешнего декодера многоканального звука во всех современных проигрывателях присутствует выход цифрового сигнала. На этот же выход поступает и цифровой сигнал с обычного аудио-CD, что позволяет использовать внешний ЦАП для получения более высокого качества звучания. В этом случае проигрыватель выступает в роли транспорта – решение, характерное для топовых моделей обычных ресиверов. Как правило, используется коаксиальный выход, но в некоторых моделях есть и оптический.

В составе многих моделей проигрывателей есть AV-коммутатор, к которому можно подключить внешние источники сигнала. Нередко один из входов при этом размещается на передней панели, что позволяет оперативно подключить к системе видеокамеру или цифровой фотоаппарат.

Новый проигрыватель Prology DVD-350U, помимо традиционных дисковых носителей, поддерживает и твердотельные – карты памяти SD/MMC и накопители с интерфейсом USB. Поэтому на передней панели красуется надпись Mobile Media Center. На наших глазах родился новый класс устройств, поддерживающих воспроизведение видео с твердотельных носителей [120].

Рис. 2.13. Мультимедийный проигрыватель Prology DVD350U

2.1.9. Видеомагнитофоны

Хотя видеомагнитофон не претендует на роль головного устройства, я все же после долгих раздумий включил его в классификацию. Историческую и социальную роль формата VHS отрицать нельзя, несмотря на все его недостатки. Благодаря видеомагнитофону мы впервые получили возможность смотреть то, что хочется, и когда хочется, без оглядки на программу телепередач. Несмотря на наступление DVD, видеокассета еще долго останется массовым носителем видеозаписи. Способствуют этому и видеотеки, накопленные за прошедшие десятилетия почти в каждой семье, и система видеопроката.

Автомобильные видеомагнитофоны известны более пятнадцати лет, но распространение получили относительно недавно – с появлением доступных и недорогих видеомониторов. Существуют как видеоплееры, так и полноценные автомобильные видеомагнитофоны. Их конструкция и характеристики практически не отличаются от домашних. Единственное отличие – напряжение питания 12 В. В некоторых моделях предусмотрены встроенные AV-коммутаторы.

Характерный представитель этого семейства – мультистемный видеомагнитофон Prology VCR 300-T. Помимо встроенного тюнера, в нем предусмотрен канал стереофонического звукового сопровождения (Hi-Fi Stereo).

Рис. 2.14. Автомобильный Hi-Fi видеомагнитофон Prology VCR 300-T

2.2. ВЫБОР ГОЛОВНОГО УСТРОЙСТВА

Если развитие системы предполагается проводить без замены головного аппарата, то к выбору нужно отнестись серьезно. Если в последующем предполагается появление чейнджера, желательно выбрать модель, в которой предусмотрено управление оным, поскольку выбор «универсальных» моделей чейнджеров с собственным контроллером ограничен [40, 88].

Кардинально изменить основные технические характеристики современного ГУ своими руками крайне трудно (да и не всякий владелец решится на это даже под давлением финансовых обстоятельств). Впрочем, некоторые несложные функциональные доработки вполне по силам даже начинающим радиолюбителям, а экономия средств может быть значительной. Наибольший простор для творчества предоставляет тракт усиления звуковой частоты. К числу доступных доработок можно отнести установку линейного входа и выхода, введение в тракт перед встроенным усилителем эквалайзеров и фильтров, добавление индикаторов выходной мощности и перегрузки – список при желании можно продолжить [48, 115].

При покупке аппаратуры известных производителей проблема обычно только одна – выбор слишком велик. Однако и стоимость тоже не маленькая: громкое имя стоит денег. По этой же причине аппарат не слишком известной марки намного дешевле. Не стоит полагать, что все дешевое обязательно плохое. Из этого правила появляется все больше исключений. Пользуясь приведенными далее нехитрыми правилами, можно сэкономить немалые суммы.

Оценить потенциальные возможности и надежность можно даже простым внешним осмотром, если же есть возможность вскрыть аппарат и увидеть «начинку», можно узнать гораздо больше. Наведение справок в ремонтных мастерских, наоборот, ничем не поможет – количество «попаданий в ремонт» зависит не только от надежности, но и от общего количества находящихся в эксплуатации аппаратов, да и от самих условий эксплуатации. Статистика получается недостоверной.

Прежде всего следует проверить качество упаковки и внешний вид: смазанные надписи, торчащие заусенцы и небрежно составленная инструкция с немыслимыми ошибками однозначно указывают на невысокое качество или подделку. Эпоха «Акайвы» и «Повасоника» уже канула в Лету, но имитация внешнего вида популярных моделей еще встречается. Не попадайтесь на крючок!

Следует проверить удобство и надежность установки и крепления съемной передней панели, оценить долговечность фиксаторов и отсутствие люфта. Не мешает проверить и то, как панель снимается. Если она немедленно после нажатия на кнопку фиксатора пытается упасть, стоит задуматься. Падение панели нередко ведет к ее ремонту. Органы управления должны функционировать без люфтов и заеданий, срабатывание кнопок должно хорошо ощущаться. Естественно, нужно оценить эргономичность и функциональную оснащенность аппарата.

Далее следует оценить радиатор. Прежде всего он должен обеспечивать надежное охлаждение усилителя, поэтому предпочтение следует отдавать массивным ребристым металлоконструкциям. Если микросхема усилителя просто закреплена на боковой или задней стенке корпуса или снабжена тонким пластинчатым радиатором – не удивляйтесь, когда мощность окажется намного ниже обещанной в инструкции или магнитола будет напоминать раскаленную сковороду.

Следующий этап проверки – внешние соединения. На задней панели должны находиться разъемы для присоединения монтажного жгута (он должен быть в комплекте), либо сам монтажный жгут должен иметь разъем в средней части.

Механизм (CD или DVD-транспорт) используется покупной, изготовлением своих собственных занимаются только «киты» аудиоиндустрии [61]. Оценить качество и надежность транспорта можно только в процессе эксплуатации.

После этого, если есть возможность, следует оценить качество монтажа. Как правило, применяются микросхемы известных производителей, чего нельзя сказать об остальных деталях. В дешевых изделиях часто используют резисторы и конденсаторы большого размера, установленные на плате вкривь и вкось. Детали должны соответствовать разводке печатной платы и быть плотно прижаты к ней. Наличие элементов поверхностного монтажа (SMD), пусть даже их немного, сразу меняет отношение к аппарату в лучшую сторону. По крайней мере, такое производство в сарае не разместить. Естественно, не должно быть потеков защитного лака, корявых паек и других небрежностей. Материал печатной платы тоже может сказать о многом. Плата должна быть изготовлена из стеклотекстолита или высококачественного гетинакса. Низкосортный гетинакс (обычно он темных тонов) легко расслаивается при перепадах температуры, что приводит к повреждению монтажа.

Наконец, самое главное: разводка печатной платы и структура тракта. При современном подходе проектирование ГУ напоминает сборку схемы из «кубиков» – микросхем с типовыми вариантами включения. Качество и характеристики используемой элементной базы практически одинаковы для всех производителей, поэтому основное влияние на качество звучания оказывает не схема и детали, а компоновка аппарата.

Конечно, требовать от бюджетной модели симметричной топологии платы наивно – это не McIntosh за две тысячи долларов. Однако *уровень проектирования* оценить стоит. Плата, спроектированная «без души», может иметь большой уровень шумов и переходных помех в тракте даже при использовании самой лучшей элементной базы. Для

аппаратов «ускоренного проектирования» характерно наличие огромного количества перемычек и крайне запутанных путей распространения сигнала. Сами по себе перемычки не страшны, но желательно, чтобы в звуковых цепях их было как можно меньше, а сигнальные проводники шли по кратчайшему пути с минимальным количеством пересечений. То же самое можно сказать об оксидных (электролитических) конденсаторах в звуковом тракте. Чем их меньше, тем лучше. Конечно, полностью исключить переходные конденсаторы при однополярном питании нельзя, но полипропиленовый конденсатор емкостью 0,22–0,47 мкФ ненамного больше такого же по емкости оксидного, а качество звучания существенно выше. Впрочем, заменить оксидные конденсаторы в тракте сигнала «правильными» вполне по силам даже начинающему радиолюбителю.

Радиоприемный тракт тоже можно оценить с первого взгляда. Во многих недорогих моделях магнитол (особенно у именитых производителей) весь радиоприемник выполнен на одной микросхеме. В условиях «одноэтажной Америки», где расстояния велики, а местные станции малочисленны и маломощны, взаимных помех друг другу они не создают, и приемник работает действительно хорошо. Эти же модели, адаптированные для Европы или России простой заменой сетки частот, в условиях большого города работают неважно. Параметры такого приемника, высокие на бумаге, в реальности намного хуже. Выполненные на одном кристалле узлы влияют друг на друга, чего не происходит при использовании отдельных микросхем [51, 61, 64].

Поэтому радиоприемный тракт, собранный на нескольких микросхемах, предпочтительнее однокристального. Еще лучше, если он будет выполнен в виде отдельных модулей, установленных на основной плате. В этом случае они обычно являются покупными изделиями (можно проверить маркировку) и конечный производитель экономит на их сборке и настройке, что и позволяет удерживать низкую себестоимость продукции.

Таким образом, при внимательном рассмотрении недорогого аппарата всегда можно понять, будет ли оправдана экономия средств при покупке.

2.3. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ, КОМПОНОВКА И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

Основные функции и многие конструктивные решения у большинства автомагнитол примерно одинаковы, а схемотехника достаточно традиционна. Компоновка аппаратов

прошла несколько этапов. В самых первых магнитолах кассету устанавливали в кассетоприемник лентой вперед (подобная компоновка сохранялась в некоторых аппаратах отечественного производства долгое время), но очень скоро появились ЛПМ, в которых кассета устанавливалась лентой вправо, что позволило на сэкономленном месте разместить дополнительные органы управления. Однако конструкция оставалась внешне симметричной, а крепление магнитолы в автомобиле по-прежнему производилось при помощи гаек на осях регуляторов или подвесных кронштейнов. Конструкции некоторых магнитол и автомобилей были просто несовместимы. Выбор покупателей ограничивался теми моделями, которые предлагал производитель автомобиля [38].

В конечном итоге европейские производители автомобилей и автомобильной радиоаппаратуры выработали стандарты, регламентирующие установочные габариты, а затем и присоединение внешних цепей. Это позволило ввести унифицированные *соединители ISO* для подключения магнитолы к бортовой сети автомобиля, которые применяются теперь в Европе. Другие производители были вынуждены присоединиться к стандарту в части габаритных размеров. Аппаратура, выпускаемая японскими и азиатскими фирмами, может поставляться в двух вариантах – как с соединителями ISO, так и с принятыми в качестве стандартных у производителя. К сожалению, соединители ISO у отечественных производителей не прижились (в России радиоприемник или магнитола в автомобиле до сих пор не считается обязательным оборудованием), а разработка отечественного стандарта застопорилась. Оговорены только габариты отсека под магнитолу.

По стандарту DIN 75500 сечение посадочного места определялось как 182×53 мм, по более позднему ISO 7736-84 – как 180×50 мм. В подразделах оговаривалась глубина посадочного места. В результате достигнутых соглашений габариты магнитол были ограничены шириной 178 мм и глубиной 150 мм. Высота стандартной магнитолы составляет 50 мм (так называемый размер 1 DIN, иногда употребляется термин «однодиновые» модели, хотя на самом деле это стандарт ISO!), но в последнее время все чаще встречаются аппараты высотой 76 мм (1,5 DIN) и 100 мм (2 DIN). Именно на такой размер рассчитаны посадочные места во многих американских и японских автомобилях. В отечественных машинах подобные аппараты установить непросто, хотя они имеют ряд достоинств. Увеличенные габариты корпуса позволяют снизить плотность монтажа и более рационально скомпоновать узлы. Охлаждение УМЗЧ облегчено, а мощность может быть достаточно высокой. На увеличенной пе-

редней панели легко размещаются все органы управления, число которых в современной магнитоле может быть больше 20. В последнее время в таких корпусах размещают и комбинированные аппараты (магнитола + CD-проигрыватель, а также мультимедийные центры).

На задней панели некоторых CD/DVD-ресиверов расположен малогабаритный вытяжной вентилятор. Он обеспечивает циркуляцию воздуха внутри корпуса. Помимо отвода тепла, выделяющегося при работе транспорта, он восстанавливает нормальную влажность воздуха внутри корпуса. Дело в том, что после длительной стоянки на холоде внутри ресивера может образоваться конденсат, препятствующий нормальной работе транспорта. Без вентиляции работоспособность восстанавливается через 10–20 минут после включения обогрева салона, а с вентиляцией – в несколько раз быстрее [51].

2.3.1. Механические органы управления

Первоначальная компоновка передней панели, унаследованная от автомобильного радиоприемника (две ручки по краям, шкала в центре), была продиктована конструкцией штатного посадочного места в автомобиле и достаточно долго сдерживала разработчиков. Разместить дополнительные органы управления на маленькой панели непросто, поэтому широкое распространение получили совмещенные (соосные) регуляторы, выполняющие несколько функций. Обычно левыми регуляторами изменяли громкость, баланс и тембр ВЧ, а правыми производили настройку и переключали диапазоны приемника.

Редко используемые механические органы управления могут быть скрытыми, чтобы не загромождать переднюю панель. Фирма Blaupunkt долгое время применяла для регулировки тембра потенциометры с выдвижной осью, ручки-кнопки которых в нерабочем состоянии находились вровень с передней панелью. Следующим этапом стал отказ от симметрии передней панели, что позволило улучшить эргономику. Однако и в этом случае для других органов управления места практически не оставалось. Надежность традиционных механических потенциометров массовых серий в условиях автомобиля также оставляла желать лучшего. Поэтому следующим шагом стало использование бесконтактных регулировок в тракте ЗЧ.

2.3.2. Электронные органы управления

С распространением электронных регуляторов в тракте ЗЧ, электронно-логического управления ЛПМ и новой элементной базы ряд компоновочных проблем отпал. Стало

возможным регуляторы тракта ЗЧ разместить в непосредственной близости к УМЗЧ и сдвинуть ЛПМ к боковой стенке корпуса. Упрощение компоновки передней панели позволило уменьшить ее габариты и удобнее расположить органы управления. Передняя панель может не иметь загрузочной щели для компакт-диска, в этом случае она выполняется откидной.

Большинство производителей использует в качестве органов управления кнопки или клавиши разных размеров и формы, сгруппированные по функциональному назначению, но существуют и другие виды регуляторов. Фирма Sony применила для основных регулировок вращающееся колесико-энкодер, дополненное затем соосным рычажком переключения настроек приемника или дорожек CD-чейнджера и центральной кнопкой. В магнитолах Clarion применялся миниатюрный джойстик в виде качающейся пирамидки или полусферы. В дальнейшем подобные регуляторы в том или ином виде стали применяться во всей автомобильной аппаратуре. Для дистанционного управления используются выносные джойстики, монтируемые на рулевой колонке, и инфракрасные пульты дистанционного управления. В ряде моделей предусматривается выносной ИК-приемник сигналов ДУ, обеспечивающий управление из любой точки салона.

Рис. 2.15. Джойстик Sony RM-X4S

Конструктивно органы управления современных магнитол выполнены на основе короткоходных кнопок либо резиновых толкателей с графитовым покрытием (в дешевых моделях). В зависимости от режимов работы одна и та же группа кнопок выполняет несколько функций. Кнопки фиксированных настроек могут управлять сменой дисков в чейнджере, режимами работы ЛПМ. Регулятор громкости

через меню позволяет проводить другие звуковые регулировки – тембр НЧ и ВЧ, баланс, фейдер, настройки звукового процессора и т. д. Выход из меню звуковых регулировок автоматический через несколько секунд. Система меню используется также для вызова редко используемых функций (установка часов, уровня начальной громкости при включении магнитолы, глубины тонкомпенсации, цвета подсветки дисплея, выбора сетки частот радиоприемника и др.).

2.3.3. Системы защиты

Первоначально головные устройства устанавливали в автомобиле стационарно, однако участившиеся кражи заставили производителей обратить внимание на улучшение сохранности аппаратуры. Появились съемные модели, которые владелец мог унести с собой, покидая машину. Этот метод предотвращения кражи до сих пор остается самым эффективным, но и самым неудобным.

Введение микропроцессорного управления магнитолами позволило применить *санкционирование доступа*, или «*кодирование*», используемое обычно в аппаратах достаточно высокой категории. Чтобы включить магнитолу, необходимо установить в нее специальную карточку с кодом или ввести кодовую комбинацию с клавиатуры. В CD-ресиверах Eclipse для этой цели применяется произвольно выбранный компакт-диск, который становится ключом к системе после несложной процедуры программирования. После этого пользоваться аппаратом можно только после установки именно этого диска.

К сожалению, на каждый замок найдется отмычка, и расшифровать код краденой магнитолы – дело техники. Поэтому после перехода от аналоговых регуляторов тракта ЗЧ к цифровым широкое распространение получили *съемные передние панели*, на которых сосредоточены все органы управления. Как показывает практика, и этот метод – не панацея. Имеется и другой недостаток.

Съемные передние панели соединяются с управляющим микропроцессором многоконтактным разъемом, который является слабым звеном конструкции. Даже золочение контактов не всегда обеспечивает бесперебойную работу – зимой при прогреве салона они запотевают, что приводит к ложным срабатываниям. Поэтому некоторые производители используют для связи с микропроцессором оптический канал, а через разъем подводится только питающее напряжение (например, ряд моделей LG Electronics).

2.3.4. Региональные особенности

Помимо компоновочных и конструктивных особенностей, головным устройствам свойственны и региональные, связанные с местными стандартами. В первую очередь это относится к радиоприемнику. Для моделей, ориентированных на Западную Европу, обязательно наличие, помимо диапазона УКВ, 88–108 МГц диапазонов длинных и средних волн, а во многих моделях имеются и коротковолновые диапазоны 41 и 49 м, на которых в ряде стран ведется местное вещание. В моделях для Восточной Европы обязательно наличие диапазонов длинных и средних волн, но коротковолновые диапазоны практически не встречаются, а диапазон УКВ либо имеет границы 65,8–74 МГц, либо разбит на два поддиапазона. Стереоприем в диапазоне 65,8–74 МГц у этих моделей невозможен. Причина этого – несовместимость методов кодирования стереосигнала [39].

По результатам опроса, проведенного журналом «Радио» более десяти лет назад, именно стереофонический прием радиопередач признан важнейшей функцией автомобильного приемника, и дело, наконец, сдвинулось с мертвой точки. Специально для стран СНГ фирма Sony некоторое время выпускала модели магнитол «стерео плюс» не только с расширенным УКВ-диапазоном, но и двухстандартным стереодекодером, рассчитанным на обработку стереосигналов как с пилот-тоном, так и с полярной модуляцией. Однако в настоящий момент их выпуск прекращен. В магнитолах «Урал» РМ21, РМ23 использован двухстандартный стереодекодер на микросхеме КР174ХА51 отечественной разработки, но ей свойственны серьезные недостатки.

В моделях для США и Азиатско-Тихоокеанского региона нет длинноволнового диапазона. Поскольку в США для радиовещания принята другая *сетка частот*, то модели для американского рынка могут оказаться непригодными к использованию в других странах, и наоборот. В США шаг сетки частот в диапазоне средних волн составляет 10 кГц, в диапазоне УКВ – 200 кГц, в Европе – 9 и 50 кГц соответственно, а переключение сетки частот предусмотрено далеко не во всех синтезаторах частоты приемников. Кроме того, в моделях для Азиатско-Тихоокеанского региона до недавнего времени использовался диапазон УКВ 76–90 МГц. Множество таких магнитол было ввезено в Россию вместе с подержанными японскими автомобилями. Для диапазона 65,8–74 МГц принят шаг сетки частот 30 кГц, поэтому даже при использовании конверторов, переносящих сигнал в нужный диапазон, прием всех станций не гарантируется.

2.4. РАДИОПРИЕМНЫЙ ТРАКТ

Для радиоприемной части автомагнитол характерен некоторый консерватизм [66]. Так, использование обычных конденсаторов переменной емкости (КПЕ) с воздушным диэлектриком в первых автомобильных приемниках приводило к нестабильности настройки из-за вибрации пластин. Для настройки стали применять блок катушек переменной индуктивности – ферровариометр, с которым легче получить необходимое перекрытие по частоте и плавность настройки по диапазону. В настоящее время в радиоприемных трактах с синтезаторами частоты применяется настройка контуров варикапами.

Широкое распространение синтезаторов частоты с середины 80-х годов полностью изменило представление об автомобильном приемнике. Помимо высокой стабильности частоты настройки, даже в отсутствие полезного сигнала, появились невозможные при аналоговой настройке функции – автоматическая настройка, сканирование фиксированных настроек, настройка на станции с наилучшим качеством сигнала, память фиксированных настроек и др.

Попытки ввести дополнительные функции в управление радиоприемником предпринимались и ранее, но их технические решения распространения не получили. Удачно была реализована только автоматическая настройка в диапазоне УКВ. Зарядка конденсатора в интеграторе изменяла его выходное напряжение, подаваемое на варикапы для настройки приемника в диапазоне частот. Сканирование прекращалось по сигналу системы бесшумной настройки, которая контролировала уровень полезного сигнала в полосе пропускания ПЧ, и интегратор переводился в режим хранения. Удержание станции производила система АПЧ. Настройка сохранялась до выключения приемника или получения команды на дальнейшую перестройку. Попытки ввести аналоговую память настройки не удались, как и применение подобных систем в диапазонах АМ.

Синтезаторы частоты современных приемников выполнены по схеме с ФАПЧ (в англоязычной терминологии PLL – Phase Locked Loop: замкнутая цепь фазовой автоподстройки). Принципы построения подобных систем известны – сигнал гетеродина после деления частоты сравнивается по частоте и фазе с опорным сигналом, частота которого равна шагу сетки частот в выбранном диапазоне. Полученный в результате сравнения сигнал ошибки изменяет частоту гетеродина таким образом, что она становится равна опорной частоте, умноженной на коэффициент деления.

Быстродействие синтезаторов первого поколения было недостаточным, поэтому в диапазоне УКВ они использова-

лись в комплекте с внешним делителем частоты. Набор функций был крайне ограничен. Современные синтезаторы выполнены полностью на одном кристалле и кроме собственно синтезатора частоты включают в себя управляющий микропроцессор и ячейки памяти настроек. Обычно используется по 5–6 ячеек памяти в каждом из АМ-диапазонов и от 10 до 30 и более в диапазоне УКВ. Ячейки в диапазоне УКВ для удобства пользования обычно разбивают на группы. Для индикации частоты настройки в синтезаторах первого поколения использовались светодиодные индикаторы, затем перешли к использованию жидкокристаллических экранов (LCD display) с задней подсветкой и катодолюминисцентных индикаторов (в дорогих моделях). Изменение сетки частот (европейский или американский стандарт) первоначально производилось перемычками или переключателями на плате магнитолы. В современных моделях эта операция проводится с клавиатуры программным путем.

В функции микропроцессора входят также сканирование клавиатуры, индикация диапазона, частоты настройки, номеров ячеек памяти, режимов работы приемника или магнитофона, набор которых может довольно сильно отличаться от модели к модели даже среди продукции одной фирмы. С распространением в звуковом тракте цифровых регуляторов (громкость, баланс, тембр) управление ими было возложено на микропроцессор синтезатора частоты. Лентопротяжные механизмы с логическим управлением и ряд внешних устройств также обслуживаются этим микропроцессором.

Алгоритм автоматической настройки для современных радиоприемных трактов примерно одинаков и отличается только деталями. Например, настройка может сначала производиться в режиме местного приема (Local) при пониженной чувствительности приемного тракта, и лишь затем в режиме дальнего приема (DX). Микропроцессор перестраивает приемник по диапазону до тех пор, пока не получит от него стоп-сигнал. Он вырабатывается по совпадению двух условий – захвата частоты и достижения заданного уровня сигнала ПЧ. В диапазоне УКВ для этого обычно используют имеющийся у большинства микросхем УПЧ выход уровня и сигнал системы бесшумной настройки частотного детектора. Далее, в зависимости от выбранного алгоритма, анализируются другие условия. В диапазоне УКВ, помимо уровня сигнала, может контролироваться наличие и уровень пилот-тона. При слабом сигнале стереодекодер принудительно переводится в режим моно. Если станция удовлетворяет поставленным условиям, ее частота заносится в память.

Системы передачи данных по радиоканалу (RDS) используют для вывода информации все тот же дисплей и микропроцессор. По радиоканалу в текстовом виде могут передаваться дорожные сводки для водителей, прогноз погоды, финансовые новости и другая информация, которую можно сохранить в памяти системы. Используя опознавательные коды, современные приемники осуществляют поиск станций, транслирующих определенную информацию (спорт, новости, музыка), переходят на другой канал, транслирующий ту же программу, или переключаются на прием экстренных сообщений. К сожалению, в России система RDS находится на первом этапе развития, безликие отечественные радиостанции еще не передают опознавательных сигналов, да и музыкальный винегрет в эфире не способствует использованию этих функций. Радиостанции лишь недавно стали ориентироваться на определенную аудиторию, и практическая польза от RDS в России, судя по всему, будет не скоро.

В головных устройствах высокого класса применяются раздельные тракты АМ и ЧМ, что упрощает коммутацию и повышает качественные показатели. Выполняются они на микросхемах, причем в моделях более высокого класса используются микросхемы меньшей степени интеграции. Это объясняется тем, что при совмещении на одном кристалле нескольких функциональных узлов усиливается их взаимное влияние, что неизбежно приводит к ухудшению параметров. В особо качественных трактах используются каскады на дискретных транзисторах.

В современной аппаратуре тракт АМ стал дополнительным, а тракт ЧМ – основным (по крайней мере, для жителей городов). Его конструкции уделяется большое внимание. Структура входных каскадов (front-end) тракта ЧМ – резонансный УВЧ и преобразователь частоты с отдельным гетеродином – традиционна. Далее сигнал промежуточной частоты поступает на пьезофильтр ПЧ, широкополосный УПЧ, частотный детектор, стереодекодер. Число настраиваемых контуров – от двух до четырех в зависимости от требований, предъявляемых к избирательности приемника. УВЧ и преобразователь частоты выполняются на одной микросхеме (например, TA7358AP, KA22495), реже – на дискретных элементах (в моделях высокого класса). УПЧ и стереодекодер представляют собой отдельные микросхемы, хотя иногда используются и комбинированные микросхемы, объединяющие эти два узла.

В крупных городах, где количество УКВ-станций достаточно велико, их мощность ограничена, а уровень промышленных помех высок, повышение чувствительности

приемника, не подкрепленное мерами по увеличению реальной селективности, только ухудшает качество приема. Входные каскады микросхем или усилители высокой частоты, выполненные на биполярных транзисторах, при приеме в таких условиях создают значительные перекрестные искажения. Поскольку при подобном построении в составе тракта УКВ есть только один перестраиваемый контур на выходе УРЧ, избирательность по зеркальному каналу невысока. Широкополосный контур или полосовой фильтр на входе тракта на избирательность практически не влияет.

Чтобы получить высокий устойчивый коэффициент усиления при высокой избирательности, в некоторых высококачественных трактах УКВ использовались двухкаскадные УРЧ и дополнительный перестраиваемый полосовой фильтр. С этой же целью в последние годы в трактах УКВ среднего и высокого класса все чаще используются полевые транзисторы. Благодаря высокому входному сопротивлению цепь затвора мало шунтирует входной контур и практически не влияет на его добротность. Это обстоятельство позволяет увеличить коэффициент включения контура, что приводит к повышению уровня сигнала на входе УРЧ. Малая проходная емкость полевых транзисторов способствует устойчивой работе УРЧ с резонансной нагрузкой при более высоком усилении, чем у биполярных транзисторов, что позволяет обойтись всего одним каскадом усиления.

Смеситель преобразователя частоты тракта УКВ как в интегральном, так и в дискретном исполнении выполняется исключительно на биполярном транзисторе по схеме с общим эмиттером. В этом отношении тракт ЧМ отечественных автомобильных радиоприемников, построенный с применением балансного смесителя на микросхеме К174ПС1, гораздо совершеннее. Сигнал РЧ и сигнал гетеродина в рассматриваемых смесителях подаются в цепь базы, а сигнал ПЧ частотой 10,7 МГц выделяется в коллекторной цепи одиночным контуром. Избирательность по соседнему каналу полностью определяется пьезокерамическими фильтрами в тракте ПЧ.

Гетеродин тракта УКВ на дискретных элементах выполняется обычно по схеме емкостной трехточки, гораздо реже – по схеме с общей базой (для отечественных конструкций картина противоположная). В преобразователях частоты интегрального исполнения используются гетеродины на двух транзисторах, контур гетеродина подключается к ним только двумя точками. В радиоприемных трактах с аналоговой настройкой обязательно используется неотключаемая автоматическая подстройка частоты гетеродина при помощи варикапа в контуре гетеродина. Напря-

жение АПЧ берется с выхода частотного детектора. В радиоприемных трактах с цифровой настройкой за стабильность частоты гетеродина отвечает синтезатор частоты, при этом нет необходимости в специальных элементах подстройки. Неотъемлемая часть современных УКВ-блоков – буферный каскад для подачи сигнала гетеродина на синтезатор частоты или цифровую шкалу, которая применяется в аппаратах с аналоговой настройкой взамен традиционной шкалы со стрелкой или цифроаналоговой световой шкалы. Для увеличения стабильности частоты гетеродина связь буферного каскада с контуром гетеродина минимальна, в ряде случаев для этого используют связь через емкость монтажа. Катушки УРЧ и гетеродина обычно бескаркасные, намотаны медным эмалированным проводом диаметром 0,6–1,0 мм с диаметром витка 4–6 мм. Сопряжение контуров выполняется подгибанием крайних витков. После настройки витки катушки фиксируют парафином или компаундом.

Рассмотренное построение радиоприемного тракта характерно сейчас главным образом для аппаратуры европейских производителей. В современных массовых моделях азиатского производства все шире применяются совмещенные радиоприемные тракты второго поколения, полностью выполненные на одном кристалле. Например, фирма Sanyo производит микросхему LA1883M, размещенную в корпусе с 64 выводами и работающую в комплекте с микропроцессором. Подобные тракты применяют в своих магнитолах фирмы Sony, Kenwood, Pioneer. Однако качественные показатели несколько хуже, чем у тракта с меньшей степенью интеграции.

2.5. ТРАКТ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Тракт ЗЧ – это именно то, что нередко определяет класс головного устройства в оценке потребителя. Различия в структуре и параметрах радиоприемных трактов мало кому понятны, тем более что в моделях одного семейства они практически отсутствуют. Сервисные функции в основном стандартны [40]. Основные отличия между классами ГУ (как внешние, так и внутренние) заключаются в построении тракта ЗЧ, и в первую очередь его входных цепей [66].

2.5.1. Входные цепи тракта ЗЧ

Поскольку в магнитоле как минимум два источника сигнала (тюнер и дисковый транспорт), то тракт ЗЧ начинается с коммутатора сигналов. Во избежание искажений коммутация сигнала выполняется ключами на полевых транзисторах. В современных ГУ коммутатор сигналов входит в состав микросхемы аудиорегулировок.

Для подключения внешних источников сигнала (например, CD-плеера) в недорогих моделях магнитол установлен наружный аудиоразъем для штекера на 3,5 мм (с размыкаемыми контактами). В более сложных коммутация сигнала с внешнего входа выполняется электронными коммутаторами. В магнитолах, рассчитанных на управление внешним чейнджером, *линейный вход* размещен на задней панели и управляется электронным коммутатором. Часто он не имеет отдельных гнезд, а выведен на разъем для подключения чейнджера вместе с сигналами управления. Активизировать этот вход при отсутствии в аудиосистеме таких источников (причем того же производителя, что и магнитола) обычно не удается без принятия специальных мер. Дело в том, что при отсутствии внешнего источника совместимого семейства отсутствует и обмен данными с ним по кабелю управления, в результате чего микропроцессор «не видит» линейного входа.

2.5.2. Аудиорегулировки

В настоящее время электронные регуляторы громкости и тембра практически вытеснили переменные резисторы, поскольку при массовом производстве себестоимость электронных регуляторов существенно ниже. Распространение электронных регуляторов позволило ввести функции, труднореализуемые в механических устройствах: предварительные настройки с запоминанием, автоматическое изменение громкости в зависимости от скорости движения автомобиля, автоматическое переключение чувствительности и частотной характеристики для разных источников сигнала и др.

Однако влияние электронных регуляторов на качество воспроизведения намного сильнее, чем переменных резисторов. Помимо несомненных удобств, электронные регуляторы вносят в сигнал искажения и шумы, от которых свободны переменные резисторы. Поэтому в аппаратах высшей ценовой категории (например, McIntosh MX-406) все аудиорегулировки производятся только высококачественными переменными резисторами, что в данном случае совершенно справедливо преподносится как Hi-End. Во всяком случае, традиции оказались сильны, увлечение «кнопочками» прошло, и сейчас распространены поворотные регуляторы (энкодеры).

Первоначально для электронного регулирования сигнала в тракте ЗЧ использовались управляемые напряжением усилители (VCA). Однако им свойственны значительные нелинейные искажения сигнала – до 2%. Поэтому в настоящее время они не применяются. Современные регу-

ляторы по своей структуре – операционные усилители, охваченные коммутируемыми обратными связями. Коммутация встроенных делителей обратной связи выполняется внутренними КМОП ключами. Управление ими, как правило, производится от микропроцессора, хотя существуют и микросхемы со встроенными цепями управления. Диапазон регулирования тембра современных ГУ не отличается особым размахом (обычно по 8–9 дБ в обе стороны), но это даже к лучшему. Когда «любитель горячего» выводит тембры НЧ и ВЧ на +18 дБ, плохо приходится либо усилителю, либо динамикам (что чаще). А ведь при грамотной установке и хороших динамиках насиловать аппаратуру вообще не нужно.

В тракте ЗЧ некоторых ГУ вместо регуляторов тембра используют трех- или пятиполосный *эквалайзер*. Для коррекции акустических дефектов, присущих салонам автомобилей, их возможности явно недостаточны. Правда, иногда встречаются модели с большим числом полос регулирования (до восьми). Причем основные регулировки сосредоточены в «проблемной» для автомобильного звуковоспроизведения области нижних частот. Они выполнены на основе микросхем с управлением по шине I^2C (например, TEA6360 производства Philips).

Узел коммутации источников сигнала и регулировок в современных трактах также собирают на микросхемах с управлением по шине I^2C (TDA7312 производства SGS-Thomson, TDA8425, TEA6320, TEA6321, TEA6330 производства Philips и др.). Какие-либо отступления от типовой схемы включения практически не встречаются. Для увеличения глубины регулировки тембра на низших частотах все чаще используется Т-звено в цепи ООС, частота квазирезонанса которого выбирается в районе 80–100 Гц. Субъективно такая регулировка дает ощущение «глубокого» баса, но может вызвать заметные на слух искажения в случае использования громкоговорителей невысокого качества. Если у радиолюбителя есть возможность ознакомиться с типовой схемой включения микросхемы регулятора, ее характеристики можно изменить: например, уменьшить глубину тонкомпенсации или сместить частоты перегиба регуляторов тембра.

Помимо регуляторов громкости и тембра, в УЗЧ магнитол предусмотрены другие функции и регулировки. Практически все современные модели магнитол имеют четырехканальный звуковой тракт: два передних (фронтальных) стереоканала и два задних (тыловых). Это не квадрофоническая система, как думают некоторые пользователи, и сигналы передних и задних каналов ничем, кроме уровня, не отличаются.

Для регулировки распределения сигнала между передними и задними каналами используют специальный регулятор – *фейдер* (Fader). Его характеристика регулирования такова, что при перемещении регулятора из крайнего положения к среднему уровень сигнала введенного канала снижается незначительно (или вовсе не изменяется), а выведенного, наоборот, быстро растет. После прохождения среднего положения картина меняется на обратную.

Поскольку встроенные в магнитолы усилители не в состоянии обеспечить высокую мощность, необходимую для работы с многополосными акустическими системами, в большинстве современных моделей предусмотрены линейные выходы для подключения внешних УМЗЧ. В простых моделях имеется только одна пара линейных выходов (обычно они обозначены как тыловые), а в более сложных – две пары (фронтальные и тыловые). В магнитолах высокого класса также есть отдельный линейный выход для низкочастотного (сабвуферного) канала. Уровень суммарного (монофонического) сигнала на этом выходе не зависит от распределения уровней между фронтальными и тыловыми каналами. В некоторых моделях величина этого сигнала может регулироваться независимо. Иногда в этой цепи имеется *встроенный фильтр* низкой частоты (ФНЧ) с возможностью регулировки частоты среза, что упрощает выбор дополнительного усилителя.

Для стыковки с низкочастотным звеном акустической системы или простейшим сабвуфером фирма Pioneer выпускает ряд относительно недорогих моделей с функцией FIE, в которых сигнал для тыловых каналов может быть пропущен через ФНЧ с переключаемой частотой среза (100–160–200–250 Гц). Ряд моделей Kenwood (KDC-6007, KDC-8007) позволяет включить в состав тракта фильтр высокой частоты (ФВЧ), частота среза которого перестраивается от 40 до 200 Гц. Эта мера позволяет улучшить согласование усилителей аппарата с малогабаритными динамическими головками, не предназначенными для воспроизведения низких частот. В некоторых моделях головных устройств, помимо линейного выхода, имеется отдельный *вход усилителя мощности* (effect loop), что позволяет включить в разрыв усилительного тракта внешнее устройство (эквалайзер, звуковой процессор и т. д.).

В массовых моделях магнитол сигнал на *линейные выходы* поступает непосредственно с выхода блока регулировок через защитные резисторы или согласующие делители напряжения. В результате выходное сопротивление достигает величин 10–20 кОм, что при использовании длинных соединительных кабелей может привести к ограничению по-

лосы частот сигнала, поступающего на внешний усилитель. Линейные выходы моделей высокого класса снабжены буферными каскадами, как правило, на ОУ. При уровне сигнала на линейном выходе около 1 В они включены повторителями, а для более высокого уровня сигнала – усилителями.

В связи с ужесточением требований к уровню помех в аудиосистеме (главным образом из-за наводок от бортовой сети автомобиля) в последнее время наметилась тенденция к увеличению уровня сигнала на линейных выходах до 4 В и даже 8 В, а в самых совершенных системах введены дифференциальные (балансные) выходы. Повышение уровня сигнала до таких значений требует применения повышенного напряжения питания для буферных каскадов, поэтому в подобных системах предусмотрен встроенный или вынесенный преобразователь напряжения.

2.5.3. Усилители мощности ГУ

В составе подавляющего большинства магнитол имеется усилитель мощности. Однако в автомобильных аудиосистемах высокого класса встроенные усилители магнитол не используются, поэтому ряд моделей, предназначенных для построения таких систем, встроенного УМЗЧ не имеет. Если в первых моделях магнитол УМЗЧ выполнялся на дискретных элементах, то уже с середины 70-х годов широко применяют микросхемы – сначала гибридные, а затем и интегральные. В настоящее время усилители мощности выполняют исключительно по мостовой схеме на ИМС. Акустические системы первых автомагнитол простоты ради монтировали на задней полке салона, поэтому первые четырехканальные аппараты по инерции имели мощный усилитель для тыловых каналов (2? × 20 – 25 Вт) и маломощный для фронтальных (2 × 5 – 7 Вт). У современных аппаратов все каналы равноценны.

Следует отметить, что приводимая производителями в технической документации *выходная мощность* сильно завышена в рекламных целях. Обычно указывается только максимальная (музыкальная) мощность при коэффициенте гармоник 10%, она же фигурирует в надписи на передней панели и упаковке. Номинальная же (RMS) мощность указывается далеко не всегда. Обычно она в 2–3 раза ниже. При напряжении питания 14,4 В на нагрузке 4 Ом номинальная мощность для мостового усилителя не превышает 12–15 Вт. Музыкальная же мощность указывается 45–55 Вт! В дальнейшем, чтобы избежать путаницы при сравнении различных магнитол, для них будет приводиться именно музыкальная мощность – но будем помнить, что номинальная-то у всех одинаковая...

Мостовые усилители используют в ГУ неспроста. Максимальную выходную мощность можно реализовать в том случае, когда размах напряжения сигнала становится равным напряжению питания. На практике это невозможно, так как напряжение насыщения транзисторов не позволяет довести выходной сигнал до напряжения питания. Наиболее простой способ увеличить выходную мощность – снизить сопротивление нагрузки. Однако у этого способа есть недостатки:

- дополнительные потери в соединительных проводах между усилителем и нагрузкой;
- увеличение тока нагрузки приводит к снижению максимального выходного напряжения;
- увеличение тока нагрузки приводит к росту искажений;
- ухудшение демпфирования может привести к росту резонансного «горба» на АЧХ.

Одно время в магнитолах высокого класса использовались гибридные усилители мощности серии STK, предназначенные для работы с нагрузкой 2 Ом, 1 Ом и даже 0,5 Ом. Их потенциальные возможности могли быть реализованы только при работе совместно со специальными низкоомными головками, поэтому распространения такие усилители не получили.

Более удобным оказалось включение двух усилителей по мостовой схеме (когда один из них инвертирует фазу). Громкоговоритель подключают к их выходам непосредственно без разделительных конденсаторов, что в известной мере способствует повышению качества звучания. Выходное напряжение на нагрузке оказывается вдвое больше, поэтому при одном и том же напряжении питания и нагрузке выходная мощность усилителя по мостовой схеме теоретически оказывается в 4 раза больше, чем у отдельно взятого канала (практически она несколько ниже, поскольку с ростом тока нагрузки снижается максимальное выходное напряжение). По такой схеме выполнены усилители мощности всех современных ГУ.

Наряду с таким достоинством, как большая выходная мощность, мостовым усилителям свойственны и недостатки. Прежде всего это повышенный примерно в 1,2–1,7 раза по сравнению с исходными усилителями коэффициент гармоник и вдвое худший коэффициент демпфирования. Казалось бы, коэффициент гармоник изменяться не должен, но на практике увеличение происходит из-за различия характеристик реальных (даже выполненных на одном кристалле) усилителей. Ухудшение демпфирования объясняется тем, что выходные сопротивления усилителей складываются.

Кроме того, поскольку нагрузка подключается к выходам без разделительных конденсаторов, ее провода находятся относительно массы под постоянным напряжением, поэтому случайное замыкание нагрузки на массу может привести к выходу усилителя из строя. В современных интегральных УМЗЧ есть встроенные системы защиты от подобных неприятностей, но микросхемы старых серий были недостаточно надежны. Лет 15 назад народные умельцы, экономившие на проводах, «пускали по массе» обратный провод динамиков, чем просто обогатили ремонтников. Прошло несколько лет, прежде чем доморощенные «мастера» научились читать инструкции.

Но есть класс усилителей, буквально рожденный для автомобилей. Это УМЗЧ, в которых выходной каскад работает в *режиме Н* (с изменяемым напряжением питания). Толчком для разработки таких усилителей послужило то, что реальный звуковой сигнал имеет импульсный характер и средняя мощность намного ниже максимальной. В основе устройства лежит обычный усилитель, включенный по мостовой схеме, а «изюминка» – в удвоении напряжения питания выходного каскада с помощью накопительного конденсатора большой емкости, который подзаряжается от основного источника питания. На пиках мощности этот конденсатор схемой управления подключается последовательно с основным источником. Напряжение питания выходного каскада усилителя на доли секунды удваивается, позволяя ему справиться с передачей пиков сигнала и почти вчетверо увеличить максимальную мощность [65, 66].

Пример усилителя класса Н – микросхема TDA1560Q, развивающая номинальную выходную мощность 40 Вт на нагрузке 8 Ом при напряжении питания 14,4 В. Микросхема имеет функции управления режимами (включена, режим ожидания, режим приглушения звука, работа в режиме В, работа в режиме Н). Микросхема TDA1562Q имеет аналогичную структуру, но рассчитана на нагрузку сопротивлением 4 Ом. Выходная мощность достигает 60 Вт.

К сожалению, производители такой аппаратуры умалчивают о существенном недостатке. Максимальная мощность усилителей в режиме Н зависит от емкости накопительных конденсаторов и частоты сигнала. Чем меньше их емкость, тем меньше «прибавка» мощности на низких частотах, то есть как раз там, где она особенно нужна. Совершенно очевидно, что упрятать батарею конденсаторов внушительной емкости внутрь стандартного корпуса нереально, поэтому заявленная производителями магнитол мощность обеспечивается лишь на средних и высших частотах.

В ресивере Panasonic CQ-C8803N применен полностью цифровой тракт сигнала (концепция Full Digital – полностью цифровой). Встроенный усилитель мощности работает в классе D с высоким собственным КПД, а для его питания использовано повышенное напряжение, что позволило отказаться от мостовой схемы подключения нагрузки и улучшить ряд показателей. Максимальная мощность каждого из четырех каналов усилителя достигает 70 Вт на нагрузке 4 Ом, номинальная – 40 Вт на канал, причем это «нормальные» ватты! Для питания усилителя использован преобразователь напряжения, вынесенный из основного корпуса во избежание наводок. Преобразователь выполнен на гибридной микросборке, корпус блока играет роль радиатора и одновременно электромагнитного экрана. Жгут проводов, соединяющий преобразователь с головным устройством, снабжен разъемом и заключен в ферритовую трубку – фильтр высокочастотных помех.

2.6. ТРАКТЫ CD И MD

Транспортные механизмы CD-, DVD- и MD-проигрывателей (далее для краткости – транспорт) выпускает относительно небольшое количество производителей, поэтому они отличаются весьма высоким качеством. Поскольку транспортные механизмы чейнджеров отличаются от ресиверов только наличием устройства смены дисков, все изложенное в этом разделе в равной степени относится и к чейнджерам.

При всем многообразии конструкций автомобильных чейнджеров их можно свести всего к двум типам: магазинным и со щелевой загрузкой. Чейнджеры со щелевой загрузкой удобны в установке (габариты стандартные – 1 DIN или 2 DIN), компактны, но именно это обстоятельство и ограничивает их емкость пятью-шестью дисками. Кому-то это может показаться достаточным, особенно в случае «емких» дисков формата MP3. Однако для того, чтобы «скормить» аппарату все диски через щель, нужно запастись терпением, а оперативная замена возможна только для самого верхнего диска в стопке.

С этой точки зрения классические чейнджеры с магазинной загрузкой вне конкуренции. При наличии запасного магазина с другим комплектом дисков «сменить обойму» можно очень быстро. Да и оперативная замена одного диска в комплекте тоже не требует большого времени. Наконец, емкость ограничена уже не жестко заданными габаритами головного устройства, а только здравым смыслом. Чейнджер большой емкости уже можно установить в любом удобном месте, для того и существуют выносные датчики дистанционного управления.

Чтобы вибрации автомобиля не передавались транспорту, он устанавливается в корпусе на специальной подвеске. В простейшем случае это пружины и резиновые втулки, в дорогих аппаратах применяются гидравлические демпферы (масляные либо силиконовые). Это, кстати, нужно учитывать при покупке – масляные демпферы на нашем морозе могут застыть. Рекомендуется выбирать модели, ориентированные на Европу.

Тем не менее даже самая мягкая подвеска не в состоянии защитить транспорт от сильных ударов при поездке по неровной дороге. Поэтому в современных моделях CD-ресиверов и чейнджеров есть *противоударная память*. Принцип ее работы прост. При воспроизведении диска осуществляется упреждающее чтение, данные в цифровом виде заносятся в буферную память и только после этого поступают на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). При сильном сотрясении и кратковременной потере слежения за дорожкой звучание не прерывается. В зависимости от сложности аппарата емкость памяти может составлять от 3 до 10 и более секунд звучания.

В середине 90-х годов, когда стоимость микросхем оперативной памяти была относительно высокой, эта функция оказывала значительное влияние на стоимость аппарата и в обязательном порядке отражалась в технических характеристиках. Теперь же буферная память присутствует «инкогнито» даже в недорогих моделях [61].

В MD- и MP3-проигрывателях буферная память имеется в обязательном порядке, однако ее наличие вытекает из самого принципа работы. Дело в том, что запись в этих форматах производится со сжатием цифровых данных, поэтому для правильного восстановления записанного сигнала требуется предварительное накопление считанной с диска информации.

В зависимости от емкости противоударной памяти качество звучания во многом будет зависеть от состояния дороги, подвески автомобиля и стиля вождения, а также места и способа установки. Наименьшие ускорения при ударах транспорт будет испытывать в том случае, если будет установлен вблизи центра масс автомобиля. Для большинства легковых автомобилей эта точка расположена в пространстве между передними сиденьями или в районе КПП. Использовать это место для установки чейнджера удается не всегда, но в любом случае следует устанавливать его хотя бы в пределах колесной базы. Многие модели чейнджеров допускают установку в различных положениях, при этом нужно только, поворачивая регулятор, отрегулировать компенсаторы подвески.

Для ресивера остается лишь использовать штатное посадочное место, не всегда пригодное для таких аппаратов. Дело в том, что наилучшее рабочее положение для CD-ресиверов – горизонтальное, максимальный же *угол установки* не должен превышать 30 градусов. Кроме того, необходимо обеспечить жесткое крепление задней части корпуса, что не всегда возможно в отечественных автомобилях.

Конструкция транспортов примерно одинакова для всех производителей. На шасси установлен двигатель привода шпинделя. В массовых моделях применяется непосредственный привод. В дорогих для улучшения стабильности считывания иногда используется передача вращения пассиком. Каретка с оптической головкой перемещается двигателем при помощи винтовой пары. Радиальное слежение и фокусировку оптической головки производят линейные следящие приводы.

Помимо перечисленных приводов, «генетически» связанных с процессом воспроизведения, имеется еще один двигатель, который при помощи роликов и кулачков производит загрузку и выгрузку диска. При установке диска в щель приемника срабатывает оптический датчик. Дальнейшее зависит от конкретной реализации алгоритма управления. Некоторые аппараты не позволяют загрузить диск в выключенном состоянии аппарата, другие допускают только выгрузку. В некоторых моделях после загрузки диска начинается автоматическое воспроизведение («включение диском»). Большинство современных аппаратов оснащено функцией «спрятать диск». Если после нажатия на кнопку выброса диска его не изъять из щели приемника, то по истечении некоторого времени (10–20 с) он будет вновь загружен. Несколько лет назад появились упрощенные приводы, в которых загрузка диска производится вручную (нажатием на его край), а выгрузка – пружиной после нажатия на кнопку выброса, но сейчас они уже не встречаются.

Обычно схемы управления приводами и ЦАП располагаются на отдельной плате, прикрепленной к транспорту. В дорогих моделях ЦАП может находиться на основной плате магнитолы или быть выполнен в виде отдельного блока, в том числе и внешнего.

Первоначально в CD-проигрывателях использовались мультибитные ЦАП. Принцип их работы основан на коммутации высокоточных резистивных матриц, формирующих выходной ток от стабилизированного источника опорного напряжения в зависимости от цифрового значения входного слова. Линейность преобразования и ряд других характеристик определяются точностью матрицы, а технология их производства была достаточно дорогой. Однако

довольно быстро появилась дешевая альтернатива в лице однобитных ЦАП, что позволило сделать CD-проигрыватели доступными по цене. Вершиной развития мультибитного типа микросхем стали чипы PCM58, PCM63, PCM1702 и PCM1704 производства американской фирмы Burr-Brown и несколько моделей от Analog Devices. В создании однобитных же наибольших успехов добились фирмы Crystal Semiconductors и Philips.

Тип ЦАПа как таковой не является необходимым условием качества, но исторически именно аппараты на основе мультибитных чипов принято считать наиболее музыкальными и точными. Главные положительные качества в звучании мультибитного ЦАП – хорошая локализация звуковых образов (четкое расположение КИЗ, хорошо различимое эшелонирование по глубине сцены) и особая масштабность звучания, не похожая на слегка «зажатое» и «мелкое» звучание многих «однобитников». Но из всякого правила возможны исключения – очень многое зависит и от проектировщика аппаратуры.

Подключение чейнджеров к головным устройствам совместимого семейства производится специальным кабелем. В недорогих моделях сигналы управления и звуковые сигналы передаются по комбинированному кабелю, в более совершенных – каждый по отдельному. В самых дорогих системах применяется передача сигналов в цифровом виде. В аппаратах McIntosh можно использовать совместно с чейнджером внутренний ЦАП головного устройства, что снижает уровень помех в системе.

Для подключения к произвольно взятым (обычно штатным) магнитолам некоторые фирмы выпускают к своим чейнджерам дополнительные устройства управления (контроллеры) и радиочастотные модуляторы, позволяющие принять сигнал на одном из участков УКВ-диапазона. Качество звучания, естественно, при этом значительно страдает. Чтобы устранить этот недостаток, фирма JVC выпустила чейнджер KD-MA1 со встроенным блоком регулировок и усилителем мощности, который при помощи релейного коммутатора Direct Link подключался непосредственно к динамическим головкам. Однако выпуск подобных «универсальных» чейнджеров в настоящее время прекращен, поскольку изменился сам взгляд на структуру автомобильной стереосистемы [19–21, 25, 26, 49, 62, 63, 87, 114, 122, 125].

2.7. ВИДЕОМОНИТОРЫ

Видеомонитор стал неотъемлемой частью мультимедийной системы и входит в конструкцию многих головных устройств. Это дает основание рассмотреть их в этой главе.

Многие (но пока не все) современные автомобили штатно укомплектованы монитором навигационной системы, к которому часто подключена и камера заднего обзора. Это уже не роскошь, а удобство и безопасность, и обделенные этим автомобилисты решают проблему самостоятельно. Видеокамеры стали доступными, ассортимент видеомониторов и телевизоров, пригодных или изначально предназначенных для эксплуатации в автомобиле, расширяется с каждым днем. И когда встает задача выбора монитора для установки, есть о чем задуматься. Встраиваемые мониторы удобны, функциональны, но их интеграция в панель приборов создает ряд проблем – и эстетических, и технологических. Найти место, где поместится экран с диагональю 7 дюймов (де-факто это стандарт автомобильных мониторов), не так-то легко. Съемные мониторы в этом отношении менее требовательны, но в силу своей заметности привлекают ненужное внимание. А действительность наша такова, что при каждой более-менее продолжительной парковке монитор требуется снимать, прятать или уносить, потом устанавливать... Это как минимум требует времени, да и не всегда удобно.

Значит, монитор должен быть, с одной стороны, быстро (и желательно – автоматически) маскирующимся, с другой – его интеграция в панель приборов не должна вызывать проблем. Идея витала в воздухе, и реализация не заставила себя ждать. Выдвижные мониторы и телевизоры габаритов 1 DIN стали появляться как грибы после дождя. Наряду с полностью моторизованными (и вследствие этого автоматизированными) устройствами появились предельно упрощенные клоны «с ручным приводом». Были и комбинированные ресиверы-мониторы без дисковода, но под натиском мультимедийных центров «все в одном» они практически вымерли. И оказалось, что корпус 1 DIN «наполовину пуст». Так зачем же месту пропадать? Настала пора «съежиться» до $^1/_2$ DIN [121]. Впрочем, многие компоненты мультимедийной системы также перешагнули этот рубеж, что позволяет размещать в центральной консоли достаточно сложные системы – до четырех модулей в посадочном месте 2 DIN.

2.7.1. Устройство ЖК-дисплея

Качество изображения жидкокристаллических мониторов за последние годы заметно выросло и практически не уступает другим способам отображения видеоинформации. Благодаря малым габаритам, экономичности и невысокой стоимости цветные TFT-дисплеи безраздельно господствуют в портативных и автомобильных телевизорах. Техноло-

гия их изготовления продолжает стремительно развиваться, что приводит как к улучшению всех параметров, так и к снижению цен [10, 40].

Принцип действия таких дисплеев достаточно прост. Жидкий кристалл – это жидкость, которая под влиянием приложенного к ней электрического поля приобретает способность пропускать лучи света с определенным направлением поляризации. Если расположить друг над другом две ячейки с ЖК, плоскости поляризации которых перпендикулярны, такая структура не пропустит падающий свет, поверхность останется непрозрачной. Когда плоскости поляризации совпадают, падающий свет пройдет насквозь. Жидкокристаллическая ячейка тока почти не потребляет, поэтому дисплеи очень экономичны.

Чтобы получить светящийся дисплей, надо заставить работать его в проходящем свете, расположив с обратной стороны источник. Открытые ячейки пропустят свет находящегося за ними источника. Для тыловой подсветки обычно используют люминесцентные лампы, они дают подходящий спектр и потребляют мало энергии. Чтобы получить цветной дисплей, нужно взять утроенное количество ячеек и в каждой из них расположить светофильтр одного из базовых цветов: красного (R), зеленого (G) или синего (B). Каждой ячейкой управляет отдельный транзистор, выполненный по так называемой тонкопленочной технологии (Thin Film Transistor, сокращенно TFT).

Правда, у LCD есть принципиальные недостатки, полностью избавиться от которых невозможно. Самый главный – направленность. Связан он с тем, что каждая ячейка представляет собой «трубу», через которую проходит свет от лампы. Если сделать ячейки совсем тонкими, они не смогут полностью перекрывать световой поток, в результате чего вместо черного цвета получится серый. Кроме того, жидкие кристаллы чувствительны к перепадам температуры: при низких работают чересчур инерционно, при высоких ухудшается способность становиться «непрозрачными». Поэтому хоть рабочий температурный диапазон современых дисплеев составляет от –10 до +60 градусов, лучшее изображение будет при комнатной температуре. Подвижность жидких кристаллов в сильный мороз снижается, изображение «замерзает» в буквальном смысле.

Ассортимент видеомониторов и телевизоров, пригодных или изначально предназначенных для эксплуатации в автомобиле, расширяется с каждым днем. Широко распространены матрицы с диагональю экрана 18 см (7 дюймов), их разрешение в стандартном формате составляет 960 × 234 точек, в широкоэкранном (16:9) – 1440 × 234 то-

чек. Размер экрана потолочных мониторов достигает 17 дюймов. Потребляемая телевизорами и мониторами мощность составляет 5–30 Вт в зависимости от размера экрана, значительная ее часть расходуется на подсветку экрана.

2.7.2. Типы автомобильных мониторов

За исключением радиоприемного тракта, принципиальных отличий между монитором и телевизором нет. Поэтому все изложенное далее в равной степени справедливо и для тех, и для других. Классифицировать автомобильные мониторы удобнее всего по конструктивному исполнению:

- мониторы в составе мультимедийных ГУ;
- выдвижные мониторы;
- мониторы, монтируемые на кронштейне (в том числе и портативные телевизоры в этой роли) или в подголовник;
- потолочные мониторы;
- мониторы в салонном зеркале заднего вида (противосолнечном козырьке).

Деление это весьма условно, поскольку в последнее время появились комбинированные устройства (DVD-проигрыватель с монитором), предназначенные как для монтажа на потолке салона, так и индивидуальные – в подголовник. Мониторы обзора в противосолнечных козырьках и зеркалах заднего вида утилитарны, поэтому ни размером, ни качеством изображения обычно не отличаются. Но в данную классификацию они попали, поскольку помимо камер обзора «мертвых» зон никто не мешает подключать к ним и другие источники сигнала.

Для установки телевизоров и мониторов на торпедо или иные поверхности в комплект обычно входит шарнирный кронштейн, позволяющий ориентировать экран под удобным для просмотра углом, а также обеспечивающий быстрое крепление и снятие аппарата. Учитывая наши реалии, мера не лишняя. Для установки в подголовник мониторы комплектуются специальной монтажной рамкой.

Потолочные мониторы (flip down – откидные) смонтированы на несъемном откидном кронштейне. В нерабочем состоянии кронштейн складывается таким образом, что монитор «прячется» в защитный кожух. В откинутом состоянии монитор можно разворачивать в удобное для просмотра положение. Известны также моторизованные варианты. В кожухе нередко монтируют дополнительные плафоны освещения салона.

Во многих мониторах предусмотрена блокировка изображения. Провод датчика нужно подключить к концевому

Рис. 2.16. Потолочный монитор

выключателю ручного тормоза, тогда работа монитора во время движения будет запрещена. Представить себе водителя, косящего глазом в экран во время движения, совсем несложно. Хотя замкнуть этот провод на «массу» еще проще...

Мониторы, предназначенные для установки на потолок салона, свободны от каких-либо блокировок, связанных с движением автомобиля, поскольку предназначены только для пассажиров.

2.7.3. Радиоканал

Поставляемые в Россию портативные и автомобильные телевизоры рассчитаны на прием сигналов изображения в метровом (1–12 каналы) и дециметровом (21–60 каналы) диапазоне волн. При этом как минимум поддерживаются основные варианты канала звукового сопровождения (B/G, D/K) в стандартах PAL и SECAM. Поддержка экзотических систем цветности и звукового сопровождения нужна только в том случае, если планируется поездка во Францию или Бразилию, но есть и мультисистемные модели, причем их стоимость отличается от «урезанных» версий незначительно.

На вторичном рынке еще встречаются устаревшие портативные телевизоры с аналоговой настройкой, но их приобретение вряд ли оправдано даже в качестве монитора: экран мал, угол обзора узкий. Тюнер всех современных телевизоров выполнен на основе синтезатора частоты, что

обеспечивает устойчивый прием. Наличие синтезатора частоты автоматически предоставляет ряд сервисных функций и автоматическую настройку. Число ячеек памяти в разных моделях колеблется от 100 до 256 – вовек не заполнить.

Данные о чувствительности тюнера если и доступны, то представляют небольшую ценность. Поскольку качество телевизионной «картинки» в автомобиле заметно уступает другим источникам сигнала, встроенный радиоканал телевизора нужен главным образом для автономной эксплуатации. Прием программ на стационарную антенну обычно очень уверенный, однако на встроенную телескопическую антенну любой телевизор «ловит» только в пределах прямой видимости от ретранслятора. Это минус, присущий такому классу антенн, а не телевизору или тюнеру. Если же интерес представляет именно эфирное вещание, нужно использовать специализированную автомобильную ТВ-антенну, а лучше – отдельный тюнер и систему разнесенных антенн.

2.7.4. Видеотракт

Если телевизор будет эксплуатироваться не только в машине, но и автономно, он должен быть мультисистемным. Во многих видеомониторах отсутствует SECAM, а в недорогих моделях есть только PAL. Аналогичная картина и с мониторами штатной комплектации в некоторых автомобилях: «японцы» поддерживают, естественно, только NTSC, а «европейцы» – только PAL. Несмотря на то что большинство DVD-проигрывателей выполняет транскодирование из NTSC в PAL и обратно, качество сигнала при этом ухудшается. Поэтому поддержка PAL и NTSC желательна в любом случае, особенно для экранов с диагональю свыше 7 дюймов, где любые огрехи становятся заметными.

Конечно, отсутствие режима SECAM может показаться кому-то недостатком. Но положа руку на сердце, кому в наши дни нужна «полная» мультисистемность? Если очень нужно, выпуск новостей можно посмотреть и в черно-белом варианте, а все остальное – лучше в записи, с этого мы начали. А записи – это PAL/NTSC. Видеокассеты в SECAM'е – плод самостоятельной записи эфирных программ и качеством не блещут изначально. Мало того, что формат VHS (задуманный под NTSC) и SECAM скрещивали поистине мичуринскими методами, так еще и сигнал искажен и зашумлен транскодером. После этого о выпуске DVD в SECAM'е и думать-то неудобно...

Канал изображения современных телевизоров и мониторов имеет развитую систему регулировок. В пользовательском режиме доступны регулировки яркости, контраст-

ности, четкости и цветовой насыщенности изображения. Для сигналов, передаваемых в системе NTSC, возможна регулировка баланса цвета. Кроме того, встречаются предустановки параметров изображения: «Динамичный», «Стандартный», «Мягкий», «Видеоигра».

В некоторых телевизорах и мониторах предусмотрена автоматическая регулировка яркости изображения в соответствии с интенсивностью освещения (Auto-Dimmer). Ее преподносят как новейшее достижение, но, как известно, все новое – это хорошо забытое старое. Первый телевизор с автоматической регулировкой параметров изображения в зависимости от освещенности был продемонстрирован на Брюссельской выставке еще в 1958 году (!), однако в домашних аппаратах эта функция широкого распространения не получила. А с появлением пультов дистанционного управления о ней и вовсе забыли: зачем городить огород, если все можно настроить, не вставая с любимого кресла. Да и условия просмотра в доме изменяются мало. Другое дело – автомобиль, резкая смена освещенности там неизбежна, поэтому данная функция – несомненное достоинство.

В условиях яркого внешнего освещения контрастность изображения снижается. Детали при этом теряются, но разборчивость «общего плана» до определенных пределов сохраняется. Об этом нужно помнить при выборе места для монтажа и стараться избегать попадания прямого света на экран. С этой позиции установка мониторов у потолка или в панели ниже уровня стекол может оказаться выгодной. Впрочем, если стекла глубоко тонированы, то этот совет не понадобится.

Следует отметить широкие возможности коммутации видеосигнала – не менее одного AV-входа в телевизорах и не менее двух – в видеомониторах. Иногда предусмотрен и вход RGB для подключения персонального компьютера или навигационной системы. Помимо обычных входов для композитного видеосигнала, во многих моделях предусматривается дополнительный вход S-video (с выделенным сигналом цветности) или вход SCART (раздельные сигналы яркости, цветности и синхронизации). Качество компонентного видеосигнала существенно выше, чем композитного, поэтому такой телевизор или монитор станет достойным компонентом мультимедийной системы. Естественно, источник сигнала должен иметь соответствующий выход.

Коммутатор мониторов иногда выполняют в виде отдельного блока, что позволяет уменьшить количество кабелей, идущих к монитору, и сделать его компактным. Кроме того, покидая машину, монитор можно снять. Согласитесь, что в наших условиях это все еще актуально...

Из чисто автомобильных функций телевизоров и мониторов следует выделить возможность зеркального поворота изображения. Этот режим нужен при использовании телевизора в качестве зеркала заднего вида, для чего к одному из видеовходов может подключаться видеокамера. В некоторых конструкциях режим зеркального переворота изображения включается автоматически при выборе специального входа для камеры заднего обзора. Второй вид поворота изображения – «вверх ногами» – потребуется при установке на потолок в салоне машины. В некоторых телевизорах есть функция «Автопереворот». Если она задействована, при переворачивании телевизора изображение автоматически занимает правильное положение. Обычно предусмотрены функция засветки экрана синим фоном при отсутствии видеосигнала, режим автоотключения при отсутствии сигнала или отключения по таймеру. В некоторых телевизорах даже имеется видеоигра [40].

2.7.5. Канал звука

Встроенная акустическая система есть во всех телевизорах и большинстве мониторов, однако качество звучания малогабаритных динамиков обычно оставляет желать лучшего. Несмотря на это, в некоторых моделях тракт звукового сопровождения стереофонический. Выходная мощность встроенного усилителя чаще всего не превышает 0,5 Вт. Во всех моделях предусмотрено подключение наушников (в некоторые мониторы встроен передатчик для беспроводных головных телефонов). Помимо регулировки громкости, в телевизорах верхних линеек часто предусмотрен эквалайзер с фиксированными предустановками тембра. Однако в большинстве мультимедийных систем встроенный канал звука используется лишь при просмотре эфирных программ.

Аудиовходы обычно коммутируются вместе с видеовходами, но в некоторых мониторах в наличии есть только один некоммутируемый вход, поэтому будет слышно звуковое сопровождение только одного источника [67]. Какого – зависит от назначения монитора. Если монитор эксплуатируется независимо от аудиосистемы, естественно будет подать туда звуковое сопровождение от основного источника видеосигнала. Если же монитор дополнительный в многозонной системе, этот вход – для альтернативного источника. Можно открывать на заднем сиденье клуб по интересам...

3. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Для создания простейшей автомобильной аудиосистемы достаточно установить акустические системы и присоединить их к магнитоле. Для системы более высокого уровня этого недостаточно, но без «динамиков» не обойтись и там. Поэтому после рассказа о головных устройствах логичнее всего будет перейти к рассмотрению конструкций громкоговорителей, применяемых в автомобиле [82].

При выборе акустических систем необходимо помнить, что идеала не существует. Тем не менее у каждой марки найдутся свои приверженцы, так что выяснять, какая из них лучше всех, по меньшей мере некорректно. Больше подходит тот громкоговоритель, который хорошо выполняет поставленную задачу. Не забывайте, совершенствуя один из показателей, конструкторы нередко идут на компромисс с другими. Можно считать это очередным проявлением «всеобщего закона сохранения»: *сумма показателей качества на единицу стоимости остается постоянной*. А потому нет и не может быть универсальных, одинаково применимых во всех случаях решений.

Учтите также, что не существует единого способа тестирования автомобильных акустических систем. Помимо ряда стандартизованных методик, многие производители пользуются своими собственными. Они склонны к преувеличениям или даже прямой лжи при оценке собственной продукции. Чего стоит, например, фантастическая мощность в сотни ватт, указанная на некоторых скромных на вид головках сомнительного происхождения.

Надеюсь, вы уже поняли, что вопрос выбора акустических систем – самый ответственный. Поэтому начнем сначала, а именно – с базовых определений.

Громкоговоритель, акустическая система (АС) – пассивный электроакустический преобразователь, предназначенный для излучения звука в окружающее пространство. Громкоговоритель содержит одну или несколько излучающих головок, необходимое акустическое оформление, а также пассивные элементы (фильтры и согласующие устройства). Если головки объединены общей конструкцией, АС называется *сосредоточенной*, если разнесены в пространстве – *распределенной*.

Головка громкоговорителя (ГГ) – конструктивно самостоятельный узел громкоговорителя, предназначенный для преобразования электрического сигнала звуковой частоты в акустический (звуковой). Таким образом, громкоговоритель – это головка в акустическом оформлении. В настоящее время наиболее широко распространены электродинамические головки громкоговорителей. Жаргонный термин «динамик» обозначал первоначально именно эту категорию головок. Теперь он часто употребляется в более широком смысле, хотя и не признан стандартами (тем не менее далее этот термин будет употребляться без кавычек в силу своей «компактности»). Применительно к автомобилю АС зачастую состоит только из динамических головок, поскольку акустическое оформление образовано элементами салона.

Акустическое оформление – меры, предпринимаемые для исключения акустического короткого замыкания.

Акустическое короткое замыкание – эффект подавления низких частот в звучании динамика в результате интерференции излучения передней и задней сторон диффузора. Поскольку на низких частотах эти волны противофазны, при их сложении происходит взаимная компенсация.

Фаза – состояние периодического сигнала или звуковой волны относительно некоторого положения, принятого за начальное. Выражается в градусах или радианах. Если сдвиг фаз равен 0, сигналы синфазны, если 180 градусов – противофазны.

Интерференция – взаимодействие двух или более звуковых волн, приходящих в точку прослушивания одновременно. Приводит к усилению или ослаблению звука в зависимости от разности фаз.

Дифракция – изменение направления распространения звуковой волны при прохождении у края препятствия.

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ГОЛОВОК ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Головки различаются по способу преобразования энергии, связи с окружающим пространством, воспроизводимому диапазону частот и конструктивному исполнению [12, 119].

По воспроизводимому диапазону частот головки делятся на *широкополосные*, предназначенные для воспроизведения всего диапазона звуковых частот (или значительной его части), и *полосовые* (низкочастотные, среднечастотные, высокочастотные). Соответственно меняется и конструктивное исполнение. Некоторые типы конструкций, как будет показано далее, предназначены исключительно для воспроизведения определенной полосы частот.

По связи с окружающим пространством головки делятся на рупорные и прямого излучения. Рупор обеспечивает акустическое усиление и является разновидностью акустического оформления. Он может применяться с любыми типами излучателей, но как встроенный в головку элемент конструкции используется только в высокочастотных и, гораздо реже, в среднечастотных излучателях.

По способу преобразования электрической энергии в звуковые волны можно выделить электродинамические, электростатические, пьезоэлектрические и ионно-плазменные излучатели. Для всех типов, кроме последнего, характерно наличие подвижной излучающей поверхности – диффузора или мембраны. Условная классификация головок приведена на рис. 3.1.

Из всех известных на сегодняшний день видов акустических преобразователей в автомобильных аудиосистемах массовое применение нашли динамические головки прямого излучения и пьезокерамические СЧ- и ВЧ-излучатели (прямого излучения и рупорные).

3.1.1. Электродинамические головки прямого излучения

В электродинамических преобразователях используется эффект смещения проводника с током в магнитном поле. Соответственно возможны различные варианты конструктивного исполнения динамических головок. Наиболее распространен вариант, который был изобретен и запатентован американцами Райсом и Келлогом в 1925 г. Первые серийные динамические головки были выпущены американской фирмой Jensen в 1928 году [29,30].

В «классическом» варианте связанная с диффузором цилиндрическая катушка с проводом (звуковая катушка) прямолинейно перемещается в кольцевом зазоре магнитной системы, представляющей собой мощный магнит, снабженный магнитопроводом. Основные изменения в конструкции динамических головок прямого излучения связаны с появлением новых материалов для изготовления диффузоров, подвесов и магнитных систем.

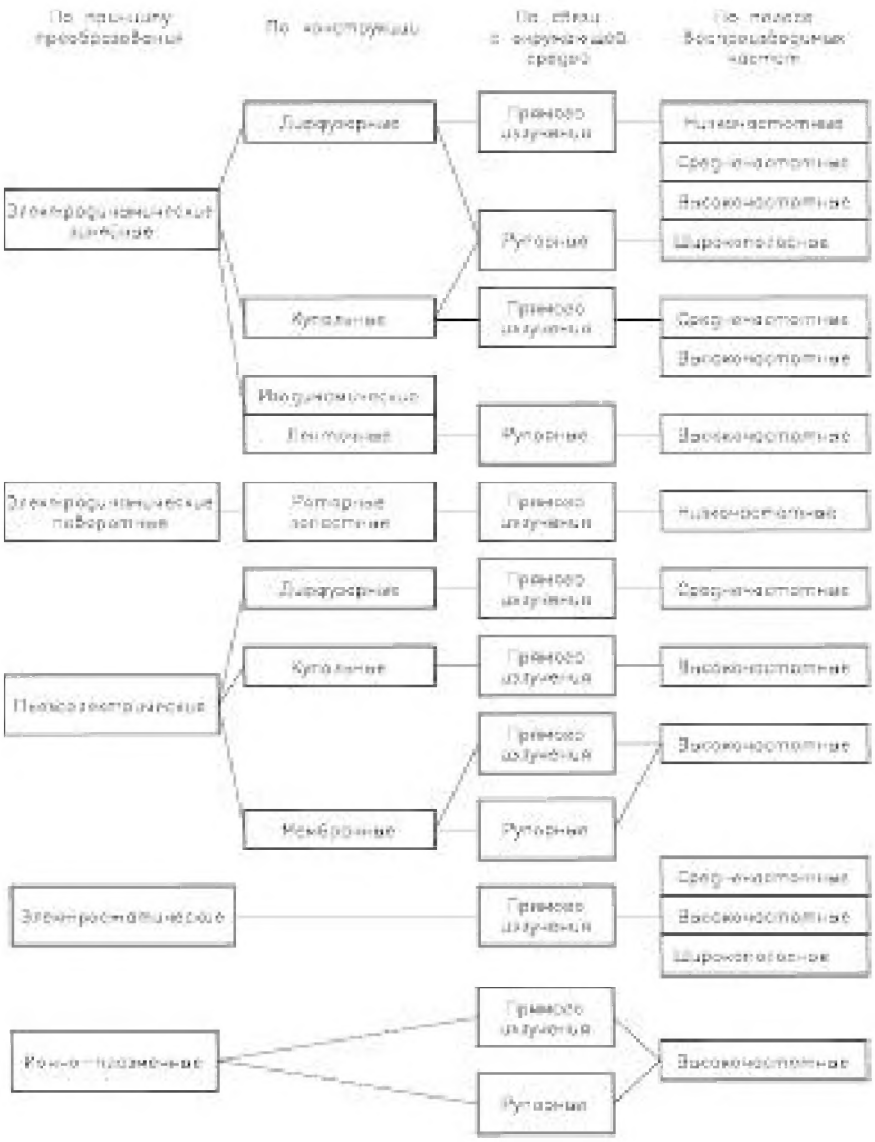


Рис. 3.1. Классификация головок громкоговорителей

Несмотря на присущие динамическому громкоговорителю недостатки, он вполне универсален, а все другие виды излучателей (ленточные, электростатические и др.) имеют ограниченную область применения. Поэтому в дальнейшем изложении основное внимание будет уделено динамическим головкам прямого излучения, а остальные типы головок будут рассмотрены кратко. Использование «экзотических» головок в автомобиле сопряжено с рядом проблем, но может представить определенный интерес для создателей уникальных аудиосистем. Подробно динамические головки прямого излучения будут рассмотрены далее.

3.1.2. Изодинамические головки

В изодинамических головках катушка выполнена плоской и размещена непосредственно на излучающей поверхности (мембране). Вокруг мембраны располагается магнитная система. Поскольку действующая на мембрану магнитодвижущая сила распределена по ее площади равномерно, такие головки называют также диностатическими. Все участки мембраны колеблются синфазно, поэтому источник звука становится когерентным. Разновидность изодинамических головок – ленточные головки, в которых вместо звуковой катушки используется проводящая мембрана, представляющая собой один или несколько параллельных проводников. Поскольку ленточные головки имеют низкое входное сопротивление, для них необходим согласующий трансформатор.

Амплитуда перемещения мембраны без существенных деформаций невелика, поэтому изодинамические головки пригодны только для воспроизведения высших частот. Для увеличения акустической отдачи их часто снабжают коротким рупором. Благодаря малой массе мембраны обеспечивается гладкая АЧХ в широком диапазоне частот (от 3–5 до 25–30 кГц), а когерентное излучение обеспечивает великолепную передачу импульсов. Достоинство головок этих типов – малые нелинейные искажения, гладкая АЧХ и широкая диаграмма направленности. Основные недостатки – «нежная» конструкция и высокая стоимость.

3.1.3. Роторные головки

В уже рассмотренных динамических головках излучатель (диффузор или мембрана) совершает продольное движение. Линейное смещение диффузора в лучших низкочастотных головках не превышает 8–10 мм, что ограничивает максимальное звуковое давление. В роторных головках излучающая поверхность (лопасть) совершает вращательное движение. Значительно большее перемещение в этом случае позволяет получить высокие уровни звукового давления при относительно небольших размерах головки.

Первую (и пока единственную) низкочастотную головку такого типа под названием Cyclone выпустила в 1997 году американская фирма Phoenix Gold. Идея сама по себе не нова – еще в 30-е годы американская фирма Intersonic (ныне – Quantum Sound) выпускала подобные устройства для привлечения слонов из джунглей. Однако для того, чтобы создать пригодную для музыкальных целей конструкцию, Phoenix Gold потребовалось более четырех лет [3].

Подвижная система громкоговорителя представляет собой электродвигатель, вал которого совершает поворот

в пределах ±18 градусов. На валу двигателя закреплены две лопасти из углепластика, вращение которых уравновешивается торсионом длиной 280 мм. Поворот лопастей преобразуется в поступательное движение воздуха при помощи двойного шнека из того же материала. Вся конструкция помещена в цилиндрический корпус диаметром 300 мм из прозрачного акрилового стекла. Паспортная мощность этого «монстра» – 300 Вт, полоса воспроизводимых частот при неравномерности 6 дБ составляет 18–100 Гц, масса – 5,5 кг. Практика и измерения показывают, что этот сабвуфер заменяет два традиционных динамика с диффузором диаметром 30 см.

Достоинства головок этого типа:

- большое звуковое давление при малых нелинейных искажениях (менее 10%);
- улучшенное охлаждение неподвижного преобразователя позволяет значительно повысить подводимую мощность;
- высокая надежность конструкции.

Недостатков немного:

- необходимо применять корпус большого объема и глубины, в противном случае возрастают потери на перетекание воздуха на кромках лопастей и появляется заметное на слух «шипение»;
- высокая стоимость.

3.1.4. Электростатические головки

В головках этого типа используется эффект притягивания разноименных и отталкивания одноименных электрических зарядов (электростатический эффект). Конструкция, по существу, представляет собой конденсатор. Излучающая поверхность выполнена из полимерной пленки, металлизированной алюминием, никелем, серебром или углеродно-молибденовой суспензией. Она расположена между двух акустически прозрачных сетчатых электродов, к которым подведено напряжение сигнала и постоянное поляризующее напряжение.

Плоская поверхность и малая масса мембраны обеспечивают гладкую АЧХ и передачу широкого диапазона частот: от 100 Гц до 25–30 кГц. В лучших конструкциях нижняя граница полосы воспроизводимых частот доходит до 35–40 Гц, но их отдача в этом диапазоне ограничена. Приемлемое воспроизведение низких частот требует значительного увеличения площади мембраны. Симметричная конструкция обеспечивает подавление четных гармоник и когерентность излучения. По чистоте и прозрачности звучания «электростатам» нет равных среди традиционных

электромеханических конструкций. Достоинство этих излучателей – естественность звучания, недостаток – большие габариты и необходимость получения высокого (несколько сотен вольт) напряжения для поляризации электродов. При использовании их в автомобиле необходимо учитывать правила техники безопасности. Стоимость довольно высока.

3.1.5. Пьезоэлектрические головки

Пьезоэлектрические (керамические) головки выпускаются в нескольких вариантах. Стоимость их низкая, что обусловливает широкое применение в автомобильных громкоговорителях в качестве дополнительных излучателей. Электроакустическим преобразователем во всех случаях является пластина из пьезокерамики с двухсторонней металлизацией. В простейшем варианте она приклеивается к тонкой металлической мембране или полимерному металлизированному куполу и в таком виде используется для воспроизведения самых высоких частот (выше 10–12 кГц). Чтобы увеличить отдачу, она может снабжаться коротким рупором. Для воспроизведения средних и умеренно высоких частот (3–10 кГц) используются диффузорные пьезоизлучатели. По конструкции они напоминают малогабаритный динамический громкоговоритель, в котором вместо магнитной системы установлен пьезоэлемент.

Пьезоизлучатели характеризуются высоким коэффициентом полезного действия и прекрасными переходными характеристиками. Однако им свойственны определенные недостатки – низкочастотный (2–4 кГц) механический резонанс подвижной системы (для диффузорных) и высокочастотный механический резонанс преобразователя (20–22 кГц), окрашивающие звучание. Полное входное сопротивление носит чисто емкостный характер и имеет довольно большую величину (десятки или даже сотни Ом), поэтому для оптимального согласования с усилителем необходимо использовать повышающий трансформатор и схемы стабилизации импеданса. С целью упрощения конструкции обычно используется непосредственное подключение пьезоизлучателей, что не позволяет в полной мере раскрыть все их достоинства.

3.1.6. Ионно-плазменные головки

Для излучателей этого типа существует несколько названий – ионофон, плазмотрон, плазмофон. Основное отличие от рассмотренных ранее преобразователей заключается в том, что в них нет подвижных частей – звук излучают

колеблющиеся молекулы ионизированного воздуха. Первый образец этого устройства появился во второй половине 50-х годов, и интерес к ним не утихает и поныне. Выпуском занимаются фирмы Audax (Франция), Plasmatronic (США), Magnat (ФРГ), Transpulsar (Франция) и др. [12].

Принцип действия подобных устройств одинаков: генератор высокой частоты модулируется звуковым сигналом. Выходной сигнал генератора повышается резонансным трансформатором и возбуждает «звучащий» коронный разряд. Основные различия связаны с конструкцией разрядника. Первоначально разряд проходил в трубке из кварцевого стекла, которая для увеличения звукового давления снабжались рупором. Впоследствии немецкая фирма Magnat создала конструкцию из акустически прозрачного металлического сетчатого шара и остроконечного электрода внутри него. Коронный разряд возбуждается напряжением частотой 27 МГц и амплитудой 2 кВ. Полоса воспроизводимых частот 2–20 кГц, нелинейные искажения – менее 0,5%. В лучших образцах верхняя граница полосы частот доходит до 70–100 кГц. При работе наблюдаются голубоватое свечение плазмы и характерный запах озона.

Достоинство таких излучателей – отсутствие переходных искажений за счет безынерционности излучателя (коронного разряда) и широчайший диапазон частот, недостижимый другими методами. Недостатки: необходимость в специальной высоковольтной схеме возбуждения со схемами защиты (требования техники безопасности) и высокочастотное излучение с ионизацией воздуха, влияние которых на организм человека до сих пор изучено не полностью. Чувствительность этих излучателей определяется характеристиками схемы возбуждения.

3.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОЛОВОК ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Для того чтобы было легче ориентироваться при выборе акустических излучателей, вспомним их основные параметры и принятые для них английские обозначения и термины, которые использует большинство зарубежных производителей [12, 82, 119].

Импеданс – полное электрическое сопротивление головки громкоговорителя, обычно 4 Ом, реже – 8 Ом. Встречаются также головки с импедансом 10 Ом или 6 Ом (последняя цифра характерна для продукции японских фирм). Среди OEM-продукции распространена акустика с импедансом 2 Ом (это позволяет получить значительную мощность при низком напряжении питания), и сейчас многие

производители аппаратуры aftermarket также наладили выпуск подобных динамиков. Пьезоизлучатели имеют достаточно высокий импеданс емкостного характера (десятки – сотни Ом). Об этом нужно помнить при выборе усилителя – некоторые из них на емкостной нагрузке работают неустойчиво.

Уровень характеристической чувствительности (Sound Pressure Level, SPL) – это стандартное звуковое давление, которое развивает громкоговоритель. Оно измеряется на расстоянии 1 м при подводимой мощности 1 Вт на фиксированной частоте (обычно 1 кГц, если в документации на динамик не указано особо). Уровень характеристической чувствительности измеряется в децибелах относительно стандартного нулевого уровня звукового давления 2×10^{-5} Па. Типичная чувствительность автомобильных динамиков 87–90 dB/Вт$^{1/2}$м, хотя некоторые сабвуферы и рупорные головки имеют чувствительность свыше 100 dB/Вт$^{1/2}$м.

Измерения при постоянной подводимой мощности используются для того, чтобы облегчить сравнение головок с различным импедансом. Подводимое при этом напряжение численно равно $\sqrt{R}$. Однако необходимо иметь в виду, что не все производители пользуются этой методикой, а применяют измерение с постоянным подводимым напряжением, дающее для низкоомных динамиков более впечатляющие цифры. Многие производители проводят измерения при постоянном подводимом напряжении 2,83 В, что для головок с импедансом 4 Ом соответствует подводимой мощности 2 Вт. При таком измерении результат на 3 дБ выше, чем при измерении по стандартной методике. Для головок с импедансом 2 Ом результат будет завышен уже на 6 дБ!

Поскольку пьезоизлучатели имеют достаточно высокий импеданс, мощность в 1 Вт развивается на них при весьма высоких напряжениях, зачастую превышающих максимально допустимые. Поэтому для них также используется измерение при постоянном подводимом напряжении (обычно от 5 В до 12 В). Расстояние, на котором измеряется звуковое давление, для некоторых излучателей может быть и 0,5 м. Поэтому совет: чтобы не ошибиться в выборе – обращайте внимание на сноску, в которой указаны условия измерения этого параметра.

Диапазон воспроизводимых частот (Frequency response, Гц, кГц) указывает частотные границы, в пределах которых отклонение звукового давления не превосходит некоторых пределов. Иногда неравномерность АЧХ указывается явно, в других случаях ее можно оценить по прилагаемому графику. Нередки случаи, когда никаких дополнительных сведений нет вообще.

Диаграмма направленности показывает, как изменяется уровень звукового давления при отклонении от оси излучения. Носит частотно-зависимый характер и поэтому приводится для нескольких частот. Для низких частот диаграмма направленности имеет вид почти правильного круга, с ростом частоты излучение концентрируется вдоль оси излучения, иногда с дополнительными боковыми лепестками. Вид диаграммы направленности на верхних частотах существенно зависит от конструкции динамической головки.

Коэффициент гармонических искажений (нелинейные искажения, Total Distortion, THD, %) указывается крайне редко. Поскольку этот параметр имеет частотно-зависимый характер, значения приводятся для нескольких фиксированных частот или в виде графика. Как правило, искажения динамических головок на средних частотах при номинальной подводимой мощности не превышают одного-двух процентов, но резко увеличиваются вблизи частоты основного механического резонанса подвижной системы и с ростом подводимой мощности.

Номинальная электрическая мощность (Nominal power handling, RMS, Вт). Обозначает ту мощность, при которой искажения не превышают заданной величины. Измерения производят на синусоидальном сигнале. С позиции качества воспроизведения при выборе головки желательно руководствоваться именно этим параметром. Он приводится далеко не всеми производителями, поскольку не так привлекателен, как следующий.

Паспортная мощность (шумовая мощность, музыкальная мощность, Music Power, MPO, Вт). Обозначает ту постоянно подводимую мощность, которую громкоговоритель может выдержать в течение продолжительного периода времени без повреждения подвеса диффузора, перегрева звуковой катушки и других неприятностей. Поскольку при этом виде измерений испытательный сигнал не содержит низкочастотных составляющих и амплитуда перемещения диффузора невелика, этот параметр может превышать номинальную мощность в два и более раз. Искажения при этом не нормируются. Именно этот параметр указывают большинство производителей, а у отечественных динамических головок современной разработки он включен в обозначение.

Пиковая электрическая мощность (Peak power handling, PMPO, Вт) – максимальная подводимая мощность. Обозначает ту мощность, которую громкоговоритель может выдержать в течение короткого времени без риска повреждения. Испытательный сигнал обычно представляет собой короткие импульсы с продолжительными паузами между ними. Искажения при этом не нормируются.

Для СЧ и НЧ динамических головок громкоговорителей имеются еще несколько параметров, которые полностью описывают их электрические и механические характеристики при работе в поршневом режиме, то есть в том случае, когда диффузор движется как одно целое.

Эти параметры впервые ввели A. N. Thiele и позднее R. H. Small. В честь авторов их называют параметрами Тиля-Смолла. Полный их список достаточно велик, а минимально необходимый для проектирования акустического оформления набор включает следующие параметры.

Частота собственного резонанса F_s (Гц) головки громкоговорителя в открытом пространстве. В этой точке ее импеданс максимален.

Эквивалентный объем V_{as} (м^3). Это возбуждаемый головкой закрытый объем воздуха, имеющий гибкость, равную гибкости подвижной системы головки.

Полная добротность Q_{ts} (безразмерная величина) головки громкоговорителя на резонансной частоте учитывает электрические и механические потери.

Остальные параметры либо являются составляющими приведенных, либо характеризуют акустическую систему в целом и будут рассмотрены позднее, при расчете акустического оформления.

3.3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ГОЛОВКИ

Основные элементы конструкции любой динамической головки прямого излучения: магнитная система (преобразователь), диффузор (излучатель), подвес диффузора и диффузородержатель (корпус), объединяющий эти элементы в единую конструкцию. Диффузор, звуковая катушка и подвес образуют *подвижную систему*, эффективная масса которой оказывает непосредственное влияние на частоту основного механического резонанса и чувствительность головки. С ростом массы подвижной системы резонансная частота и отдача головки снижаются.

Диффузородержатель может быть штампованный из листовой стали, отлитый из алюминиевых сплавов (в мощных низкочастотных головках) или пластмассовый. В купольных головках диффузородержатель в явном виде отсутствует. В диффузородержателях низкочастотных и широкополосных головок выполняются отверстия для акустической разгрузки задней стороны диффузора. Диффузородержатели среднечастотных головок могут выполняться без отверстий, что упрощает их размещение в одном корпусе с низкочастотными. Для предотвращения вибраций применяется антирезонансное покрытие диффузородержателя

материалами с большим внутренним демпфированием. В особых случаях используется трехслойная конструкция типа «металл–резина–металл».

Если учесть, что масса магнитной системы традиционной конструкции в низкочастотных динамиках может достигать нескольких килограммов, то получается, что основные нагрузки диффузородержатель испытывает не при работе, а от ухабов и рытвин! Если же, используя современные магнитные материалы, массу магнитной системы снизить до сотен граммов, то инерционные нагрузки снизятся в несколько раз, и массивная литая корзина уже не обязательна. Для восприятия рабочих нагрузок требуется гораздо меньшая жесткость, причем исключительно в осевом направлении, а не в боковых.

Варианты конструкций динамических головок будут подробно рассмотрены далее, а сейчас обратим внимание на основные узлы.

3.3.1. Магнитная система

Магнитная система динамических головок предназначена для преобразования электрических сигналов в перемещение *звуковой катушки* (voice coil) и связанного с ней диффузора. По существу, это линейный электродвигатель. Пропорциональность перемещения звуковой катушки относительно поданного сигнала обеспечивает подвес диффузора.

Основная часть магнитной системы – мощный магнит. Из-за отсутствия подходящих материалов в мощных динамических головках вплоть до конца 50-х годов наряду с магнитами использовали электромагниты. Сейчас их можно встретить только в сверхмощных головках, не предназначенных для бытового применения.

Типы магнитных систем

Первоначально в динамических головках использовались металлические кольцевые магниты из алюминиево-никелевых сплавов (рис. 3.2а). После появления более эффективных магнитных материалов стало возможным уменьшить размеры магнита, и появились магнитные системы с центральным расположением магнита (рис. 3.2б). Керновый магнит в таких системах отливается из специальных магнитных сплавов на основе никеля и кобальта (АЛНИКО, ЮНКО, ЮНДК и др.). Один из концов магнита проточен и образует полюсной наконечник. В ряде конструкций полюсной наконечник оформлялся приклеенной шайбой. Размещенный в отверстии переднего магнитопровода (щита), он образует кольцевой магнитный зазор. Маг-

нитные силовые линии замыкаются через задний магнитопровод. Детали магнитной системы соединяются заклепками, запрессовкой или клеем. Материал магнитопровода – отожженная малоуглеродистая сталь. В отечественных головках применяется Ст3, Ст5 с защитным оксидированием [12, 119].

Для намотки звуковых катушек обычно используется медный (Cu Coil), реже – алюминиевый (Al Coil) эмалированный провод. В конструкции некоторых низкочастотных головок звуковая катушка выполнена двойной (намотана в два провода) и имеет отдельные выводы для каждой обмотки. Двухсекционная звуковая катушка дает дополнительную гибкость в выборе усилителя и схемы подключения. Это позволяет получить различные варианты импеданса или произвести суммирование сигналов двух стереоканалов непосредственно на головке.

Если не требуется высокая отдача, то лучше использовать последовательное соединение обмоток. Это даст высокую степень демпфирования динамика и снизит нагрузку на усилитель (и бортовую сеть). Если же усилитель допускает работу в режиме большого тока, то обмотки можно соединить параллельно. Можно подключить каждую из обмоток к своему каналу усилителя – но в этом случае нужно обратить особое внимание на полярность подключения. И наконец, можно использовать только одну обмотку. Свободной обмотке можно найти массу применений – подключить к ней нагрузочный резистор для регулировки степени демпфирования подвижной системы или использовать ее как датчик в системе электромеханической обратной связи (архисложная задача, но результат того стоит).

В головках малой мощности каркас звуковой катушки бумажный. В мощных – изготовлен из алюминиевой фольги с разрезом по образующей, чтобы не образовывался короткозамкнутый виток. Звуковая катушка соединяется гибкими выводами с контактными клеммами, смонтированными на диффузородержателе. Во многих современных конструкциях для обеспечения надежной работы при высокой подводимой мощности выводы звуковой катушки выполнены из фольги и вплетены в центрирующую шайбу. Это предотвращает стук проводов о диффузор во время работы динамика и гарантирует, что они не оборвутся даже при перегрузке.

Возможны два варианта конструкции керновых магнитных систем: открытая и закрытая. В открытых магнитных системах задний магнитопровод выполнен в виде П-образной скобы, в закрытых – в виде металлического стакана. Достоинство открытых магнитных систем одно: вели-

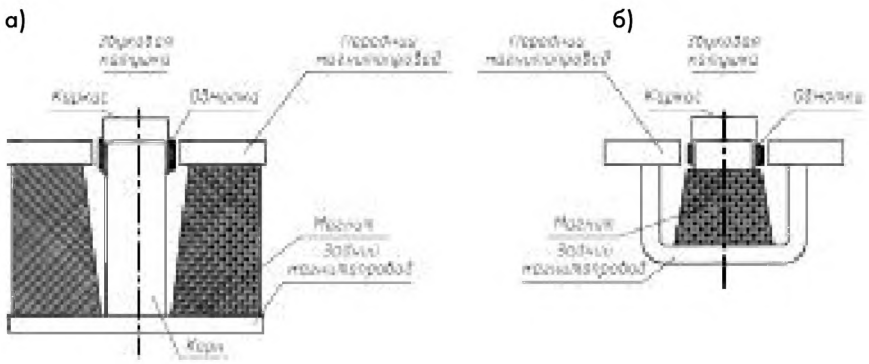


Рис. 3.2. Магнитные системы с металлическими магнитами: а – с кольцевым магнитом; б – керновая

колепное охлаждение звуковой катушки, но недостатков гораздо больше. Такие магнитные системы имеют большое поле рассеяния и значительную асимметрию магнитного поля в зазоре. Кроме того, открытый магнитный зазор может легко засориться, что приведет к повреждению звуковой катушки. Поэтому в настоящее время открытые магнитные системы не применяются.

Закрытые магнитные системы с керновым магнитом лишены недостатков открытых. Внешнее поле рассеяния у них практически отсутствует, что в свое время позволило назвать их «экранированными». Развитие их связано с магнитофонами и телевизорами, где наличие полей рассеяния мешает нормальной эксплуатации. Однако после появления ферритовых магнитов их применение значительно сократилось. В настоящее время их можно встретить только в динамических головках устаревших типов и некоторых «пищалках».

В связи с недостатками ферритовых магнитов конструкторы в последние годы вновь обратили внимание на металлические магниты, но теперь уже на основе сплавов неодима. Неодим – редкоземельный элемент из группы лантаноидов с порядковым номером 60. Введение даже небольших количеств неодима в состав магнитных материалов увеличивает их магнитную индукцию, а специально разработанные магнитные сплавы (неодим-иттрий-кобальт, неодим-железо-бор) позволяют получить миниатюрные магниты, превосходящие традиционные ферритовые по всем показателям. Достаточно сказать, что объем и масса неодимового магнита могут быть в десятки раз меньше, чем у равного по эффективности ферритового. Но неодим недешев, что не может не сказаться на цене конечной продукции. Для пищалок габариты важнее стоимости, и триум-

фальное шествие неодима с них и началось. Но и для динамиков других типов уменьшение габаритов и веса магнитной системы немаловажно, поэтому в новых разработках неодимовые магниты применяются все шире.

Магниты на основе феррита бария были впервые использованы в магнитных системах динамических головок в конце 50-х годов. Высокая твердость и хрупкость феррита (как у керамики) практически исключают возможность механической обработки, поэтому конструкция магнитной системы снова претерпела значительные изменения и «вернулась на круги своя».

В настоящее время основу магнитной системы составляет кольцевой магнит, к которому приклеены два магнитопровода в виде дисков. В центре ее находится керн, образующий с передним магнитопроводом магнитный зазор (рис. 3.3а). По технологическим соображениям в массовых конструкциях керн представляет собой отдельную деталь, которая крепится в заднем магнитопроводе запрессовкой или развальцовкой (как показано на рисунке). Это снижает стоимость изготовления. Однако при этом возрастает магнитное сопротивление, в результате чего падает магнитная индукция в зазоре. Поэтому в более совершенных конструкциях керн и задний магнитопровод выполнены в виде одной детали.

Рис. 3.3. Магнитные системы с ферритовыми магнитами: а – обычная; б – обращенная

Необходимость использовать звуковые катушки большого диаметра привела к созданию так называемых «обращенных» магнитных систем (рис. 3.3б). Впервые они были использованы в продукции фирм Dynaudio и Morel, сейчас по такой схеме выполняется достаточно большое количество мощных низкочастотных динамических головок. По существу, это усовершенствованный вариант закрытой магнитной системы с центральным магнитом. Основные изменения связаны с использованием кольцевого ферритового магнита. Керн в этом случае не является обязательным элементом конструкции. Он служит для взаимного центри-

рования магнитопроводов и в некоторых случаях является элементом крепления. Передний магнитопровод может отсутствовать. Это налагает повышенные требования к точности формы и размеров магнита.

Недостаток систем с большим диаметром звуковой катушки – малое значение магнитной индукции в зазоре. На что же влияет этот показатель?

Конструктивные особенности магнитных систем

Основной параметр, определяющий характеристики магнитной системы, – *силовой фактор BL*, представляющий собой произведение индукции в зазоре на длину провода звуковой катушки, находящейся в пределах этого зазора. Сила, действующая на звуковую катушку (магнитодвижущая сила), пропорциональна току через нее [29].

$$F = BLI,$$

где F – сила, Н;
B – магнитная индукция, Тл;
L – длина провода, м;
I – сила тока, А.

Величина индукции в зазоре, помимо характеристик магнита, обратно пропорциональна объему зазора. Длина же провода пропорциональна диаметру катушки и числу витков. Число витков, в свою очередь, зависит от объема зазора и плотности намотки. Нетрудно догадаться, что выбор оптимального сочетания параметров – задача весьма непростая. Поэтому для увеличения диаметра звуковой катушки нужны очень веские основания.

Компенсировать снижение силового фактора можно только увеличением плотности намотки звуковой катушки. Уменьшать для этого диаметр провода нельзя – сопротивление обратно пропорционально квадрату диаметра, и потери резко возрастут. В обычных звуковых катушках, как правило, используется двух- или трехслойная намотка проводом круглого сечения. Увеличение числа слоев ухудшает охлаждение обмотки. Для повышения плотности намотки применяется провод плоского сечения, уложенный на ребро. Датская компания Dynaudio и израильская Morel применяют ручную намотку проводом шестигранного сечения, что позволяет получить максимальное заполнение. Однако и стоимость продукции соответствующая.

С геометрией магнитного зазора непосредственно связаны и другие характеристики головки, и в первую очередь – *максимальный линейный ход диффузора* X_{max}. Существует два типа звуковых катушек – короткая (underhung voice coil) и длинная (overhung voice coil). В английском ва-

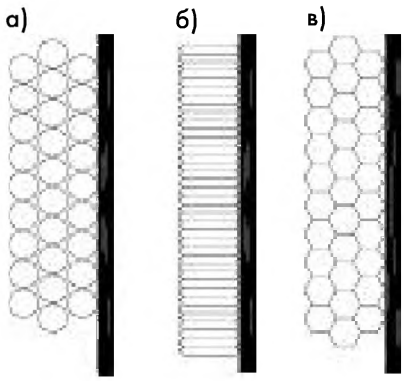


Рис. 3.4. Варианты намотки звуковой катушки: а – обычная; б – плоским проводом; в – проводом шестигранного сечения

Рис. 3.5. Типы звуковых катушек: а – длинная; б – короткая

рианте термина особенности конструкции указаны явным образом, в русском же их придется пояснить.

Длинная звуковая катушка существенно превышает глубину зазора (hung) магнитной системы, и в каждый момент времени работает не вся катушка, а только те витки, которые находятся в рабочем зазоре. Динамик будет работать в линейном диапазоне перемещений до тех пор, пока в зазор не войдет край катушки (рис. 3.5а). Короткая же катушка в пределах линейного диапазона находится полностью в пределах рабочего зазора (рис. 3.5б). У каждого варианта есть свои достоинства и недостатки.

Длинную звуковую катушку применяют в подавляющем большинстве низкочастотных динамиков, поскольку она позволяет получить большую индукцию в неглубоком зазоре и большой ход диффузора. Охлаждение длинной катушки намного лучше, чем короткой.

Силовой фактор магнитных систем с короткой катушкой обычно невелик, поскольку магнитная индукция в глубоком зазоре меньше. При выходе звуковой катушки из зазора искажения нарастают намного быстрее, чем у систем с длинной катушкой. Однако в пределах X_{max} линейность систем с короткой звуковой катушкой существенно выше, что обусловливает гораздо меньший уровень нелинейных искажений. По этим причинам она применяется в основном в среднечастотных и высокочастотных головках, где смещение диффузора мало.

С учетом этих особенностей и допустимого уровня искажений можно считать, что для динамиков с короткой ка-

тушкой диапазон линейной работы ограничен X_{max}, а для динамиков с длинной катушкой он составляет $1{,}15X_{max}$. По лабораторным исследованиям искажения, вызванные изменением силового фактора, не превышают 3%, в основном на третьей гармонике.

Помимо этого, характер нелинейности вблизи границы линейного перемещения и за ее пределами зависит от отношения максимального линейного рабочего хода к глубине зазора. Чем оно меньше – тем лучше. Другими словами, у двух динамиков с одинаковой величиной X_{max} у экземпляра с большей толщиной переднего магнитопровода искажения должны быть меньше.

Другой источник искажений, на этот раз четных, – *поле рассеяния магнитной системы*. В области рабочего зазора магнитное поле симметрично и однородно, но за его пределами картина существенно изменяется. Поскольку снаружи магнитной системы воздух, а внутри – стальной керн, магнитные силовые линии замыкаются совершенно по-разному (рис. 3.6а). Чтобы симметрировать поле рассеяния, можно удлинить керн (рис. 3.6б). Однако общее поле рассеяния возрастает, а индукция в зазоре падает, поэтому для компенсации потерь приходится ставить более мощные магниты.

Возможно и обратное решение проблемы – уменьшить рассеяние ниже рабочего зазора. Для этого применяется керн уменьшенного сечения с полюсным наконечником (рис. 3.6в). Однако в этом случае возрастает магнитное сопротивление и падает индукция в зазоре, в результате и здесь требуется более мощный магнит. Еще одно решение проблемы – полюсной наконечник с выемкой. Он применяется достаточно редко, так как в этом случае возрастает влияние разброса характеристик магнита (рис. 3.6г).

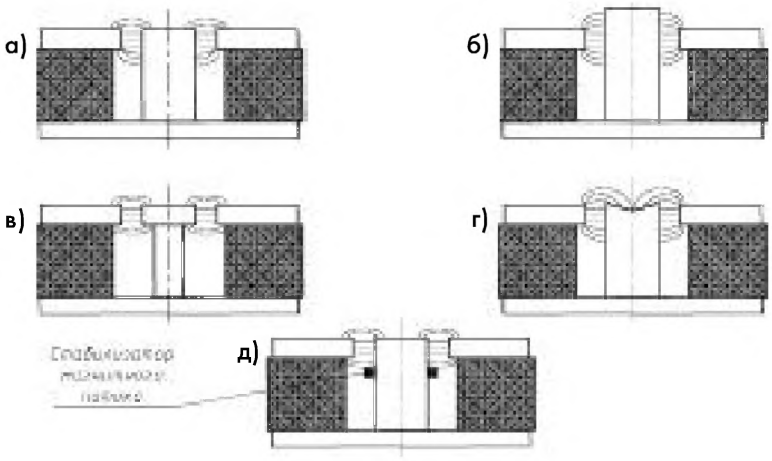


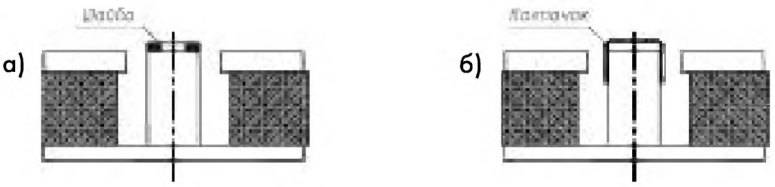
Рис. 3.6. Формирование полей рассеяния

Самое лучшее (но и самое сложное в реализации) решение – *стабилизатор магнитного потока* (рис. 3.6д). Это кольцо из диамагнитного материала (меди или алюминия), надетое на керн магнитной системы. Магнитные силовые линии из диамагнетиков «выталкиваются», что позволяет использовать их как фокусирующие элементы. Подбирая положение и размеры кольца, можно добиться симметричной формы полей рассеяния. Но, помимо этого, кольцо представляет собой *короткозамкнутый виток*, что дает еще полезный побочный эффект.

При движении катушки в магнитном поле в ней наводится противо-ЭДС, которая, замыкаясь через выходное сопротивление усилителя, порождает ток. Этот ток (а точнее – созданное им магнитное поле) модулирует магнитный поток в зазоре, что приводит к появлению дополнительных интермодуляционных искажений. Введение короткозамкнутого витка, индуктивно связанного с обмоткой звуковой катушки, позволяет резко снизить величину противо-ЭДС и порождаемое ей явление.

В простейшем случае короткозамкнутый виток делают в виде покрытия медью торца керна. В более серьезных конструкциях на торце керна устанавливают медную шайбу (рис. 3.7а) или медный (реже алюминиевый) колпачок (рис. 3.7б). Аналогичным действием обладает и установленная на керне фазовыравнивающая «пуля», применяемая в некоторых конструкциях диффузорных головок для выравнивания АЧХ на средних частотах.

Рис. 3.7. Исполнение короткозамкнутого витка: а – шайба; б – колпачок



Еще один положительный эффект от введения короткозамкнутых витков: уменьшение индуктивности звуковой катушки, что ограничивает рост импеданса с частотой. Это положительно сказывается на работе пассивных разделительных фильтров, да и самого усилителя.

3.3.2. Подвес диффузора

Подвес диффузора должен обеспечивать одновременно жесткость в поперечном направлении (для надежного центрирования звуковой катушки в магнитной системе) и гибкость в осевом (чтобы допускать большую амплитуду линейного перемещения). Кроме того, подвес должен иметь

постоянную упругость: смещение диффузора должно быть пропорционально величине магнитодвижущей силы. В противном случае возрастают нелинейные искажения. Решение этих проблем в одном узле представляет собой достаточно сложную инженерную задачу. Поэтому эти функции обычно разделены между центрирующей шайбой и гофром. Подвес в виде одного элемента применяется только в головках с небольшой высотой диффузора, не склонных к возникновению поперечных колебаний [150].

Обеспечить большой и, самое главное, линейный ход диффузора не так-то просто. Гофр малой ширины при большом смещении деформируется, увеличивая общую нелинейность динамика. Просто увеличить ширину гофра нельзя – верхняя часть диффузора не будет надежно центрироваться, возможен перекос или смещение звуковой катушки, вплоть до ее «заедания» в зазоре магнитной системы. Чтобы избежать этого, можно увеличить жесткость подвеса – но и это возможно лишь до определенных пределов, иначе возрастет частота резонанса. Поэтому гофр должен быть эластичным в осевом направлении и жестким – в поперечном.

Применяются два вида гофра – кольцевой и тангенциальный (ирисовый). *Кольцевой гофр* (рис. 3.8а) позволяет получить большую величину линейного перемещения, но имеет малую поперечную жесткость. Для ее увеличения могут применяться ребра жесткости в виде радиальных валиков. Кольцевой гофр широко применяется во всех типах динамических головок. *Тангенциальный гофр* (рис. 3.8б) обладает заметно большей жесткостью в поперечном направлении, но допускает существенно меньшую величину линейного перемещения. Поэтому он находит применение только в маломощных широкополосных и среднечастотных головках.

В высокочастотных диффузорных головках гофр может отсутствовать, поскольку необходимая величина линейного перемещения мала и вполне обеспечивается за счет деформации диффузора.

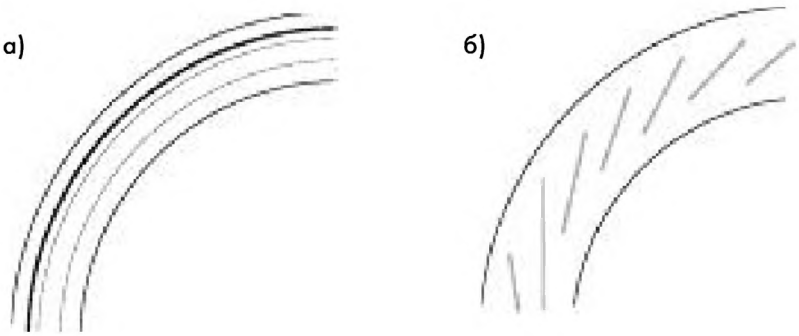


Рис. 3.8. Гофр: а – кольцевой; б – тангенциальный

Гофр может быть составной частью диффузора либо выполнен в виде отдельного элемента. Встроенный гофр используется только в головках с бумажными диффузорами, для изготовления отдельного гофра используются текстильные материалы с пропиткой, каучук, бутиловая резина и различные синтетические материалы. Часть подвеса, приклеенная к диффузору, называется воротником. Поскольку далеко не все материалы хорошо склеиваются, в некоторых конструкциях (Kiker) воротник не приклеен, а пришит к диффузору (нитками, двойным швом – как на джинсах!).

Центрирующая шайба располагается в непосредственной близости к магнитной системе, так легче обеспечить центрирование звуковой катушки в магнитном зазоре. Конструкции их отличаются значительным разнообразием: гофрированные, сетчатые, лепестковые (или иначе «паучковые») (рис. 3.9). Они могут располагаться как снаружи диффузора (рис. 3.9а,б), так и внутри (рис. 3.9в). Внутренняя центрирующая шайба крепится к центральной части магнитной системы и ограничивает величину продольного перемещения диффузора. По этой причине она используется только в среднечастотных и высокочастотных головках. У некоторых конструкций центрирующая шайба может отсутствовать. В этом случае центрирование звуковой катушки обеспечивается гофром.

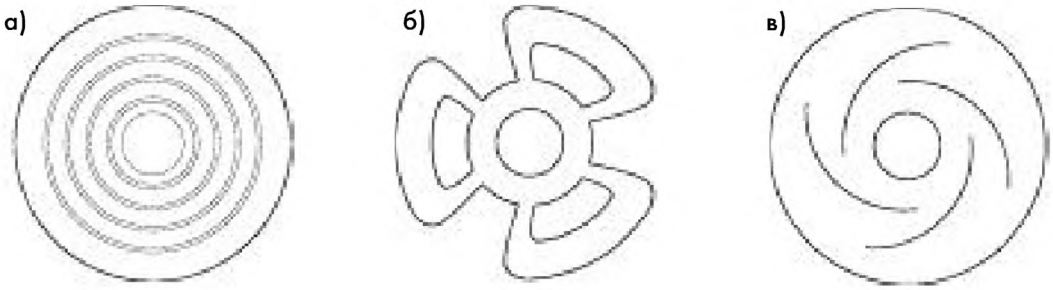


Рис. 3.9. Центрирующие шайбы:
а – гофрированная; б – паучковая; в – внутренняя

В динамических головках большой мощности часто используют паучковую центрирующую шайбу специальной конструкции с нелинейной характеристикой, которая обеспечивает пропорциональное изменение усилия в крайних точках смещения диффузора. Такое «мягкое ограничение» позволяет значительно снизить искажения при высокой излучаемой мощности динамика.

3.3.3. Диффузор

Диффузор предназначен для преобразования движения звуковой катушки в акустические волны. Одна из важнейших конструктивных характеристик динамического громкоговорителя – материал диффузора или купола, от которого в наибольшей степени зависит качество звучания. Идеальный громкоговоритель должен был бы иметь абсолютно жесткий и лишенный массы диффузор, закрепленный на абсолютно линейном подвесе. Все существующие на сегодняшний день конструкции бесконечно далеки от этого. По мере повышения частоты сигнала, начиная с некоторой частоты, называемой *граничной частотой зоны поршневого действия*, диффузор перестает колебаться как единое целое и переходит в режим зонного излучения,. Возникающая при этом интерференция звуковых волн от различных участков диффузора приводит к появлению локальных пиков и провалов на АЧХ, окрашивающих звучание. Вызванные недостаточной жесткостью деформации реального диффузора приводят к появлению в материале диффузора собственных колебаний. Они должны быть эффективно подавлены, в противном случае неизбежны появление интермодуляционных искажений (призвуков) и «смазывание» атаки импульсного сигнала. Нелинейность подвеса также вызывает интермодуляционные искажения.

Таким образом, материал диффузора должен сочетать малую удельную массу с высокой жесткостью и большим затуханием. Поиск компромисса при таких противоречивых требованиях заставляет конструкторов использовать новые материалы, которые успешно сосуществуют с уже испытанными. При этом решение старых проблем нередко приводит к появлению новых. Как это ни парадоксально, но бумажные диффузоры на сегодняшний день наиболее удачно сочетают в себе все необходимые для «правильного» звучания характеристики.

Основная масса динамических головок имеет диффузор круглой в плане формы, но распространены также диффузоры эллиптической формы. Переход диффузора из поршневого режима работы в зонный у эллиптических диффузоров происходит более плавно. Диаграммы направленности в плоскости большей и малой оси несколько отличаются (за счет разного угла раскрыва диффузора и «распределенного» перехода к зонному режиму), но эта разница ощутима только у бумажных диффузоров и «суперэллиптических» динамиков с большим удлинением. Никаких других преимуществ, кроме компоновочных, головки с эллиптическими диффузорами не имеют [30].

Плоские сотовые диффузоры могут иметь форму квадрата или правильного многоугольника со скругленными углами, однако это встречается редко. Квадратную форму имеет вогнутый диффузор головки Solobaric американской фирмы Kicker. Появление диффузора квадратной формы логично: его площадь на 25% больше, чем у круглого тех же габаритов. Идея была подхвачена, и на волне этой моды появились и «треугольные» модели, однако это лишь способ привлечь покупателей.

Бумажные диффузоры

Бумажные диффузоры применяются в динамиках «с рождения». Диффузор в сечении может быть коническим или иметь образующую криволинейной формы. Такая форма способствует подавлению субгармонических колебаний, возникающих на половине возбуждающей частоты. Первоначально диффузоры были клееные, в настоящее время их изготавливают преимущественно методами литья и прессования с пропиткой синтетическими составами. Прессованные диффузоры конической формы дешевы и технологичны, но обладают рядом недостатков (главным образом невысокой жесткостью) и применяются только в недорогих конструкциях. Диффузоры более высокого качества изготавливают методом литья. Бумажная масса наносится на матрицу и, затвердевая, образует заготовку диффузора. При такой технологии за счет применения криволинейной образующей и переменной толщины диффузора, уменьшающейся от центра к краям, удается отчасти решить проблему жесткости и подавления внутренних резонансов. Бумажные диффузоры могут применяться в динамиках практически всех типов.

Достоинства бумажных диффузоров: прекрасное внутреннее демпфирование, практически полное отсутствие местных резонансов, плавный переход от поршневого режима работы к зонному. Гладкая АЧХ позволяет не беспокоиться о поведении динамика за пределами полосы рабочих частот, что дает возможность использовать простейшие разделительные фильтры с малой крутизной спада и минимальными фазовыми искажениями или вообще отказаться от фильтров и использовать естественные спады АЧХ. Субъективная оценка качества звучания высокая.

Основной недостаток бумажных диффузоров – относительно невысокая жесткость, что может сказаться на проработке мелких деталей звучания. Для повышения жесткости иногда применяется армирование диффузора наполнителями. Механическая прочность невысока, что ограничивает максимальную подводимую мощность. Технологический

разброс параметров динамиков массовых серий достаточно велик, что при высоких требованиях к качеству звучания может потребовать их предварительного отбора. Параметры меняются со временем и под воздействием атмосферы, несмотря на пропитку бумажной массы и защитные покрытия. К сожалению, это обстоятельство ограничивает применение в автомобиле без принятия специальных мер высококачественных динамиков с бумажными диффузорами, предназначенных для «домашних» аудиосистем.

Диффузоры из полимеров

Полипропилен был впервые применен как материал для изготовления диффузоров при разработке мониторов для звуковых студий Би-би-си в 1975 году и в настоящее время широко используется в динамиках самого различного назначения. Благодаря довольно большому внутреннему демпфированию, правильно сконструированный полипропиленовый диффузор может обеспечить ровную и гладкую АЧХ при высоких значениях удельного звукового давления. Для повышения жесткости используют минеральные добавки: кварц, слюду, силикат магния, углеволокно или покрытие поверхности окислами алюминия или титана. В последнее время наряду с полипропиленом используется аналогичный материал нового поколения – гипернеоолефин.

Достоинства полимерных диффузоров: очень гладкая АЧХ, нейтральное звучание, хорошие переходные характеристики, плавный переход к зонному режиму, устойчивость к атмосферным воздействиям. Лучшие образцы по прозрачности звучания не уступают бумажным, но из-за ограниченной жесткости проигрывают в детальности. В диффузорах низкочастотных головок иногда используют отформованные ребра жесткости. Основная область применения – широкополосные и низкочастотные головки, а также купола массовых моделей «пищалок».

Диффузоры из композитных материалов

Для изготовления диффузоров, сочетающих высокую жесткость с небольшой массой, широко используют композитные материалы на тканой основе, пропитанной связующим составом. В качестве основы используют углеродные нити, кевлар, стекловолокно.

Композиты на основе ткани из углеродных волокон обладают уникальным сочетанием малого удельного веса с очень высокой жесткостью. Однако из-за недостаточного внутреннего демпфирования и сложной анизотропной структуры материала переход к зонному режиму сопровождается многочисленными пиками и провалами на АЧХ

вблизи верхнего края рабочего диапазона. Для успешного подавления нежелательных призвуков необходимо использовать разделительные фильтры с большой крутизной спада, иногда требуется применение избирательных корректирующих цепочек либо специальных корректоров. Это намного усложняет конструкцию системы и создает проблемы с фазовыми искажениями. Основная область применения – сабвуферы.

Кевлар известен как материал для пуленепробиваемых жилетов, хотя это далеко не главная область его применения. Первыми кевларовые головки выпустили в середине 80-х французская фирма Focal и немецкая Eton. Жесткость кевларовых диффузоров необычайно высока, поэтому со всей силой проявляются характерные для диффузоров высокой жесткости проблемы. На частотах 3–4 кГц и выше проявляется характерный «кевларовый» звук: изрезанная частотная характеристика, следствие резкого перехода сверхжесткого диффузора в зонный режим. На слух это воспринимается как жесткий, агрессивный звук, явно диссонирующий со звучанием этого же динамика в нижней части среднечастотного диапазона. Конструкторы таких систем вынуждены ставить довольно сложные разделительные фильтры четвертого порядка (24 дБ/окт), дополненные корректирующей цепочкой, настроенной на частоту «кевларового» резонанса – обычно в диапазоне 5–7 кГц [30].

Эффект «кевларового» звука – это следствие сочетания высокой жесткости с малыми внутренними потерями. Чтобы улучшить демпфирование, фирма Eton разработала трехслойный материал Nomex, состоящий из сотового слоя-заполнителя, вклеенного между двумя слоями кевларового композита. Сходное решение использует Focal под названием Aerogel. Другие производители применяют для подавления нежелательных резонансов демпфирующее резиновое покрытие с нижней стороны диффузора или широкий воротник подвеса. Основная область применения – низкочастотные динамики и сабвуферы.

В конструкции массовых моделей широко используются композитные материалы на основе стекловолокна, в том числе окрашенные «под уголь» или «под кевлар». Рассмотренные выше недостатки присущи им в не меньшей степени, но стоимость заметно ниже.

Металлические диффузоры

Попытки использования цельнометаллических диффузоров в широкополосных головках нельзя считать удачными, поскольку их значительная масса снижает чувствительность динамиков до 84–86 дБ и ниже. Отсутствие внутрен-

него демпфирования приводит к появлению ярко выраженных резонансных призвуков на частотах 5–10 кГц. Пронзительное хриплое звучание «колоколов» в парках культуры и отдыха – кошмар меломана.

Долгое время металлические диффузоры применялись только в отдельных моделях сабвуферов (их частотный диапазон ограничен условиями работы) и купольных ВЧ-головках, где массу диффузора можно сделать малой при сохранении достаточной жесткости. Но в последнее время появились НЧ–СЧ-головки, в которых металлический диффузор при малой массе обладает достаточной жесткостью и не резонирует. Одно из решений – криволинейная образующая диффузора, имеющая два выраженных участка различной кривизны и кольцевое ребро жесткости в месте изменения кривизны.

Диффузоры из объемных композитов

Жесткие трехмерные конструкции с плоской излучающей поверхностью и внутренним заполнителем в виде сот или вспененного полимера известны с начала 70-х годов. Им часто придавали прямоугольную или многогранную форму со скругленными углами. Высокая масса диффузора и в этом случае сильно снижает чувствительность динамика, а изгибные колебания обычных диффузоров в зонном диапазоне излучения уступают место объемным колебаниям и поперечной раскачке тяжелого диффузора. Демпфирование последних весьма затруднено.

В последние годы технологические процессы получения сотовых диффузоров были доработаны, что позволило значительно снизить массу подвижной системы. В результате расширен диапазон воспроизводимых частот и существенно снижена неравномерность АЧХ. Поскольку излучающая поверхность плоская, головки этого типа характеризуются широкой диаграммой направленности.

Низкочастотные динамические головки с плоскими излучателями использовались в одном из вариантов акустической системы S-90. В настоящее время фирмой «Звук» (Санкт-Петербург) разработана линейка сотовых динамических головок громкоговорителей различной мощности. Среди автомобилистов получила известность головка 25ГДШ-2Н с сотовым диффузором и выпускаемый на ее основе комплект для автомобилей [45].

ВЧ-головки с мягким куполом

Высокочастотные головки с мягкими куполами из шелка или синтетических материалов в настоящее время практически вытеснили диффузорные ВЧ-излучатели. Конст-

руктивная особенность купольных головок – в том, что вся излучающая поверхность находится внутри звуковой катушки, а не снаружи, как у диффузорных головок.

Достоинства мягких куполов: прекрасное внутреннее демпфирование создает предпосылки для получения хорошей переходной характеристики и гладкой АЧХ с плавным спадом на верхнем краю рабочего диапазона.

Недостатки мягких куполов: ограниченная перегрузочная способность накладывает повышенные требования на частоту и крутизну спада кроссовера. Высокий профиль купола (выбранный по соображениям жесткости) ухудшает диаграмму направленности по сравнению с более плоскими металлическими куполами. Он часто требует от конструкторов применения рассеивающих акустических линз, а это потенциальный источник дифракционных искажений АЧХ.

ВЧ-головки с жестким куполом

С появлением купольных «пищалок» были предприняты попытки реализовать концепцию жесткого купола. После экспериментов с полимерами конструкторы остановили свой выбор на металле. Сверхтонкие купола из титана и алюминия появились в середине 80-х годов. Для их изготовления использовались методы прецизионного электролиза и вакуумного напыления.

Как и положено головкам с жесткими диффузорами, «пищалки» с металлическими куполами имеют характерный пик АЧХ на частотах 25–30 кГц величиной от 3 дБ до 12 дБ. При определенных условиях может возникнуть интермодуляция этих составляющих с другими, находящимися в звуковом диапазоне. На слух это будет восприниматься как «металлический» тембр. Звучание лучших куполов из металла – прозрачное, чистое, приближающееся к звуку электростатических излучателей.

Достоинства жесткого купола: деформации отсутствуют во всем рабочем диапазоне частот, обеспечивая звучание высокой детальности и прозрачности. Характеристика направленности вследствие низкого профиля намного лучше, чем у мягких куполов. Однако свойственный им ультразвуковой пик АЧХ может привести к неприятному на слух окрашиванию звучания. Недостаток заключается в относительно высокой стоимости.

Диффузоры из керамики

Гамма ВЧ-излучателей с керамическими диффузорами на сегодня довольно узка. Первой компактные автомобильные керамические «пищалки» выпустила фирма Infinity. Фактически они сделаны из металлокерамики: на тонкую металлическую основу нанесен еще более тонкий (5–10 мик-

рон) слой окислов, обладающий исключительной твердостью. Жесткость купола из-за малой толщины покрытия увеличивается незначительно, но твердая излучающая поверхность создает условия для наиболее точного и когерентного излучения на верхних частотах. Недавно появилась конструкция, где слой керамики нанесен на шелковую основу.

Для расширения диаграммы направленности диффузоры новых низкочастотных и высокочастотных динамиков MB QUART представляют собой вогнутый сегмент сферы [128]. Собственно, такое решение применялось и раньше – но секрет не в нем. Главное – нанокерамическое покрытие, накладываемое вручную. Оно состоит из сверхмалых (10^{-9} м) керамических частиц и образует на поверхности структуру, подобную стеклу. Такая поверхность придает диффузорам чрезвычайно высокую жесткость на изгиб, что значительно улучшает распределение высших гармоник и эффективно снижает интермодуляционные призвуки. Впервые использованная при изготовлении громкоговорителей технология наночастиц WideSphere™ позволяет достичь более полного и точного воспроизведения звука по сравнению с любыми другими доступными материалами. Легкий и жесткий нерезонирующий диффузор с широкой диаграммой направленности дает возможность получить великолепное тонально сбалансированное звучание независимо от положения слушателя – на оси динамика или вне нее.

3.4. КОНСТРУКЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ГОЛОВОК

Как уже говорилось, основная масса акустических систем построена на основе диффузорных и купольных динамических головок прямого излучения. В этом разделе рассматриваются решения, наиболее характерные для современных конструкций [8, 12, 14, 29, 30, 119].

3.4.1. Диффузорные головки

Классический вариант конструкции представлен на рис. 3.10а. Диффузор в этом случае представляет собой коническую или криволинейную поверхность, подвешенную на диффузородержателе. Для улучшения охлаждения магнитной системы объем под *пылезащитным колпачком* в мощных головках связывают с окружающей средой посредством вентиляционного канала в керне.

Сила, приложенная практически в одной точке, вызывает деформации диффузора. В результате возникают частотные и нелинейные искажения воспроизводимого сигна-

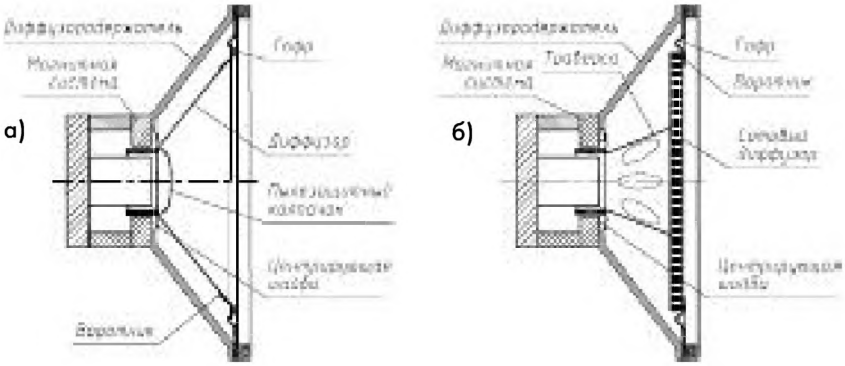


Рис. 3.10. **Конструкция диффузорной головки: а – с коническим диффузором; б – с плоским сотовым**

ла. У этой проблемы есть два решения. В первом случае увеличивают диаметр звуковой катушки настолько, что передача усилия происходит не в вершине диффузора, а примерно в середине образующей. Во втором случае повышают жесткость диффузора. Для этого можно уменьшить угол его раскрыва. Однако при этом значительно сужается диаграмма направленности головки. Поэтому в настоящее время для головок низкочастотного и среднечастотного диапазонов широко используют изготовленные из композитных материалов диффузоры вогнутой полусферической формы или плоские сотовые диффузоры. Последние обеспечивают наиболее ровную АЧХ, поскольку при этом исключена интерференция звуковых волн, излученных разными участками диффузора. Конструкция такого динамика схематически показана на рис. 3.10б. Металлическая траверса обеспечивает эффективный отвод тепла от звуковой катушки, что позволяет значительно повысить подводимую мощность.

Традиционные конструкции динамических головок имеют один недостаток: большую *монтажную глубину*, возрастающую пропорционально увеличению размера диффузора. Для самых компактных образцов автомобильных громкоговорителей она составляет 60–100 мм. Это ограничивает расположение динамических головок в салоне автомобиля. Поэтому появились конструкции сверхплоских динамических головок с обращенным диффузором, внутри которого располагается магнитная система. Хотя конструкция известна более 30 лет, созданию удачного варианта мешали технологические ограничения.

Первые автомобильные головки такого типа выпустила в 1998 году американская фирма Infinity. На рис. 3.11а схематически показана конструкция динамической головки из серии Kappa Uniplane. Монтажная глубина H головки с диффузором диаметром 190 мм составляет всего 33 мм.

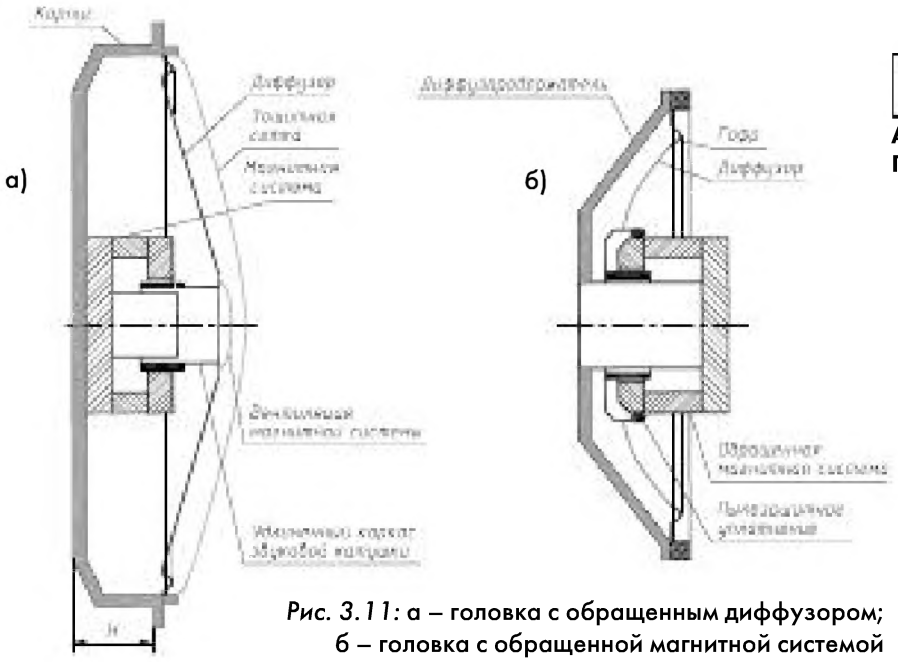


Рис. 3.11: а – головка с обращенным диффузором; б – головка с обращенной магнитной системой

В конструкции присутствуют и другие новшества. Для лучшего охлаждения магнитной системы и звуковой катушки вместо пылезащитного колпачка установлена сетка. Однако это вызывало резкий спад АЧХ на частотах выше 2,5 кГц. Впрочем, динамики не претендуют на роль широкополосных, их область применения – двухполосные акустические системы. Диффузор в форме обратного конуса обеспечил значительно более широкую диаграмму направленности, сравнимую с диаграммой направленности купольных головок. Материал этого диффузора – полиакриловый гель APG.

Поскольку ход диффузора ограничен, в конструкции применен подвес с переменной упругостью. Благодаря малой высоте диффузора удалось обойтись без центрирующей шайбы. Конечно, это несколько повышает нелинейные искажения при большой громкости. Но улучшить сразу все параметры невозможно.

Низкочастотные головки большой мощности обычно устанавливают в закрытый корпус. Магнитная система и звуковая катушка в этом случае работают в очень тяжелом температурном режиме. Для улучшения охлаждения разработаны динамические головки, в которых обращенная магнитная система с большим диаметром звуковой катушки вынесена наружу и находится внутри диффузора традиционной или полусферической формы (рис. 3.11б). Наличие в центре излучения препятствия в виде магнитной системы приводит к резкому спаду АЧХ уже на частотах в несколько

сотен герц, поэтому такое конструктивное решение применимо только для низкочастотных головок. Вместо традиционного пылезащитного колпачка используется кольцевое уплотнение, выполняющее «по совместительству» роль центрирующей шайбы.

3.4.2. Купольные головки

Диаграмма направленности вогнутых диффузоров с ростом частоты сужается, поскольку для сигналов высоких частот он начинает играть роль своеобразного рупора. Для уменьшения эффекта применяются фазовыравнивающие вставки.Однако они не устраняют первопричину этого явления. Кроме того, из-за недостаточной жесткости диффузора в нем возникают собственные колебания, что увеличивает неравномерность АЧХ и уровень интермодуляционных искажений.

Для устранения этих недостатков используют диффузоры в форме выпуклого купола. Первоначально они применялись только для высокочастотных головок. Затем, по мере отработки технологии, появились и среднечастотные купольные головки. Для них характерны использование единого узла подвеса и относительно небольшой ход диффузора. Отсутствует в конструкции и диффузородержатель (рис. 3.12а).

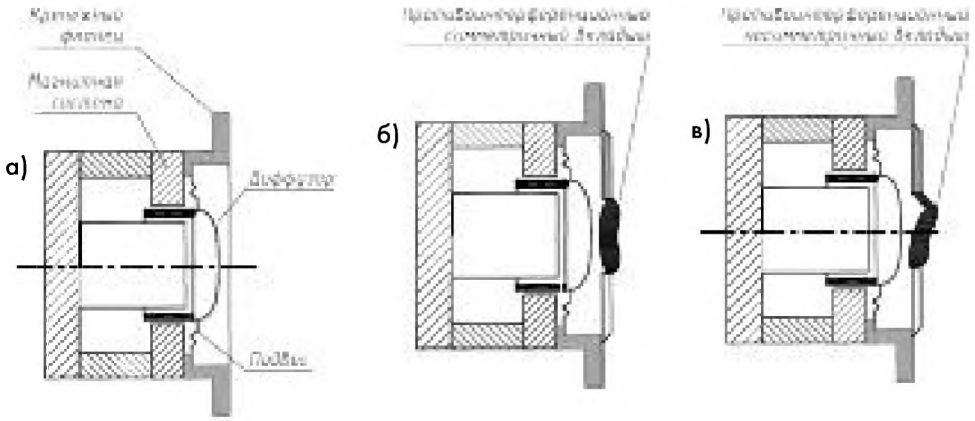


Рис. 3.12: а – конструкция купольной высокочастотной головки; б – симметричный противоинтерференционный вкладыш; в – несимметричный противоинтерференционный вкладыш

Вследствие интерференции сигналов, поступающих с различных участков диффузора, на высоких частотах излучение становится неравномерным, а диаграмма направленности начинает напоминать «розу ветров». Для предотвращения этого явления в конструкцию качественных вы-

сокочастотных головок вводят *противоинтерференционный* или *фазовыравнивающий вкладыш*. Он уравнивает путь звуковых волн, излученных разными участками диффузора (рис. 3.12б). В некоторых конструкциях это устройство установлено несимметрично, что позволяет сфокусировать максимум излучения не на оси головки, а на боковом лепестке диаграммы направленности (рис. 3.12в). При таком решении установка излучателя в автомобиле упрощается. Передний фланец некоторых конструкций выполняется в виде короткого рупора.

3.4.3. Коаксиальные головки

Создание широкополосных головок – непростая задача. Для расширения полосы воспроизводимых частот в конструкцию громкоговорителей вводят дополнительные СЧ–ВЧ-излучатели. Они размещаются внутри диффузора основной головки, вблизи его оси или соосно с ним. Динамики этого типа получили название *коаксиальных* (axis означает ось). В некоторых случаях дополнительный излучатель установлен под углом к основному, головки этого типа называют *кроссаксиальными*. Если используется больше одного дополнительного излучателя, динамики называют *триаксиальными*. В ряде конструкций предусматривается возможность изменения ориентации дополнительного излучателя.

В качестве дополнительных СЧ-излучателей используют малогабаритные диффузорные или купольные динамические головки и диффузорные пьезоизлучатели. ВЧ-излучатели обычно выполнены на базе малогабаритных купольных динамических головок или пьезокерамических пластин (в недорогих моделях). Для работы дополнительных головок необходим разделительный фильтр, обычно он встроен в конструкцию громкоговорителя.

Обычно *дополнительные излучатели* монтируются на «мостике», закрепленном на диффузородержателе (рис. 3.13а). Возможно их расположение на стойке, прикрепленной к керну магнитной системы клеем или винтом через сквозное отверстие (рис. 3.13б). Каждому варианту присущи свои достоинства и недостатки.

Мостовая установка позволяет на основе одной и той же широкополосной динамической головки выпускать несколько вариантов коаксиальных и триаксиальных громкоговорителей с различным набором дополнительных излучателей. Изменяется только конструкция мостика. Однако мостик и его кронштейны, перекрывая значительную часть диффузора основной головки, ограничивают полосу воспроизводимых ей частот. За счет дифракции и интерферен-

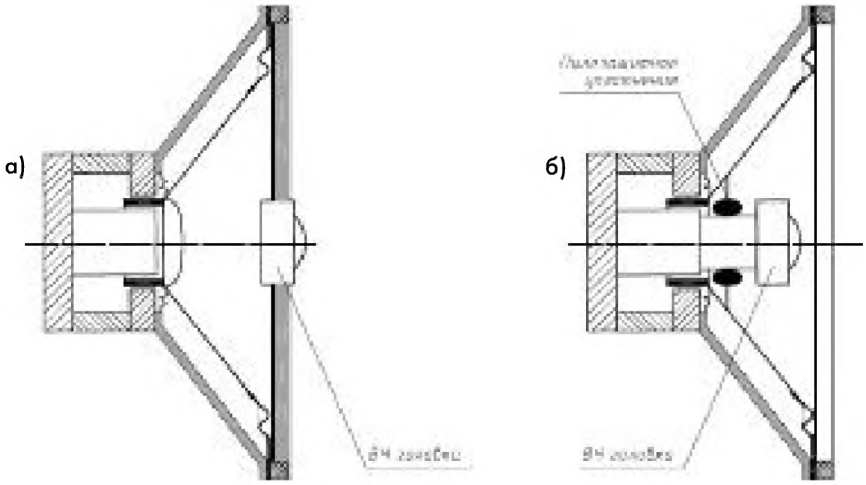


Рис. 3.13. Установка дополнительных излучателей в коаксиальной головке: а – на мостике; б – на стойке

ции увеличивается неравномерность суммарной АЧХ и ухудшается диаграмма направленности.

Для устранения этого недостатка в некоторых конструкциях дополнительные головки размещают таким образом, чтобы центральная часть диффузора основной головки оставалась открытой. Обычно для установки применяют один или два кронштейна, прикрепленных к диффузородержателю.

Установка дополнительных излучателей на стойке требует более серьезного изменения конструкции базовой головки. Пылезащитный колпачок заменяется в этом случае подвижным кольцевым уплотнением. Плотно прилегающий уплотнитель повышает степень защиты магнитной системы, но увеличивает механические потери. Неравномерность силы трения может стать причиной появления нелинейных искажений. Износ уплотнения со временем вызывает изменение характеристик головки. Поэтому конструкторам приходится уделять много внимания выбору материала уплотнителя и его исполнению.

В то же время коаксиальные громкоговорители стоечной конструкции имеют существенно меньшую неравномерность суммарной АЧХ и лучшую диаграмму направленности, чем мостиковые. Это объясняется тем, что затеняется существенно меньшая площадь диффузора основной головки и расстояние между центрами излучения головок можно сделать меньше.

Все рассмотренные варианты конструкции коаксиальных громкоговорителей имеют один общий недостаток. За счет интерференции звуковых волн, излучаемых одновре-

менно несколькими головками, в зоне их совместного действия суммарная АЧХ приобретает ряд локальных пиков и провалов на средних и высоких частотах. В некоторых случаях это вызывает заметную на слух окраску звучания. Для устранения данного явления необходимо или повысить крутизну разделительных фильтров (что значительно усложняет их конструкцию), или сблизить центры излучения головок. В простейшем случае для этого можно отказаться от стойки и закрепить «пищалку» непосредственно на керне магнитной системы основной динамической головки (рис. 3.14а). Ее диаметр выбирается близким к диаметру керна. Диффузор основной головки играет роль рупора, благодаря чему отдача «пищалки» несколько увеличивается. Устраняются и дифракционные искажения [36].

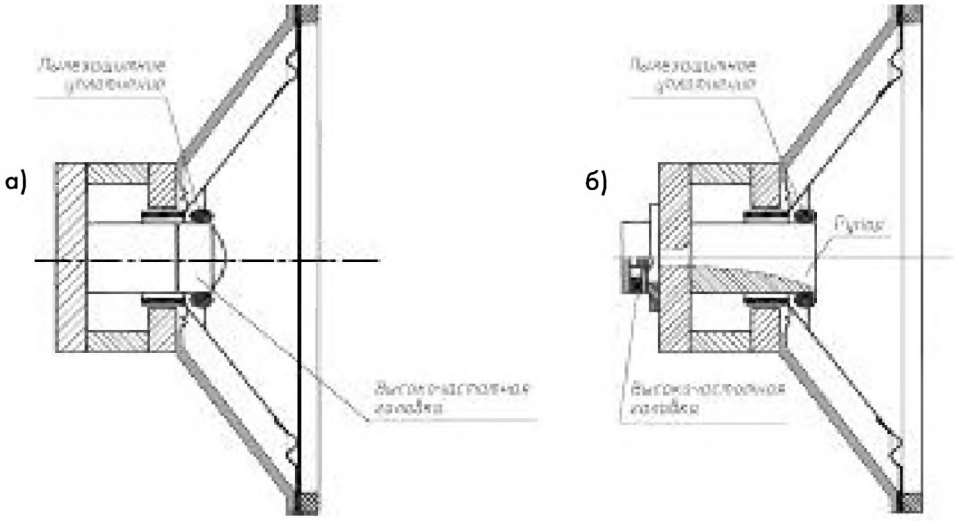


Рис. 3.14. Установка высокочастотной головки:
а – на керне магнитной системы; б – встроенная рупорная головка

Еще более высокими качественными показателями обладают коаксиальные громкоговорители со встроенными рупорными ВЧ-головками. Рупор при этом выполняется внутри керна магнитной системы основной головки (рис. 3.14б).

Помимо рассмотренных вариантов двухполосного коаксиального громкоговорителя, известны аналогичные конструкции трехполосных громкоговорителей. В этом случае среднечастотная купольная головка устанавливается на переднем фланце обращенной магнитной системы, имеющей большой диаметр, или выполняется рупорной (аналогично рис. 3.14б). Высокочастотная головка может быть прямого излучения или рупорной и монтируется на мостике.

Сигнал к дополнительным головкам подводится гибкими проводниками от выводов звуковой катушки основного громкоговорителя, или неподвижными проводниками, уложенными на мостике, или внутри стойки и керна. Элементы встроенного разделительного фильтра монтируются рядом с дополнительными головками или на диффузородержателе основной головки. В коаксиальных головках высокого качества предусматривается использование внешних разделительных фильтров, в этом случае каждая из них имеет отдельные выводы. В некоторых коаксиальных головках есть возможность снять пищалку и установить ее отдельно (так называемые динамики-трансформеры).

3.4.4. Специальные низкочастотные головки

Отдача динамика в диапазоне низких частот определяется произведением площади диффузора на его ход, то есть возбуждаемым объемом. Для увеличения звукового давления, развиваемого динамической головкой на низких частотах, нужно увеличивать либо площадь диффузора, либо его смещение. И увеличение диаметра диффузора гораздо выгоднее, чем увеличение его хода, – ведь площадь пропорциональна квадрату диаметра!

Однако увеличение диаметра диффузора снижает его жесткость и увеличивает массу подвижной системы, что ограничивает чувствительность. Кроме того, использование динамических головок большого диаметра в автомобиле затруднено, поэтому основной интерес вызывают длинноходные динамические головки.

Самое простое решение, позволяющее увеличить ход диффузора, – центрирующая шайба большого диаметра. В этом случае она устанавливается на некотором расстоянии от магнитной системы (рис. 3.15), длина каркаса звуковой катушки при этом увеличивается. Для увеличения поперечной жесткости подвеса иногда используют две центрирующие шайбы, установленные на некотором расстоянии друг от друга.

В магнитной системе таких головок используется задний щит с кольцевой проточкой, в которой при максимальном смещении помещается край звуковой катушки.

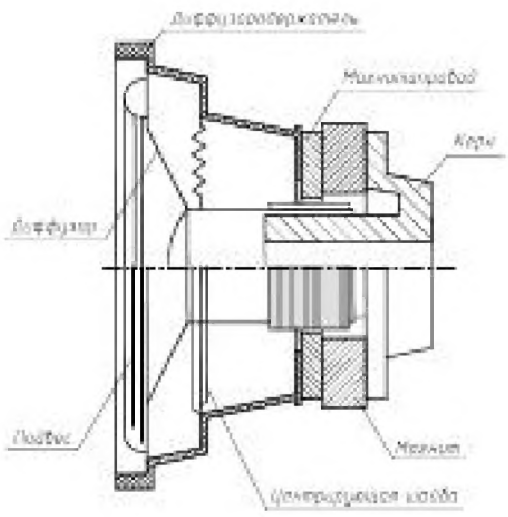
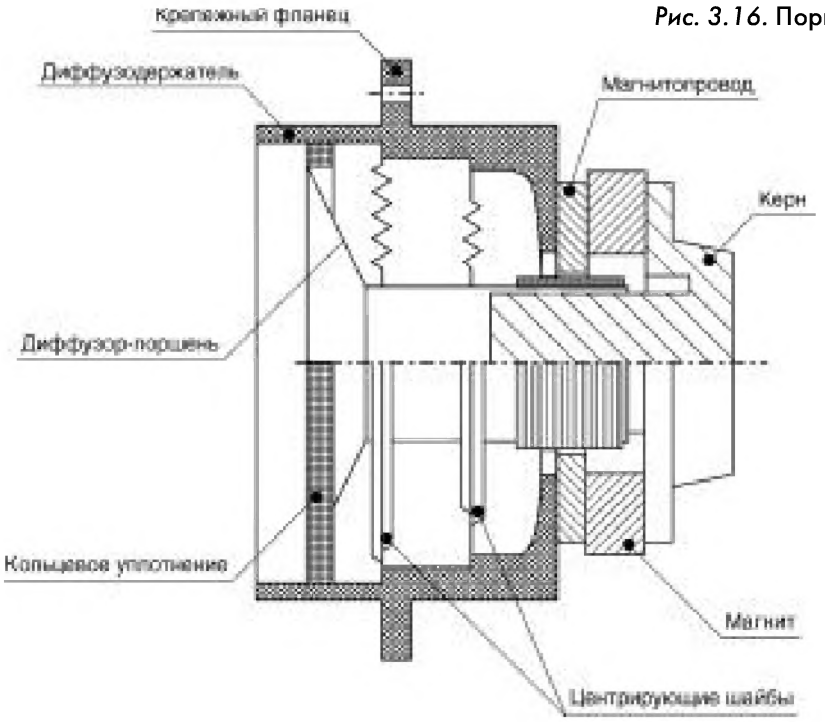


Рис. 3.15. НЧ-головка с большим ходом диффузора

При больших амплитудах смещения диффузора трудно обеспечить линейность подвеса. Кроме того, гофр сам становится нелинейным излучающим элементом, площадь которого сопоставима с площадью диффузора малого диаметра. Совокупность этих факторов приводит к значительному росту искажений. Фирма Pioneer применила в сабвуферах серии Linear Power оригинальные решения этой проблемы.

В сабвуфере TS-WX10LPA подвес диффузора отсутствует. Вместо него использовано кольцевое уплотнение, а жесткий полипропиленовый диффузор диаметром 10 см движется подобно поршню в цилиндре насоса (рис. 3.16.). Чувствительность этой головки – 101 dB/Вт$^{1/2}$м, диапазон воспроизводимых частот 35–200 Гц.

Рис. 3.16. Поршневая НЧ-головка



Однако потери на трение и ограниченный (хотя и большой) срок службы уплотнения сдерживают распространение таких головок, поэтому в сабвуферах TS-WX10LP(A) использовано более изящное решение – аэродинамическое уплотнение. Диффузор превратился в полый поршень диаметром 20 см, подвешенный на трех центрирующих шайбах (рис. 3.17). Магнитная система расположена внутри поршня. Зазор между стенками цилиндра и поршнем имеет малое сечение и большую протяженность, что практически исключает перетекание воздуха в области рабочих частот (25–200 Гц). Благодаря большому ходу диффузора и малой

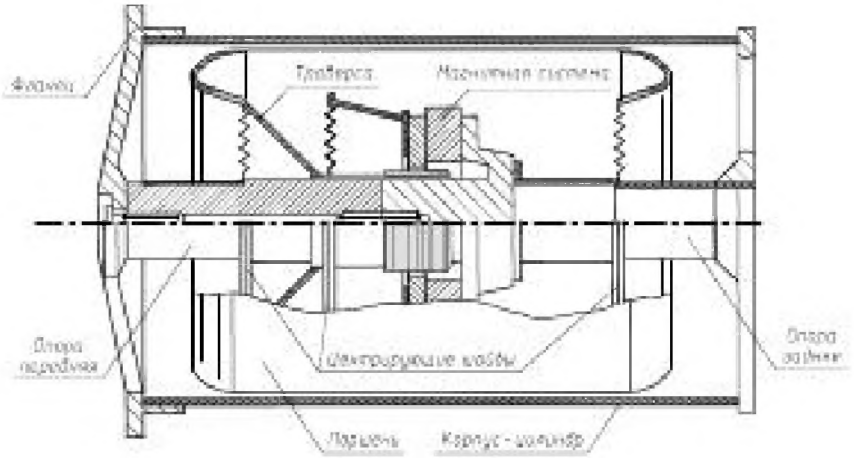


Рис. 3.17. Поршневая НЧ-головка с аэродинамическим уплотнением

жесткости подвеса сабвуфер имеет рекордную чувствительность – 106 dB/Вт$^{1/2}$м.

3.5. ОСОБЕННОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЕЙ

Автомобильные динамики имеют несколько стандартных размеров, основанных на дюймовой системе: 7,5 см (3”), 8,7 см (3,5”), 10см (4”), 13 см (5”), 16 см (6”), 20 см (8”), 25 см (10”), 30 см (12”). Помимо «круглых» динамиков, широко распространены *эллиптические* 4 × 6, 5 × 7 и особенно 6 × 9 дюймов (жаргонное название последних – «лопухи», «блины», «овалы»).

Большинство зарубежных производителей включают характерный размер головки в дюймах или сантиметрах в обозначение модели, что несколько облегчает «заочный» выбор. Комплект поставки автомобильного громкоговорителя включает в себя защитные сетки и элементы крепежа. Появившиеся в последнее время эллиптические модели 7 × 10 дюймов [95] снабжены переходными кольцами для установки в стандартные посадочные места 6 × 9 дюймов. Динамики, предназначенные для замены заводских моделей громкоговорителей в штатных местах автомобиля, поставляются без сеток (custom fit). В случае компонентных (раздельных по полосам) акустических систем в комплект обычно входит разделительный фильтр (кроссовер).

Практически все виды автомобильных динамиков предназначены для установки в традиционных местах (задняя полка, приборная панель, двери) и для нормальной работы требуют довольно значительного объема. При нарушении этого условия резко увеличивается неравномерность АЧХ в области низких частот. Исключением из правила являются некоторые низкочастотные и большинство сабвуферных

головок, специально спроектированные для работы в корпусе относительно небольшого объема.

Массовые модели автомобильных динамических головок наиболее широко представлены в продаже продукцией фирм Kenwood, Pioneer, Sony, Clarion, Panasonic, Philips, Prology, Pyramid. Разработки высокого уровня выпускают JBL, Focal, Infinity, Kicker, Precision Power, Rockford Fosgate, MTX, Phoenix Gold, Jensen, Morel и др. Высокая для многих любителей стоимость этой продукции вынуждает их обратить внимание на отечественные динамики.

Динамические головки отечественного производства, специально предназначенные для использования в автомобиле, появились относительно недавно, и выбор их еще невелик [45]. Поэтому при невозможности использовать специализированные головки можно ориентироваться на динамики общего применения [12, 82]. Как показывает практика, их долговечность оказывается вполне достаточной, если не допускать прямого попадания воды на диффузор и магнитную систему. Качество звучания отечественных головок зачастую выше, чем аналогичных импортных, а низкая стоимость объясняется упрощенной отделкой и практически полным отсутствием расходов на рекламу.

В **приложении 1** приведен список динамических головок российского и советского производства, наиболее пригодных для применения в автомобиле. Поскольку в распоряжении любителей могут оказаться приборы устаревших типов, они тоже включены в таблицу. Данные собирались из множества источников и не всегда были исчерпывающими, поэтому в таблице есть «белые пятна». К сожалению, для отечественных динамических головок параметры Тиля-Смолла являются «военной тайной». Единственный обязательный с января 1986 года параметр – это полная добротность, но и он приводится в сопроводительной документации крайне редко. Поэтому приведенные в таблице значения добротности и эквивалентного объема в большинстве случаев были получены опытным путем и подлежат уточнению для конкретного экземпляра головки.

Динамические головки и громкоговорители, применяемые для создания акустических систем в автомобилях, по выполняемым функциям и конструктивным признакам можно условно разделить на следующие группы [82]:

- широкополосные с одним диффузором (full range);
- широкополосные с дополнительным диффузором (dual cone);
- широкополосные с дополнительными излучателями, или коаксиальные (coaxial);
- высокочастотные (tweeter);

- среднечастотные (midrange);
- низкочастотные (woofer);
- НЧ-СЧ для двухполосных систем (midwoofer);
- сверхнизкочастотные (сабвуферы);
- готовые акустические системы.

3.5.1. Широкополосные и коаксиальные головки

Наибольшее распространение в автомобильных акустических системах получили широкополосные динамические головки. Они дешевы, технологичны и при умеренных требованиях к качеству звуковоспроизведения вполне справляются с поставленной задачей. Однако из-за перехода диффузора из поршневого режима работы в зонный диаграмма направленности обычных широкополосных громкоговорителей с ростом частоты сужается, а отдача падает. Это явление наиболее заметно для головок с большим диаметром диффузора, жесткость которого меньше.

Для компенсации этого явления в конструкции некоторых головок используют *секционированный диффузор*, разделенный кольцевыми гофрами на несколько участков. Благодаря этому при повышении частоты внешние участки диффузора как бы «отключаются», что снижает эффективную массу подвижной системы и улучшает отдачу [150]. Однако это решение используется достаточно редко.

В конструкцию головки чаще вводят дополнительный конический диффузор с меньшим углом раскрыва. Эффект его введения наиболее заметен у динамиков с большим диффузором. Материал, из которого сделан дополнительный диффузор, – бумага или алюминиевая фольга. Диффузор из фольги обычно выполняется как одно целое с пылезащитным колпачком. Основной диффузор широкополосных динамиков сделан, как правило, из бумаги или полипропилена.

Большинство автомобильных широкополосных динамиков представлены моделями диаметром 7,5–13 см и эллиптическими вариантами. Полоса воспроизводимых частот реально ограничена сверху значениями 8–12 кГц, если есть дополнительный диффузор 12–16 кГц. Нижняя граница воспроизводимых частот в зависимости от размеров громкоговорителя изменяется от 100–150 Гц у малогабаритных до 40–60 Гц у больших эллиптических моделей.

Для расширения вверх полосы воспроизводимых частот в автомобильных широкополосных динамиках переходят к коаксиальной конструкции и устанавливают дополнительные СЧ–ВЧ-излучатели (от 1 до 4). Производители

и продавцы совершенно неправильно называют такие динамики многополосными. В действительности полоса частот основного излучателя в большинстве случаев ограничена только естественным спадом. Дополнительные излучатели подключены через простейшие фильтры первого порядка (оксидные конденсаторы). Использование более совершенных разделительных фильтров (встроенных или внешних) предусмотрено лишь в редких (и дорогих) действительно многополосных моделях «коаксиалов». Вследствие этого частоты раздела обычно достаточно высоки (6–10 кГц), чтобы избежать перегрузки дополнительных излучателей мощным сигналом.

Основная масса автомобильных динамиков с дополнительными излучателями представлена «круглыми» моделями 10–16 см и эллиптическими 6 × 9 и 7 × 10 дюймов. Полоса частот, воспроизводимых громкоговорителями этого типа, расширена до 18–26 кГц. Нижняя граница полосы воспроизводимых частот такая же, как у рассмотренных выше. Поскольку слушатель в автомобиле обычно смещен относительно оси громкоговорителя, в некоторых моделях коаксиальных головок ось дополнительных излучателей развернута на некоторый угол. Иногда этот угол можно регулировать.

В последнее время появились универсальные конструкции автомобильных громкоговорителей, «трансформеры», которые можно использовать как обычные двухполосные коаксиальные динамики либо как разнесенные их варианты. Взамен снятой «пищалки» в этом случае устанавливается фазовыравнивающая вставка.

3.5.2. Специализированные громкоговорители

Перечисленные типы громкоговорителей используются как основные только в автомобильных аудиосистемах начального уровня. В высококачественных разработках широкополосные динамики применяют исключительно в качестве тыловых с ограничением полосы подаваемых на них частот до 400–2500 Гц. Простые широкополосные динамики можно использовать в роли среднечастотных излучателей в трехполосных системах. Специальные СЧ-динамики широкого распространения в автомобильной акустике пока не получили.

Для систем высокого уровня применяются раздельные головки, предназначенные для передачи низких, средних и высоких частот. Это позволяет разместить их в наиболее подходящих местах, чтобы лучше передать звуковую карти-

ну. Использование вынесенных разделительных фильтров позволяет оптимально выбрать частоты раздела в многополосных системах. Головки для раздельных систем можно приобрести как отдельно, так и в виде готового набора, включающего в себя, помимо динамиков, и разделительные фильтры (кроссоверы). В последнем случае громкоговоритель называют компонентным.

Применение готовых наборов оправдано для аудиосистем среднего уровня, поскольку в этом случае не требуется самостоятельно изготавливать кроссоверы. Впрочем, качество их исполнения может быть самым разным. Оксидные конденсаторы и катушки с ферромагнитным сердечником не редкость даже в достаточно дорогих комплектах. Кроме того, характеристики кроссоверов оптимизированы для некоего «усредненного» автомобиля, поэтому в установках самого высокого уровня используют исключительно разделительные фильтры индивидуального изготовления или переходят к многополосному усилению.

Низкочастотные и СЧ–НЧ-динамики обычно имеют диаметр от 13 до 20 см и, подобно широкополосным, в большинстве случаев рассчитаны на работу в довольно значительном объеме. Провести между ними четкую границу затруднительно, все зависит от того, в двух- или трехполосной акустической системе должен работать динамик. Некоторые громкоговорители неплохо функционируют в закрытых корпусах и фазоинверторах. Головки с эллиптическим диффузором в этой группе встречаются крайне редко. Материал диффузора может быть самым разным, от бумаги до кевлара, поэтому верхняя граница полосы воспроизводимых частот весьма индивидуальна для каждой модели – от 2–3 до 5–8 кГц. Нижняя граница у лучших образцов реально опускается до 30–40 Гц, что позволяет при известной доле изобретательности создать автомобильную аудиосистему высокой верности без использования отдельного сабвуфера.

Сверхнизкочастотные динамики (сабвуферы) имеют диаметр от 16 до 40 см и выше. Они требуют для своей работы специального акустического оформления (бесконечный экран, закрытый корпус, фазоинвертор, полосовой громкоговоритель). Обычно в автомобильной установке сабвуферу поручается полоса частот ниже 80–90 Гц, хотя известны и другие варианты распределения частот. Готовые корпусные сабвуферы различного исполнения выпускаются многими фирмами, но универсальных сабвуферов, пригодных для любого автомобиля, не существует в принципе. Сабвуфер, рассчитанный для работы в салоне малого объема, не сможет удовлетворительно работать в большом (и наоборот) [40, 42].

Поэтому при самостоятельном изготовлении акустического оформления необходимо либо довериться рекомендациям производителя относительно типа и характеристик акустического оформления, либо произвести расчеты самостоятельно. Необходимые для этого параметры Тиля-Смолла обычно имеются в сопроводительной документации к динамику. Подробно расчет и конструкции акустического оформления будут рассмотрены далее.

В качестве ВЧ-излучателей в автомобильных аудиосистемах используются в основном головки с мягкими текстильными или с жесткими металлическими куполами. Субъективная оценка звучания этих излучателей существенно отличается, причем и один, и другой типы имеют убежденных приверженцев. Как говорится: «на вкус и цвет товарищей нет». Диаметр «пищалок» – от 13 до 30 мм. Конструкция высокочастотных излучателей, применяемых в автомобильных аудиосистемах, имеет обусловленные этим особенности. Большинство производителей предусматривает возможность ориентации излучателей при помощи специальных установочных деталей, входящих в комплект. Диффузорные излучатели ввиду относительно больших размеров и существенно худших характеристик практически не применяются.

- Текстильный купол обеспечивает прекрасную проработку верхней середины и детальность звучания, но на верхнем краю диапазона звучание обычно приглушено (завал АЧХ).
- Металлический купол обеспечивает великолепное воспроизведение высокочастотного участка диапазона. Однако низкочастотный участок диапазона не всегда воспроизводится адекватно, а звучание нередко окрашено резонансами самого купола на гармониках сигнала (эффект камертона) и интермодуляцией.
- Полимерный или металлизированный купол обеспечивает достаточно широкий диапазон частот, но, как правило, со значительной неравномерностью АЧХ и диаграммы направленности. Вследствие этого звучание может принимать различную окраску.

Благодаря малым размерам современные автомобильные «пищалки» можно установить практически где угодно, что автоматически превращает их в весьма удобный инструмент для настройки звуковой сцены. Для увеличения эффективности этого метода частоту среза фильтра ВЧ нередко опускают до 1,5–2 кГц, при этом подводимая к излучателям мощность значительно возрастает: до 30–40% от общей

мощности системы. Для предохранения от перегрева применяют заполнение магнитных зазоров специальной жидкостью. Помимо повышения порядка разделительного фильтра, в его конструкцию вводят ограничитель тока на основе термистора, варистора или барретера.

Барретер представляет собой лампу накаливания, заполненную водородом. Водород ускоряет восстановление сопротивления нити накаливания после окончания перегрузки. В любительских условиях вместо барретера можно использовать обычную лампу накаливания, включив ее последовательно с динамической головкой [44]. Характеристики некоторых ламп накаливания в этой роли приведены в **приложении 2**.

Рупорные СЧ- и ВЧ-излучатели в автомобильных аудиосистемах – экзотика, но интерес к ним постепенно увеличивается. За счет акустического усиления чувствительность рупорных головок может достигать 97–105 dB/Вт$^{1/2}$м, что позволяет снизить необходимую мощность усилителя. В принципе, рупор является особым видом акустического оформления и вполне может быть изготовлен самостоятельно [8]. В последнее время увеличивается интерес к изодинамическим и электростатическим излучателям.

Общее знакомство с назначением и конструкцией динамиков закончено. Теперь осталось выяснить, как их использовать.

4. АКУСТИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

Самое распространенное заблуждение, которое можно услышать в магазинах и от покупателей, и от продавцов: в автомобиле достаточно установить «хорошие» (обязательно дорогие) динамики, и все само заиграет «как надо». Не верьте, не заиграет... Получить отвратительное звучание от самых дорогих динамических головок совсем не так сложно, как это кажется. Чтобы не испытать сильного разочарования, нужно помнить, что любая динамическая головка требует определенного акустического оформления. Можно либо подбирать головки под имеющийся тип оформления, либо, наоборот, рассчитать определенный вариант акустического оформления под выбранные динамики.

Помните, что с возрастанием сложности (порядка) акустического оформления увеличивается его «чувствительность» к ошибкам и просчетам. Поэтому при проектировании любого вида акустического оформления не стоит слепо верить приводимым в паспорте усредненным характеристикам динамической головки. Помимо технологического разброса параметров, их значения могут изменяться от серии к серии, для отечественной продукции отклонения достигают иногда 50–80% даже по техническим условиям. Резонансная частота и полная добротность нового динамика в течение первых нескольких часов работы («разминки») снижаются на 3–10%.

Поэтому любые справочные данные следует рассматривать лишь как ориентировочные для предварительного выбора головки или акустического оформления. При построении высококачественной акустической системы желательно измерить резонансную частоту, полную добротность и эквивалентный объем конкретного экземпляра динамика.

4.1. ПАРАМЕТРЫ ТИЛЯ-СМОЛЛА

Как отмечалось ранее, они описывают поведение головки в области поршневого действия. Математическая модель, использующая эти параметры, положена в основу современных методов расчета акустического оформления [18]. В данном разделе приведен полный список параметров *Тиля-Смолла*, относящихся как непосредственно к головке, так и к ее акустическому оформлению. Методика измерения необходимых на практике параметров будет приведена далее. Помните, что они относятся к работе головки в режиме малого сигнала.

F_s (Гц) – частота собственного резонанса головки в открытом пространстве.

F_c (Гц) – частота собственного резонанса головки в закрытом корпусе.

F_b (Гц) – частота настройки фазоинвертора.

F_3 (Гц) – частота среза, на которой отдача головки в акустическом оформлении снижается на 3 дБ.

V_{as} (м^3) – эквивалентный объем. Это возбуждаемый головкой закрытый объем воздуха, имеющий гибкость, равную гибкости C_{ms} подвижной системы головки.

D (м) – эффективный диаметр диффузора, примерно 75–80% конструктивного диаметра.

S_d (м^2) – эффективная площадь диффузора, примерно 50–60% конструктивной площади.

$X_{\max}$ (м) – максимальное смещение диффузора.

V_d (м^3) – возбуждаемый объем (произведение S_d на $X_{\max}$).

R_e (Ом) – сопротивление обмотки головки постоянному току.

R_g (Ом) – выходное сопротивление источника сигнала с учетом влияния соединительных проводов и фильтров.

Q_{ms} (безразмерная величина) – механическая добротность головки громкоговорителя на резонансной частоте (F_s), учитывает механические потери.

Q_{es} (безразмерная величина) – электрическая добротность головки громкоговорителя на резонансной частоте (F_s), учитывает электрические потери.

Q_{ts} (безразмерная величина) – полная добротность головки громкоговорителя на резонансной частоте (F_s), учитывает все потери.

Q_{mc} (безразмерная величина) – механическая добротность акустической системы на резонансной частоте (F_s), учитывает механические потери.

Q_{ec} (безразмерная величина) – электрическая добротность головки в выбранном акустическом оформлении на резонансной частоте (F_s), учитывает электрические потери.

Q_{tc} (безразмерная величина) – полная (результирующая) добротность головки в выбранном акустическом оформлении на резонансной частоте (F_s), учитывает все потери.

Q_l (безразмерная величина) – добротность головки в выбранном акустическом оформлении на частоте настройки фазоинвертора (F_b), учитывающая потери перетекания.

Q_a (безразмерная величина) – добротность головки в выбранном акустическом оформлении на частоте настройки фазоинвертора (F_b), учитывающая потери поглощения.

Q_p (безразмерная величина) – добротность головки в выбранном акустическом оформлении на частоте настройки фазоинвертора (F_b), учитывающая прочие потери.

n_0 (безразмерная величина, иногда %) – относительная эффективность (КПД) системы.

C_{ms} (м/Н) – гибкость подвижной системы головки громкоговорителя (смещение под воздействием механической нагрузки).

M_{ms} (кГ) – эффективная масса подвижной системы (включает массу диффузора и колеблющегося вместе с ним воздуха).

R_{ms} (кГ/с) – активное механическое сопротивление головки.

C_{as} – акустический эквивалент C_{ms}.

M_{as} – акустический эквивалент M_{ms}.

R_{as} – акустический эквивалент R_{ms}.

C_{mes} (Ф) – эквивалентная емкость M_{ms}.

L_{ces} (Г) – эквивалентная индуктивность C_{ms}.

R_{es} (Ом) – эквивалентное сопротивление.

B (Тл) – индукция в зазоре.

L (м) – длина проводника звуковой катушки.

B_l (м/Н) – коэффициент магнитной индукции.

P_a – акустическая мощность.

P_e – электрическая мощность.

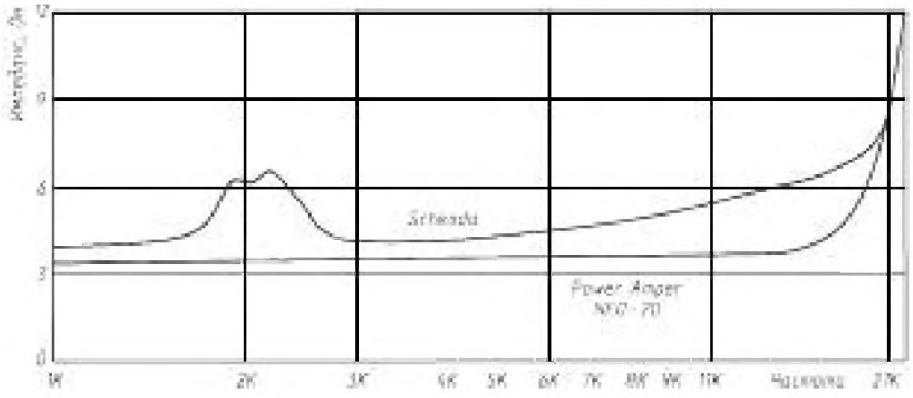
4.2. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИНАМИЧЕСКИХ ГОЛОВОК

Все экспериментальные методики определения характеристик динамической головки в области поршневого действия основаны на анализе резонансного участка кривой ее импеданса. Эквивалентный объем динамической головки можно найти различными способами, но в домашних условиях проще использовать методы «добавочной массы» и «добавочного объема», основанные на том же принципе измерений [12, 18].

Кривая зависимости импеданса динамической головки от частоты (*Z-характеристика*) имеет одинаковый харак-

тер для всех без исключения динамических головок и отличается только деталями. Импеданс громкоговорителей имеет максимумы и минимумы. Максимум (пик) кривой совпадает с частотой основного механического резонанса подвижной системы и превышает в несколько раз сопротивление звуковой катушки по постоянному току. В тех случаях, когда рабочий зазор заполнен ферромагнитной жидкостью, резонансный пик может быть подавлен. В качестве примера можно привести полученные опытным путем Z-характеристики штатной «пищалки» автомобиля «Шкода-Октавия» и более современной Power Amper NEO-20 с жидкостным демпфированием. Обратите внимание на правую часть графиков: импеданс на высоких частотах возрастает более чем в два раза (сказывается индуктивность обмотки звуковой катушки). Для низкочастотных головок с большой индуктивностью звуковой катушки импеданс может возрасти еще больше.

Рис. 4.1. Z-характеристики «пищалки» с демпфированием и без него



Поскольку импеданс головки зависит от частоты, величину индуктивности обмотки необходимо учитывать при расчете пассивных разделительных фильтров (кроссоверов). Если она не приводится в документации, ее можно вычислить, измерив импеданс приводимыми ниже способами. Так как активная составляющая импеданса отстоит от реактивной на угол 90°, можно воспользоваться теоремой Пифагора. Окончательно формула выглядит так:

$$L = \frac{1}{2\pi F}\sqrt{Z^2 - R_e^2},$$

где L – индуктивность (Гн);
Z – импеданс (Ом);
R_e – сопротивление постоянному току (Ом);
F – частота (Гц).

Можно произвести прямые измерения индуктивности, воспользовавшись соответствующим прибором (мультиметром или измерителем RCL). Строго говоря, индуктивность обмотки с учетом влияния магнитной системы незначительно зависит от частоты, и замерять ее нужно вблизи выбранной частоты раздела. Хотя далеко не все приборы позволяют выбирать частоту измерений, тем не менее их точность вполне достаточна для практических целей.

4.2.1. Оборудование для измерений

Для снятия Z-характеристики используется питание головки от источника тока [12, 18]. Проще всего это сделать при помощи резистора, включенного последовательно с головкой. Его сопротивление обычно выбирается из соотношения $R/R_e > 100$, что применительно к распространенным головкам составляет величину 400–500 Ом. Однако практика показала, что в любительских условиях это сопротивление может быть снижено в несколько раз без существенного влияния на конечный результат. Приведенная ниже методика действенна только для измерения параметров динамиков с резонансными частотами ниже 100 Гц, на более высоких частотах погрешность возрастает из-за влияния индуктивности звуковой катушки. Для измерения параметров среднечастотных и высокочастотных головок сопротивление токозадающего резистора необходимо увеличить до 0,5–1 кОм.

Вам понадобится следующее оборудование:

- милливольтметр переменного тока. Он должен иметь погрешность не хуже 5%. Поскольку в бытовых цифровых мультиметрах обновление показаний происходит недостаточно часто, прибор со стрелочным измерителем может оказаться намного удобнее;
- генератор сигналов звуковой частоты. Величина неискаженного выходного напряжения должна быть не менее 1,5 В;
- частотомер (0–200 Гц);
- мощный (не менее 1 Вт) непроволочный токозадающий резистор R_i. Реально на нем рассеивается намного меньшая мощность, но изменение сопротивления при нагреве может повлиять на точность измерений. Сопротивление этого резистора может быть всего несколько десятков Ом, это снижает требования к максимальному выходному напряжению генератора;
- калибровочный резистор R_k. Его сопротивление должно быть близким к R_e и может лежать в диапазоне от 3 до 15 Ом. Сопротивление необходимо измерить как можно точнее или использовать резистор с минимальным допуском, от него зависит точность измерений.

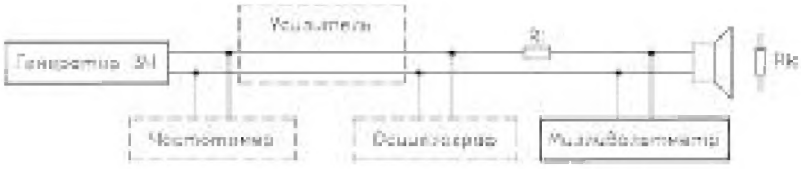


Рис. 4.2. Схема измерений для получения Z-характеристики

Список оборудования можно изменять. Большинство генераторов имеют собственную шкалу частоты, и частотомер в этом случае не обязателен, хотя калибровку шкалы не мешает проверить. Вместо генератора можно использовать звуковую плату компьютера и соответствующее программное обеспечение, способное генерировать синусоидальные сигналы. Для увеличения напряжения сигнала со звуковой платы или генератора используется внешний усилитель, а для контроля формы сигнала – осциллограф. Если в качестве генератора используется звуковая плата, сопротивление токозадающего резистора желательно уменьшить до 10–20 Ом. Это позволит снизить необходимое выходное напряжение и избежать вероятного ограничения сигнала.

Если измерения будут проводиться всего один раз, этим можно и ограничиться. В противном случае есть смысл снабдить схему необходимыми элементами коммутации, разъемами и придать ей законченный вид (рис. 4.3). Переключатель SA1 позволяет выбрать сопротивление калибровочного резистора, SA2 выбирает режим работы устройства (проверка, калибровка, измерение). Переключатель SA3 и делитель напряжения R4, R5 согласовывают уровень выходного сигнала с чувствительностью применяемого измерительного прибора.

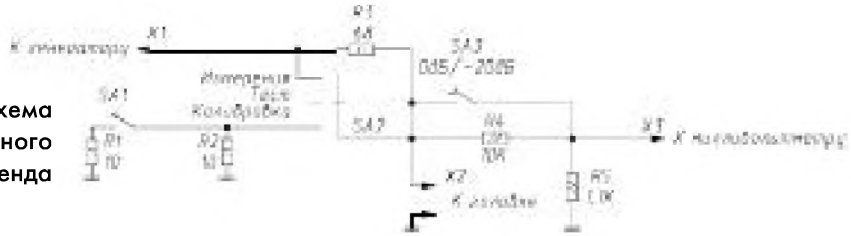


Рис. 4.3. Схема измерительного стенда

Для измерений схему необходимо настроить. Для этого вместо динамика подключается калибровочный резистор. Регулируя выходное напряжение генератора, надо установить на калибровочном резисторе некоторое напряжение U_k. Удобно выбрать его таким, чтобы в милливольтах (или десятках милливольт) оно было численно равно сопротивлению R_k. Это повысит наглядность измерений и снизит вероятность ошибки. При увеличении напряжения возрастает точность, но следует убедиться, что форма измерительного сигнала не искажена.

Запомните: после калибровки регулировать выходное напряжение генератора нельзя до окончания всех измерений.

4.2.2. Измерение активного сопротивления

Присоединив вместо калибровочного сопротивления динамик и выставив на генераторе частоту, заведомо меньшую резонансной, измеряем напряжение U_e. Если калибровка была «удобной», это напряжение будет численно равно *активному сопротивлению* звуковой катушки R_e (или $10R_e$). В противном случае сопротивление звуковой катушки постоянному току можно найти по формуле:

$$R_e = R_k \frac{U_e}{U_k}$$

где R_e – активное сопротивление звуковой катушки (Ом);
R_k – сопротивление калибровочного резистора (Ом);
U_e – напряжение на звуковой катушке (мВ);
U_k – напряжение на калибровочном резисторе (мВ).

Впрочем, R_e можно замерить и непосредственно омметром, но данный способ хорош тем, что позволяет автоматически компенсировать погрешность калибровки «измерительного стенда». В дальнейших расчетах используются уже не сами импедансы, а их отношения.

4.2.3. Измерение частоты основного механического резонанса

Динамик при этом и всех последующих измерениях должен находиться в свободном пространстве и по возможности дальше от отражающих поверхностей. Желательно, чтобы звуковая катушка заняла такое же положение, как и в будущем громкоговорителе.

Частота основного механического резонанса подвижной системы F_s находится по пику импеданса. Плавно меняя частоту генератора, находим ту, на которой показания вольтметра максимальны. Для повышения точности расчетов измерения можно провести пять раз и в качестве результата принять среднее арифметическое значение величин.

Запишите не только частоту, но и показания вольтметра U_{max}. По ним находится импеданс громкоговорителя на резонансной частоте R_{max}, необходимый для расчета других параметров. Формула для расчета R_{max} имеет тот же вид, что и для R_e:

$$R_{max} = R_k \frac{U_{max}}{U_k},$$

где R_{max} – импеданс на частоте резонанса (Ом);
R_k – сопротивление калибровочного резистора (Ом);
U_e – напряжение на звуковой катушке (мВ);
U_k – напряжение на калибровочном резисторе (мВ).

4.2.4. Определение добротности

Прежде всего нужно найти R_x – среднее геометрическое от значений R_{max} и R_e:

$$R_x = \sqrt{R_{max} R_e}$$

где R_x – среднее геометрическое сопротивление (Ом);
R_e – активное сопротивление звуковой катушки (Ом);
R_{max} – импеданс на частоте резонанса (Ом).

После этого, перестраивая генератор, найдите частоты F_1 и F_2, на которых импеданс динамической головки будет равен R_x (рис. 4.4). Правильность измерений можно проверить, вычислив среднее геометрическое этих частот:

$$F_s = \sqrt{F_1 F_2}.$$

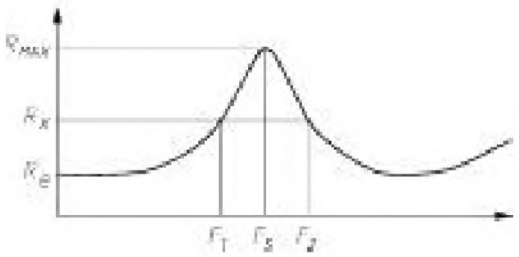


Рис. 4.4. Резонансный участок Z-характеристики

Если расчетный результат F_s' отличается от найденного ранее F_s больше, чем на 1 Гц, то нужно повторить все измерения более аккуратно. После этого найти вспомогательный коэффициент R_o, характеризующий относительную амплитуду резонансного пика:

$$R_0 = \frac{R_{max}}{R_e},$$

где R_0 – коэффициент;
R_e – активное сопротивление звуковой катушки (Ом);
R_{max} – импеданс на частоте резонанса (Ом).

Значения *добротности* вычисляются по следующим формулам:

$$Q_{max} = \frac{F_s \sqrt{R_0}}{F_2 - F_1}$$

$$Q_{es} = \frac{Q_{max}}{R_0 - 1};$$

$$Q_{ES} = \frac{Q_{ES}}{R_g}$$

Если у вас хватило терпения дочитать до этого места (или даже произвести измерения), вам будет приятно узнать, что существует и менее трудоемкий способ [41]. Для этого необходим компьютер, оснащенный дуплексной звуковой платой, способной одновременно работать на ввод и вывод сигнала. Еще понадобится программа SpeakerWorkShop и тот самый прибор, схема которого приведена на рис. 4.3, в нем нужно уменьшить сопротивление резистора R3 до 5–10 Ом и добавить второй выход, на который будет подан сигнал со входа прибора. Для согласования уровней сигнала пригодится встроенный делитель напряжения. Необходимы соответствующие кабели для подключения к выходу и линейному входу звуковой платы. Один выход прибора подключается к входу левого канала звуковой карты, второй – к входу правого, что позволяет сравнивать поданный сигнал и отклик.

Принцип измерения ничем не отличается от рассмотренного, за исключением того, что импеданс измеряется не на синусоидальном, а на шумовом сигнале и для измерений используются не абсолютные значения напряжений, а их отношения. Звуковая плата под управлением программы SpeakerWorkShop работает одновременно как генератор тестового сигнала и как анализатор спектра. Обработка результатов измерений происходит автоматически. Весь процесс занимает не больше минуты, что делает эту программу очень удобным инструментом для проектирования и настройки акустического оформления. Последовательность калибровки прибора и работы подробно описана в документации на сайте фирмы Audua: www.audua.com.

4.2.5. Определение эквивалентного объема методом добавочной массы

Для начала нужно равномерно нагрузить диффузор известной массой и вновь измерить его резонансную частоту, записав ее как F_s'. Она должна быть ниже, чем F_s на 30–50%. Масса грузиков выбирается из расчета примерно 10 г на каждый дюйм диаметра диффузора. Таким образом, для головки диаметром 25–30 см нужен груз массой порядка 100–120 г. Можно использовать набор грузиков от аптечных весов или старые медные монетки достоинством 1, 2, 3 и 5 коп., поскольку их вес в граммах соответствует номиналу. Для монет образца 1998 года соотношение номинала и веса следующее:

1 коп. – 1,5 г;
10 коп. – 2 г;
5 коп. – 2,5 г;
50 коп. – 3 г;
1 руб. – 3,2 г;
2 руб. – 5 г;
5 руб. – 6,5 г.

Затем на основе полученных результатов необходимо рассчитать гибкость подвижной системы C_{ms} по формуле:

$$C_{ms} = \frac{1}{M} \cdot \frac{(F_1 + F_2')(F_1 - F_2')}{(2\pi)^2 (F_1 F_2')},$$

где M – добавочная масса, кГ;
C_{ms} – гибкость, м/Н.

Более простой, но менее точный метод заключается в непосредственном измерении смещения диффузора под заданной нагрузкой и вычислении C_{ms} по следующей формуле:

$$C_{ms} = \frac{X_m}{9{,}81M},$$

где M – добавочная масса, кГ;
X_m – смещение, м.

Исходя из полученных результатов, эквивалентный объем V_{as} (м^3) рассчитывается так:

$$V_{as} = \rho c^2 S_d^2 C_{ms} \approx 1{,}5 \times 10^5 S_d^2 C_{ms},$$

где $C \approx 340$ м/с – скорость звука в воздухе;
$r \approx 1{,}293$ кГ/м^3 – плотность воздуха;
S_d, м^2 – эффективная площадь диффузора, совпадающая на низких частотах с конструктивной.

Для круглых диффузоров можно использовать упрощенную практическую формулу, дающую результат в более удобных для последующих расчетов единицах – литрах:

$$V_{as} = 0{,}875 \times 10^{-3} D^4 C_{ms}.$$

Диаметр диффузора D (в сантиметрах!) можно измерить линейкой по среднему диаметру гофра. C_{ms} должна быть выражена в мм/Н.

4.2.6. Определение эквивалентного объема методом добавочного объема

Для этого необходим закрытый измерительный ящик известного объема. В нем необходимо в соответствующем отверстии герметично закрепить динамик. Удобнее всего установить его магнитом наружу, поскольку динамику все равно, с какой стороны у него рабочий объем, а вам будет

проще подключать провода. Да и лишних отверстий при этом меньше. Объем корпуса обозначен как V_b.

Затем произвести измерения F_c (резонансной частоты динамика в закрытом корпусе) и соответственно вычислить результирующие добротности в акустическом оформлении Q_{mc}, Q_{ec} и Q_{tc}. Методика измерения полностью аналогична описанной выше. Возникающие в некоторых случаях дополнительные максимумы и минимумы импеданса свидетельствуют о наличии щелей или воздушных пазух.

Эквивалентный объем находится по формуле:

$$V_{as} = V_b\left(\frac{F_c Q_{ec}}{F_s Q_{es}} - 1\right),$$

где V_{as} – эквивалентный объем (л);
V_b – объем корпуса (л);
F_c – частота резонанса в закрытом оформлении (Гц);
F_s – частота резонанса в свободном пространстве (Гц);
Q_{ec} – добротность в закрытом оформлении;
Q_{es} – добротность в свободном пространстве.

Практически с теми же результатами можно использовать и более простую формулу:

$$V_{as} = V_b\left[\left(\frac{F_c}{F_s}\right)^2 - 1\right],$$

где V_{as} – эквивалентный объем (л);
V_b – объем корпуса (л);
F_c – частота резонанса в закрытом оформлении (Гц);
F_s – частота резонанса в свободном пространстве (Гц).

Поскольку в последнюю формулу входит только один измеряемый параметр (частота), для измерения эквивалентного объема можно использовать еще один способ. Он основан на прямом измерении частоты основного резонанса в акустическом оформлении и без него. Для работы используется несложный прибор [17].

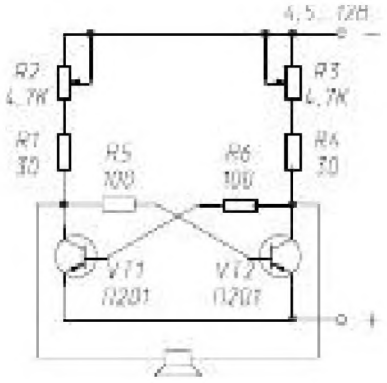


Рис. 4.5. Генератор для измерения частоты механического резонанса подвижной системы динамической головки

Схема представляет собой симметричный мультивибратор, частота генерации которого определяется частотой механического резонанса головки. При подключенной головке достаточно легкого толчка по диффузору, чтобы схема начала генерировать. С помощью резисторов R2 и R3 уравновешивают схему и устанавливают мощность колебаний. При использовании близких по параметрам транзисторов можно взять сдвоенный переменный резистор. Устаревшие транзисторы П201 заменяют на П214, ГТ403, КТ814, КТ816, КТ818, а при смене полярности напряжения питания на КТ815, КТ817, КТ819 с любым буквенным индексом. Однако в этом случае схема может работать неустойчиво из-за большего напряжения открывания кремниевых транзисторов, поэтому надежнее использовать германиевые. Недавно в продаже появилась такая конструкция в виде набора для самостоятельной сборки.

Прибор пригоден для измерения резонансной частоты головок в любом акустическом оформлении, но следует учитывать, что для АС с фазоинвертором возможно возникновение колебаний на частоте его настройки. Поэтому при измерениях трубу ФИ следует заглушить. Для определения частоты пригоден любой частотомер или мультиметр. Его можно подключить непосредственно к головке или к коллектору одного из транзисторов. При регулярных измерениях прибор можно выполнить в виде приставки к мультиметру или объединить с несложным частотомером, схемы которых неоднократно публиковались в популярной литературе.

Данных, полученных в результате всех измерений, достаточно для расчета акустического оформления низкочастотного звена самого высокого класса. А как оно рассчитывается, это уже совсем другая история... (раздел 4.4).

4.3. ВИДЫ АКУСТИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ

Основные проблемы при конструировании АС вызывает выбор низкочастотного акустического оформления. С высокочастотным все обстоит намного проще – оно обычно входит в конструкцию динамической головки. Существует много вариантов низкочастотного оформления. При его расчете необходимо учитывать не только характеристики головки, но и акустические свойства помещения на низких частотах (передаточную характеристику). Для бытовых помещений ее влияние обычно невелико, но салон автомобиля в силу малых размеров уже становится одним из элементов акустического оформления. Поэтому самые ра-

дикальные любители начинают создание аудиосистемы с выбора соответствующего автомобиля. Подробно передаточная характеристика салона будет рассмотрена позднее, пока достаточно знать, что салон легкового автомобиля средних размеров обеспечивает акустическое усиление (подъем) частот ниже 100 Гц примерно на 10–15 дБ [31].

4.3.1. Классификация низкочастотного акустического оформления

В конструктивном исполнении акустических систем существуют два класса – корпусные (независимые) и встроенные. Однако попытки классифицировать акустическое оформление на основе его конструктивного исполнения получаются громоздкими и бессистемными. Намного удобнее построить классификацию на основе акустической нагрузки диффузора и использовании его излучения. По связи излучателя со средой АС можно разделить на системы прямого излучения, рупорные, системы с переизлучением и их комбинации.

Акустически разгруженное оформление (Free Air) – это такое оформление, в котором перемещение диффузора ограничивается только жесткостью подвеса, а сопротивление излучения мало. На русский язык этот термин обычно переводят как «открытое оформление» и нередко ошибочно связывают с конструктивным исполнением АС в корпусе без задней стенки.

Отличительный признак всех видов открытого акустического оформления – они не повышают резонансную частоту и полную добротность АС. Поэтому под определение Free Air попадает и закрытый корпус очень большого объема (намного большего, чем эквивалентный объем головки), что приводит к путанице при «конструктивной» классификации.

Акустически нагруженное оформление – это оформление, в котором смещение диффузора ограничено главным образом упругостью воздуха и сопротивлением излучения. Результирующая добротность и частота резонанса всегда оказываются выше, чем у исходной головки. Акустическая нагрузка может создаваться как с одной стороны диффузора, так и с обеих. В последнем случае АС уже не будет являться системой прямого излучения.

Система одинарного действия использует излучение только одной стороны диффузора. Излучение обратной стороны нейтрализуется акустическим оформлением. Данные системы обеспечивают наименьшие фазовые искажения сигнала.

Система двойного действия для увеличения отдачи на низких частотах использует излучение обеих сторон диффузора. Так как возбуждаемые передней и задней поверхностями диффузора звуковые волны находятся в противофазе, для обеспечения их синфазного излучения необходимо ввести задержку одной из волн. Поскольку музыкальный сигнал не является периодическим, при этом неизбежно проявляются искажения («размытость») результирующего сигнала. Кроме того, возможно увеличение неравномерности АЧХ, поскольку фазовый сдвиг 180 градусов выполняется только для какой-то одной частоты.

На рис. 4.6 приведена классификация распространенных видов акустического оформления. Методика их расчета будет приведена после рассмотрения основных вариантов. Комбинируя их, можно создать новые конструкции, вполне укладывающиеся в рамки классификации. Но получившиеся монстры, скорее всего, будут напоминать трансурановые элементы: в теории существуют, а с практическим применением – проблемы.

Рис. 4.6. Классификация акустического оформления

		Одинарного действия	Двойного действия	
Нагруженные с одной стороны	Акустически разгруженные	Рупор		Прямого излучения
		Экран		
		Открытый ящик		
		Панель акустического сопротивления	Лабиринт	
		Закрытый ящик	Фазоинвертор	
			Пассивный излучатель	
	Нагруженные с двух сторон	Закрытый ящик с нагрузкой	Фазоинвертор с нагрузкой	С переизлучением
		Закрытый ящик-резонатор	Двойной фазоинвертор	
		Фазоинвертор последовательного действия	Двойной фазоинвертор последовательного действия	
			Фазоинвертор – резонатор последовательного действия	

4.3.2. Открытое оформление

Из всех существующих видов открытого акустического оформления наибольшее распространение на сегодняшний день получил *акустический экран* (рис. 4.7а). В англоязычной терминологии для обозначения экрана используется термин Infinity Buffle (бесконечная поверхность). В данном случае это означает, что размеры экрана намного больше максимальной длины волны диапазона воспроизводимых частот. Акустический экран в чистом виде для оформления низкочастотных головок не применяется ввиду больших линейных размеров, на практике используются его «укороченные» версии. Значительно большее распространение получила конструктивная разновидность акустического экрана – *открытый корпус* (рис. 4.7б) [12, 119].

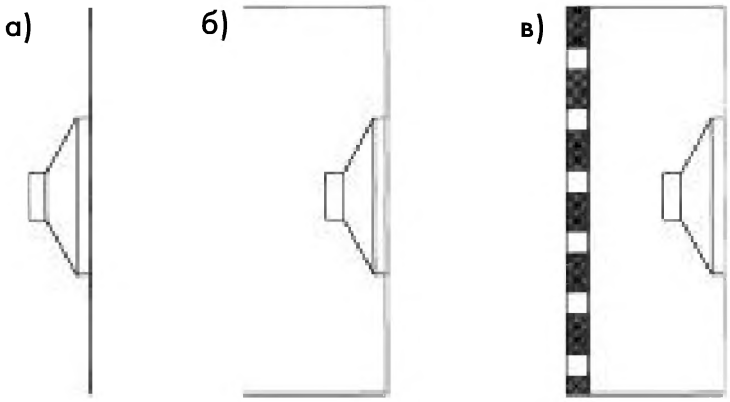


Рис. 4.7. Открытое акустическое оформление: а – акустический экран; б – открытый корпус; В – панель акустического сопротивления

Однако этим видам акустического оформления свойствен общий недостаток. Излучаемые задней поверхностью диффузора волны, огибая экран, складываются с прямыми. Разность пути этих волн невелика, поэтому на низких частотах они оказываются практически в противофазе и ослабляются. В результате частота среза оформления F_3 оказывается заметно выше частоты резонанса головки F_s. Благодаря этому АЧХ динамической головки в малогабаритном экране или открытом корпусе на этом участке спадает с крутизной 6 дБ/окт, что позволяет считать его акустическим ФВЧ первого порядка. Ниже частоты резонанса крутизна возрастает до 18 дБ/окт. Теоретически с учетом передаточной характеристики салона суммарная АЧХ на нижних частотах должна иметь подъем, но при использовании реальных головок этого не происходит. Максимум, на что можно рассчитывать в этом случае, – небольшой «горб» в области 50–70 Гц [24].

Основные достоинства этих вариантов открытого оформления: низкие нелинейные искажения, гладкая фазовая

характеристика и отсутствие выброса на переходной, что положительно сказывается на музыкальности воспроизведения. Недостаток малогабаритных конструкций – ослабленное воспроизведение низших частот, вызванное сложением прямой и обратной волн.

Вариантом открытого акустического оформления можно также считать *панель акустического сопротивления* (ПАС, Aperiodic Membrane). В этом случае одна из стенок корпуса громкоговорителя имеет значительное количество отверстий небольшого диаметра (3–10 мм), иногда перекрытых неплотной тканью (рис. 4.7в). Назначение ПАС – поглотить или хотя бы ослабить излучение задней стороны диффузора. При такой конструкции его колебания частично демпфируются, что может привести к некоторому повышению добротности и резонансной частоты. Иногда этот вид оформления называют «полузакрытым». Однако с тем же успехом можно рассматривать его и как закрытый корпус с большими утечками или совокупность большого количества маленьких фазоинверторов. Применяется этот вид оформления редко, а удачные конструкции встречаются еще реже. Основная причина – отсутствие надежной методики расчета и сложность «штучного» изготовления. В зависимости от конструктивного исполнения и настройки этот вид акустического оформления принимает порядок от первого до второго.

4.3.3. Лабиринт

Вместо того чтобы бороться с излучением тыльной стороны диффузора, его можно использовать. Так появились единственные в своем роде открытые АС двойного действия – *лабиринтные*, в англоязычной терминологии Transmission line (линия передачи). За рубежом они были особенно популярны в начале 70-х годов, чуть позже выпускалась и отечественная акустическая система 6АСЛ1. В настоящее время такие АС выпускает фирма TDL.

В этой конструкции тыльная сторона диффузора сообщается с окружающей средой через трубу-волновод. Когда средняя длина трубы равна половине длины волны излучаемой частоты, наступает резонанс и открытый конец трубы излучает синфазно с передней стороной диффузора. При длинах волн, которые кратны 0,75 резонансной длины волны, наступает антирезонанс трубы и происходит снижение развиваемого ей звукового давления. В большинстве конструкций волновод имеет сложенную или свернутую форму, что и послужило поводом для названия.

Обычно волновод имеет прямоугольное сечение, приблизительно равное площади диффузора. Оно может быть

постоянным (рис. 4.8а) или увеличиваться по ходу лабиринта (рис. 4.8б). В этом случае лабиринт превращается в свернутый рупор.

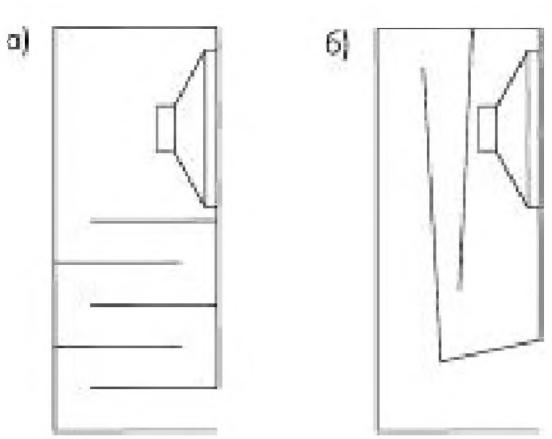


Рис. 4.8. Лабиринт:
а – постоянного сечения;
б – свернутый рупор

Достоинства лабиринта: высокий КПД, улучшенное воспроизведение низших частот. Основной недостаток – большие размеры. Последнее обстоятельство не имело значения, пока лабиринтные АС использовались в домашних аудиосистемах небольшой мощности с ограниченным диапазоном нижних частот (50–100 Гц). Но с появлением источников программ и усилителей с расширенным низкочастотным диапазоном они быстро сошли со сцены. Не последнюю роль сыграл в этом тот факт, что при расширении диапазона частот вниз длина лабиринта растет с устрашающей быстротой (зависимость-то обратно пропорциональная!). Однако субъективное качество звучания лабиринтных АС существенно выше, чем фазоинверторных. Объясняется это тем, что лабиринт имеет лучшие переходные характеристики, чем фазоинвертор, а практически симметричная нагрузка на диффузор способствует уменьшению искажений, вносимых головкой.

4.3.4. Закрытый корпус

Закрытый корпус (закрытый ящик, ЗЯ, Closed Box, Sealed Box) – это оформление второго порядка (рис. 4.9а). Он мало чувствителен к отклонениям характеристик, что наряду с другими достоинствами снискало ему определенную популярность среди любителей car audio. По сравнению с иными вариантами акустического оформления его объем минимален, а качество звучания наивысшее. Основные его достоинства – прекрасная переходная характеристика и отличное сопряжение с передаточной характеристикой салона автомобиля (представляющего собой ФНЧ вто-

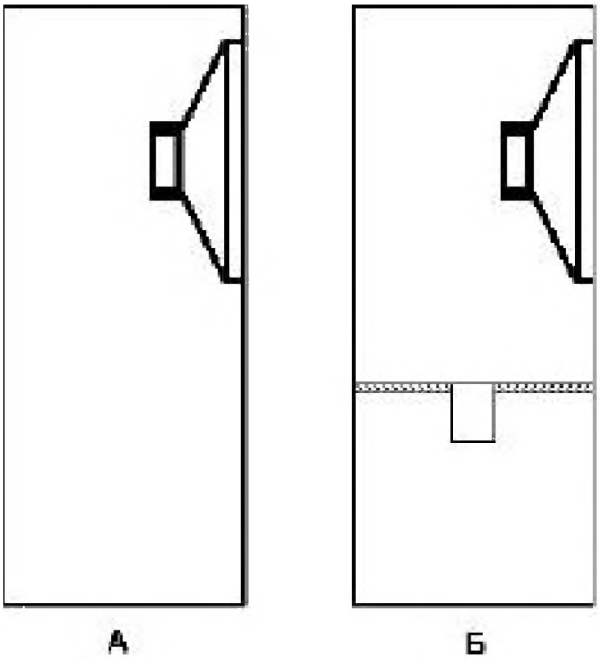


Рис. 4.9. Акустическое оформление: а – закрытый корпус; б –закрытый корпус с режекторной камерой

рого порядка). Это теоретически позволяет получить плоскую АЧХ. Недостаток – низкий КПД, что требует повышенной мощности усилителя, и повышенный уровень четных гармоник из-за несимметричной нагрузки диффузора [12].

Работа динамической головки в области основного механического резонанса оказывает значительное влияние на характер звучания акустической системы в целом. Резонанс должен быть эффективно подавлен, в противном случае звучание будет сопровождаться нежелательными призвуками (гулом, «бубнением»). Причем при избыточной добротности готовой акустической системы подавить его невозможно даже при использовании современных усилителей с высоким демпинг-фактором. В этом случае можно перейти к акустическим методам демпфирования.

В акустических системах первой отечественной стереофонической радиолы «Симфония» использовался низкодобротный режекторный фильтр (рис. 4.9б). Он представлял собой отдельный объем в нижней части корпуса с двумя отверстиями диаметрами 23 и 31 мм в горизонтальной перегородке. Частоты настройки составляли 50 и 100 Гц. Фильтр предназначался для частичного подавления 1-й и 2-й гармоник сетевой частоты лампового усилительного тракта, а также устранял неизбежный «горб» на АЧХ в области 60–80 Гц, характерный для обычных в то время высокодобротных динамиков ($Q_{ts} > 1$).

В современных акустических системах, однако, такая конструкция используется крайне редко. Динамические го-

ловки низкой добротности и высокая мощность усилителей позволяют обойтись без этих ухищрений. Тем не менее данный метод дает возможность использовать высокодобротные динамические головки в корпусах небольшого объема, что актуально именно для car audio. Это позволяет сохранить высокую чувствительность акустической системы и получить при этом гладкую АЧХ. Немаловажно и то, что размеры резонатора малы в сравнении с длиной волны действующих на него колебаний [130, 131].

4.3.5. Фазоинвертор

Сегодня без преувеличения можно сказать, что фазоинвертор получил наибольшее распространение в корпусных автомобильных (да и не только автомобильных) сабвуферах. Из всех возможных вариантов акустического оформления он выгодным образом сочетает в себе высокую эффективность с простотой и технологичностью изготовления и настройки. Поэтому фазоинверторы составляют большинство среди промышленных и любительских конструкций.

Фазоинвертор (ФИ, Vented Box, Ported Box, Bass Reflex) представляет собой отверстие или трубу определенного сечения и длины (рис. 4.10а). Конструктивное исполнение фазоинвертора может быть различным (отверстие в панели, щель, тоннель круглого или прямоугольного сечения), но принцип действия один и тот же: масса воздуха в объеме порта фазоинвертора ведет себя подобно диффузору динамика, являясь источником звуковых колебаний на частоте настройки [12, 119].

ФИ – оформление теоретически четвертого порядка (реально – от третьего до четвертого, в зависимости от исполнения и настройки). Поэтому даже с учетом передаточной характеристики салона плоская суммарная АЧХ недостижима. Достоинство – высокий КПД. Переходная характеристика несколько хуже, чем у ЗЯ. Основной недостаток – ниже частоты настройки фазоинвертора амплитуда колебаний диффузора ограничивается только жесткостью подвеса, поэтому возможно повреждение головки. Для предотвращения этого в тракте сигнала необходимо применять фильтр, срезающий инфранизкие частоты (subsonic filter).

Главное достоинство этого вида акустического оформления – в том, что относительно простыми средствами можно снизить нижнюю границу диапазона воспроизводимых частот. Ниже частоты резонанса отдача динамической головки падает, и эстафета переходит к фазоинвертору. Обычно его настраивают несколько ниже частоты резонанса головки, потому что полоса его рабочих частот достаточ-

но узкая, и при чрезмерно «низкой» настройке на АЧХ появится провал.

Для повышения эффективности сечение порта (отверстия фазоинвертора) должно быть сопоставимо с площадью диффузора головки. И тут проявляется главный недостаток фазоинвертора: с увеличением сечения порта драматически растет объем корпуса, необходимый для сохранения частоты настройки (как будет показано далее, частота настройки фазоинвертора зависит от объема корпуса гораздо сильнее, чем от площади отверстия). В домашней акустике «колоночка» размером со средний шкаф еще уместна, но в автомобиле – вряд ли.

Сохранить приемлемый объем корпуса и необходимую частоту настройки фазоинвертора можно, уменьшая сечение порта. Но на этом пути нас подстерегают сплошные засады. Во-первых, колебательная скорость воздуха в тоннеле малого сечения возрастает, что может привести к заметному на слух «астматическому сипению» фазоинвертора. Во-вторых, отдача тоннеля малого сечения тоже мала, и овчинка может не стоить выделки. Если же увеличить диаметр порта – длина тоннеля достигает фантастических величин, а она обычно ограничена размерами корпуса (хотя можно сделать трубу наподобие самоварной). Наконец, если удалось уместить в подходящем корпусе не слишком длинную трубу не самого малого сечения, то радоваться еще рано. Увеличение массы воздуха в длинном тоннеле большого сечения приводит к повышению добротности фазоинвертора,

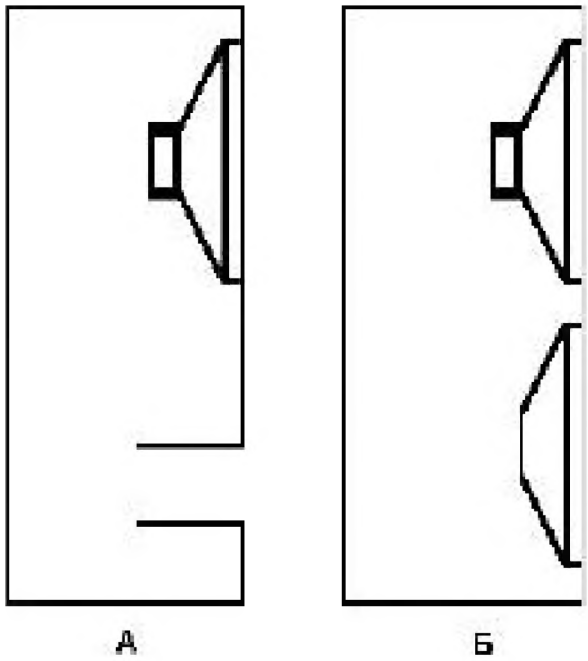


Рис. 4.10. Акустическое оформление: а – фазоинвертор; б – пассивный излучатель

и в результате собственные колебания большой массы воздуха в тоннеле могут затухать в течение 30–40 мс, порождая нежелательные призвуки (гул).

Ситуация ничуть не лучше, чем у Ильи Муромца. Куда ни пойдешь, ничего хорошего не жди. Причина же всех бед одна: в корпусе фиксированного объема воздействовать на частоту настройки фазоинвертора можно, только изменяя массу воздуха в тоннеле. И чем ниже должна быть частота, тем большая требуется масса воздуха. А поскольку плотность воздуха невелика, то и объем тоннеля получается значительным. Поэтому, несмотря на изобилие конструкций автомобильных сабвуферов с фазоинвертором, лишь немногие из них могут похвастаться выдающимися параметрами.

А если заменить массу воздуха сосредоточенной массой? Так появились системы с пассивным излучателем.

4.3.6. Пассивный излучатель

Пассивный излучатель (ПИ) – это разновидность ФИ, в котором масса воздуха в тоннеле заменена массой подвижной системы пассивного излучателя (рис. 4.10б). ПИ, как и фазоинвертор, – оформление теоретически четвертого порядка (реально – от третьего до четвертого, в зависимости от исполнения и настройки). В силу малой добротности ПИ переходная характеристика несколько лучше, чем у фазоинвертора.

Кстати, о терминологии. На заре отечественного автозвука какой-то не искушенный в технике деятель недоперевел английский термин passive radiator – «пассивный радиатор», и пошла гулять нелепица по Руси (и не только). Ведь radiator в точном переводе означает «излучатель», а заимствованное слово «радиатор» в русском языке давно уже получило вполне конкретное воплощение – чугунная батарея отопления или радиатор охлаждения двигателя. Между тем русский термин «пассивный излучатель» совершенно законно существует уже не один десяток лет – первые отечественные разработки в этой области относятся ко второй половине 50-х годов прошлого века, а сам принцип известен вообще с 1935 года! Но практическое применение идеи началось лишь в 70-х годах.

Пассивный излучатель дает ряд новых возможностей, и в первую очередь – простое управление частотой резонанса и добротностью, поэтому он перспективнее фазоинвертора. В отличие от фазоинвертора, частоту настройки ПИ можно выбрать в 2–3 раза ниже частоты резонанса основной головки, поскольку полосу рабочих частот пассивного излучателя можно сделать достаточно широкой.

Конструкция пассивного излучателя подобна конструкции обычной динамической головки, но без магнитной системы и звуковой катушки. Поскольку центрировать катушку в зазоре магнитной системы уже не нужно, то и центрирующая шайба не обязательна. Так появились пассивные излучатели с плоской алюминиевой диафрагмой, получившие распространение в малогабаритной домашней акустике. Обычно диафрагма «по совместительству» была шильдиком, на который наносился фирменный логотип или АЧХ системы, причем чаще всего она имела форму прямоугольника.

В немногочисленных пока автомобильных сабвуферах с пассивным излучателем используется более традиционная его форма – круглая. Наряду со специальными конструкциями в качестве пассивного излучателя нередко используют обычную динамическую головку без магнитной системы – это позволяет изготавливать пассивные излучатели на том же оборудовании, что и динамики, или использовать в качестве «сырья» бракованные экземпляры.

4.3.7. Акустическая нагрузка

Диффузор динамической головки в закрытом оформлении испытывает существенно разное сопротивление при движении вперед и назад. Асимметричность нагрузки является потенциальным источником нелинейных искажений. Поэтому еще в середине 70-х годов появились акустические системы, в конструкции которых этот недостаток устранялся введением дополнительной *акустической нагрузки* для передней поверхности диффузора. Аналогичные решения можно использовать и при ограничении амплитуды колебаний диффузора в системах двойного действия [85].

Акустическую нагрузку можно реализовать различными способами. В простейшем случае (рис. 4.11а) перед диффузором размещается отражающая поверхность (Reflex Body). Однако такое решение ухудшает чувствительность АС и ее АЧХ на средних частотах. В некоторых современных конструкциях для улучшения АЧХ и диаграммы направленности используется тело вращения чечевицеобразной формы (рис. 4.11б). С этой же целью можно использовать отражающую поверхность, расположенную под углом (рис. 4.11в). Клиновая нагрузка отчасти играет роль короткого рупора, что способствует акустическому усилению определенного диапазона частот. Как дальнейшее развитие этой идеи появились акустические системы с резонатором (рис. 4.11г). После этого оставалось сделать только один шаг к конструкции полосовых громкоговорителей.

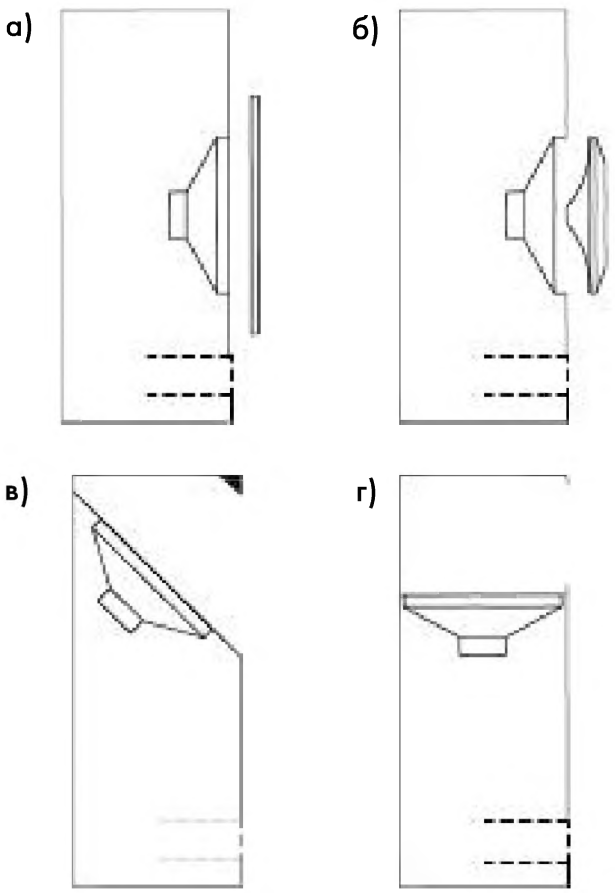


Рис. 4.11. Акустическая нагрузка:
а – отражательная панель;
б – «сурдинка»;
в – клиновая нагрузка;
г – резонатор

4.3.8. Полосовые громкоговорители

Общая черта всех конструкций полосовых громкоговорителей (bandpass) – наличие одной или нескольких *резонансных камер* и установка динамической головки внутри корпуса. Поскольку эти системы уже не являются системами прямого излучения, их расчет и изготовление весьма сложны. Достоинство полосового громкоговорителя – высокий КПД, переходные же и фазовые характеристики весьма посредственны и ухудшаются с ростом порядка. Для всех конструкций, кроме закрытого корпуса-резонатора, желательно применение фильтра инфранизких частот (как и для классического фазоинвертора).

Из-за сложности изготовления полосовых корпусов распространение получили в основном конструкции четвертого порядка (рис. 4.12а). Это двухкамерный корпус с установленной внутри динамической головкой. Одна камера герметически закрыта, и ее объем определяет два параметра – добротность и частоту резонанса динамической головки в этом оформлении. Вторая камера – резонатор, снабжена фазоинвертором, который и является единствен-

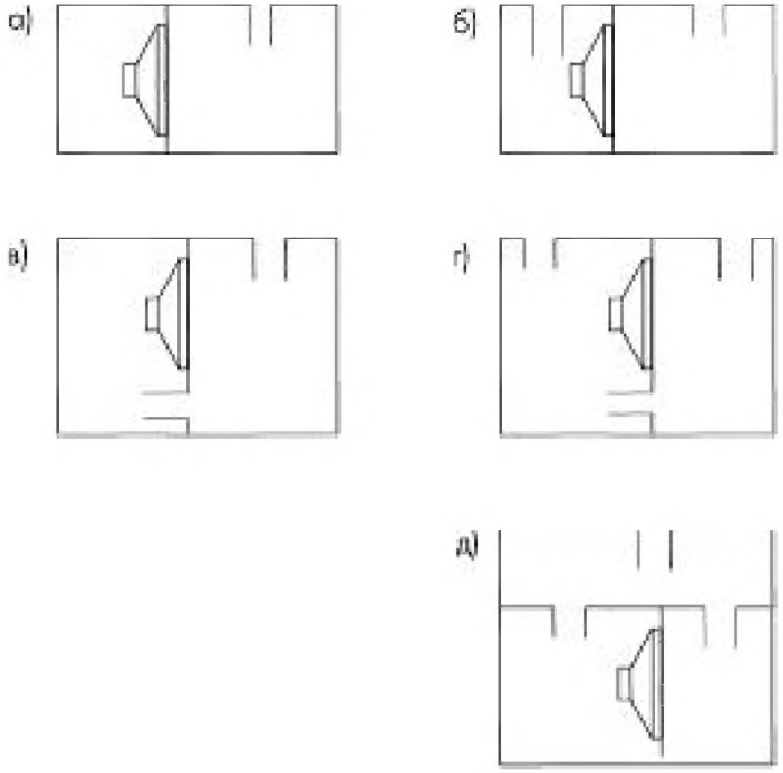


Рис. 4.12. Полосовые громкоговорители: а – закрытый корпус-резонатор; б – фазоинвертор двойного действия; в – фазоинвертор последовательного действия; г – фазоинвертор последовательного двойного действия; д – фазоинвертор-резонатор последовательного двойного действия

ным источником звука. Полосовые громкоговорители шестого (рис. 4.12б, в) и восьмого (рис. 4.12г, д) порядков встречаются реже.

Помимо рассмотренных конструкций полосовых громкоговорителей с одной динамической головкой, известны также АС, имеющие две головки (рис. 4.13). Конструкция получена объединением двух одинаковых полосовых систем. Одна из камер становится общей, ее объем при этом удваивается. На рис. 4.13а, б показаны два варианта оформления четвертого порядка, на рис. 4.13в – шестого.

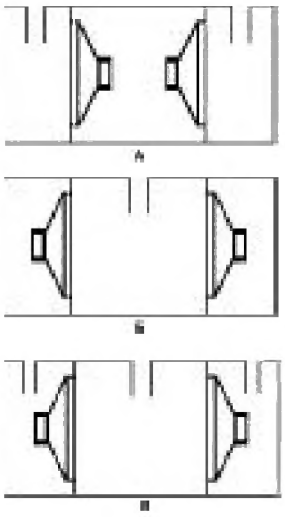


Рис. 4.13: а, б – варианты трехкамерного резонатора; в – трехкамерный фазоинвертор двойного действия

Одно из достоинств подобных конструкций состоит в том, что они не требуют специального монофонического канала усиления: каждую головку можно подключить к своему каналу стереофонического УМЗЧ.

4.3.9. Сдвоенные головки

Практически во всех рассмотренных конструкциях можно использовать сдвоенные динамические головки. Для этого однотипные головки устанавливаются одним из показанных на рис. 4.13 способов. Получившуюся конструкцию можно рассматривать как новую низкочастотную динамическую головку с совершенно другими свойствами.

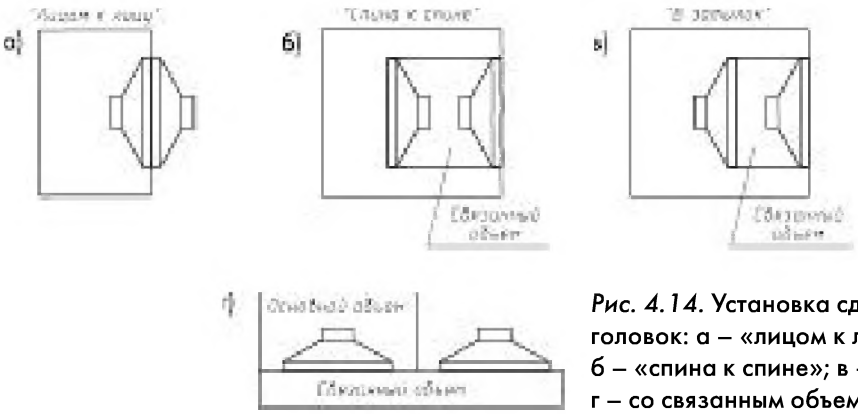


Рис. 4.14. Установка сдвоенных головок: а – «лицом к лицу»; б – «спина к спине»; в – «в затылок»; г – со связанным объемом

Теоретические значения полной добротности и частоты основного механического резонанса получившейся системы рассчитываются как среднее геометрическое от соответствующих величин исходных головок. Поскольку при сдваивании используются однотипные головки с достаточно близкими параметрами, можно считать, что они практически не изменятся. Однако заключенный между диффузорами головок связанный объем воздуха увеличивает эффективную массу подвижной системы, понижая частоту основного механического резонанса (для головок больших размеров до 80% от исходной).

Эквивалентный объем получившейся системы рассчитывается по следующей формуле:

$$V'_{ас} = \frac{V^1_{ас} \times V^2_{ас}}{V^1_{ас} + V^2_{ас}}.$$

Для однотипных головок он составляет, таким образом, приблизительно половину от исходного эквивалентного объема. Вследствие этого результирующая добротность АС

со сдвоенной головкой ниже, чем с одиночной головкой в том же оформлении.

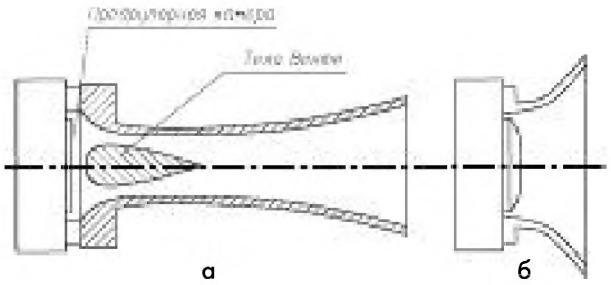
Чувствительность снижается приблизительно на 1,5 дБ. Поскольку при параллельном включении обмоток развиваемая усилителем мощность удваивается, снижение чувствительности не является серьезным недостатком, но требует применения усилителя, рассчитанного на нагрузку с низким импедансом. При последовательном соединении головок потребуется усилитель большей мощности.

4.3.10. Рупор и акустическая линза

Рупор является акустическим трансформатором, согласующим высокое механическое сопротивление подвижной системы головки с низким сопротивлением излучения. Эта мера значительно повышает КПД громкоговорителя. Поперечное сечение рупора возрастает от начала рупора (горла) к его устью. Основное достоинство рупора состоит в том, что уровень звукового давления убывает пропорционально первой степени расстояния, а не его квадрату [5, 8].

Существуют два варианта исполнения рупора – *узкогорлый*, площадь входного сечения которого значительно меньше площади диффузора, и *широкогорлый*, площадь сечения которого сопоставима с площадью диффузора. Узкогорлый рупор применяется для высокочастотных излучателей, а широкогорлый – для низкочастотных и среднечастотных. В конструкции узкогорлого рупора обычно присутствует фазовыравнивающий вкладыш (тело Венте).

Рис. 4.15. Рупор:
а – узкогорлый;
б – широкогорлый



Рупор подобен фильтру высоких частот, и теоретическая нижняя воспроизводимая частота F_c определяется периметром устья P:

$$F_c = \frac{C_0}{P},$$

где F_c – нижняя воспроизводимая частота (Гц);
C_0 – скорость звука (340 м/с);
P – периметр устья (м).

С этим связан основной недостаток рупора – значительные размеры, что ограничивает его применение в качестве низкочастотного акустического оформления. Поэтому для низкочастотных головок обычно используется *укороченный широкогорлый рупор*, называемый также направляющим. Реальный рупор, в отличие от идеального, обладает дополнительными искажениями АЧХ вблизи нижней граничной частоты F_c, поэтому рекомендуется использовать его на несколько более высоких частотах.

Поскольку направленность излучения на высших частотах увеличивается, для расширения диаграммы направленности используются два способа: секционирование рупора и акустическая линза.

Секционированный рупор можно рассматривать как совокупность нескольких рупоров, акустические оси которых развернуты в пространстве. За счет этого можно добиться расширения диаграммы направленности в нужной плоскости. Расширение рупора может быть обеспечено за счет кривизны как одной, так и нескольких поверхностей, при этом конструкция рупора может быть и несимметричной.

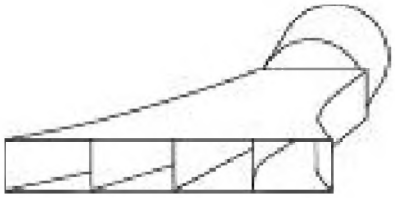


Рис. 4.16. Секционированный рупор

Акустическая рассеивающая линза применяется в оформлении рупорных, а иногда и обычных головок прямого излучения для расширения диаграммы направленности. В некоторых автомобильных широкополосных головках она встроена в защитную сетку.

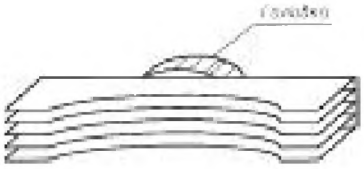


Рис. 4.17. Акустическая линза

4.4. ВЫБОР ГОЛОВКИ И РАСЧЕТ АКУСТИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ

Тип необходимого акустического оформления напрямую связан с характеристиками динамической головки, и прежде всего – с ее полной добротностью Q_{ts}. Низкой считается полная добротность головки меньше 0,3–0,35; высо-

кой – больше 0,7–0,8. Зная полную добротность динамика, можно сделать вывод о необходимом для него акустическом оформлении. Для работы в закрытом корпусе пригодны головки с добротностью не более 0,8, для работы в фазоинверторе – головки с добротностью менее 0,5. Головки с полной добротностью более 1 предназначены для работы исключительно в открытом оформлении, включая лабиринт.

Оценить пригодность головки для работы в качестве *автомобильного* сабвуфера (с учетом передаточной характеристики салона) можно по эмпирическим значениям *энергетической полосы* F_s/Q_{ts}. Естественно, резонансная частота должна быть намного ниже 50 Гц, иначе это уже не сабвуфер. Если это отношение составляет 50 или меньше, излучатель предназначен для работы в закрытом корпусе, если 100 и больше – в фазоинверторе. Если же значение находится в промежутке между 50 и 100, то тут нужно внимательно смотреть на другие параметры – к какому типу акустического оформления динамик тяготеет. Лучше всего для решения этого вопроса использовать специальные компьютерные программы, способные смоделировать в графическом виде акустическую отдачу такого динамика в разном акустическом оформлении с учетом передаточной характеристики салона. С этих же позиций для работы в акустически разгруженном (открытом) оформлении надо выбирать головку с высокой полной добротностью (не меньше 0,6) и резонансной частотой 40–50 Гц. Правда, в этом случае приходится учитывать и другие факторы.

Кроме того, необходимо знать эквивалентный объем головки V_{as} и ее собственную резонансную частоту в открытом пространстве F_s. Она определяет нижнюю границу полосы воспроизводимых частот. Все виды акустического оформления, кроме открытого, повышают частоту резонанса и полную добротность головки. Зная эквивалентный объем, можно оценить необходимый объем корпуса исходя из допустимой степени повышения этих параметров.

В подавляющем большинстве автомобильных систем для установки среднечастотных и широкополосных головок используются различные варианты открытого акустического оформления, обычно встроенного исполнения.

Второе место в «рейтинге популярности» сегодня разделили закрытый корпус и фазоинвертор, применяемые как для мидбасового звена, так и в сабвуферах. Кроме того, ЗЯ сравнительно небольшого объема применяется и при оформлении среднечастотных и широкополосных головок, установленных совместно с низкочастотными. Изоляция тыльной стороны диффузоров от излучения мощной НЧ головки устраняет перегрузку их подвижной системы и интермодуляционные искажения.

Такие «экзотические» виды акустического оформления, как пассивный излучатель и полосовой громкоговоритель 4–8 порядков, применяются исключительно в сабвуферах, и то не часто. Сегодня без преувеличения можно сказать, что в автомобильных сабвуферах куда ни посмотри – везде увидишь фазоинвертор. Из всех возможных вариантов акустического оформления он выгодным образом сочетает в себе высокую эффективность с простотой и технологичностью изготовления и настройки. Оно позволяет «малой кровью» добиться убедительного баса, даже не полагаясь особо на передаточную характеристику салона. К тому же избыточный басовый потенциал «карман не тянет» – убрать «излишки» баса намного легче, чем восполнить его нехватку. Однако за эффективность такого акустического оформления приходится платить увеличением объема корпуса. В итоге, несмотря на изобилие конструкций автомобильных сабвуферов с фазоинвертором, лишь немногие из них могут похвастаться приемлемыми размерами. Поэтому если аудиосистема предназначена для прослушивания музыки в салоне, а не для озвучивания улицы, то выгоднее всего использовать закрытый корпус.

С распространением ПО для расчета акустического оформления сложность проектирования уже не является сдерживающим фактором, но, поскольку число «степеней свободы» растет, для акустического оформления высокого порядка необходимы обязательный контроль параметров динамических головок и настройка готового изделия. Поэтому наибольшее распространение в любительских конструкциях получили ЗЯ и ФИ, «снисходительные» к точности исходных величин и качеству исполнения и легко поддающиеся настройке. По той же причине полосовые излучатели в любительских установках встречаются, как правило, в виде готовых изделий с порядком не выше четвертого. Более высокий порядок – редкость даже среди промышленных и профессиональных конструкций.

Перечисленными видами оформления практически и ограничиваются в установке автомобильных акустических систем. Акустический лабиринт и рупор – ввиду значительных размеров большая редкость даже в «домашней» акустике, а применить их в автомобиле практически невозможно. Исключение (пока крайне редкое) составляют только рупорные «пищалки».

При расчете акустического оформления рекомендуется ориентироваться на *результирующую добротность* Q_{tc} в диапазоне 0,5–1,0.

Этот параметр влияет не только на АЧХ, но и на переходные характеристики АС и в значительной степени опре-

деляет характер звучания. При добротности 0,5 достигается наилучшая переходная характеристика, при добротности 0,707 – наиболее гладкая АЧХ. Аудиофильский (четкий и «сухой») бас получается при добротности 0,5...0,6. Нейтральной и «всеядной» считается добротность 0,7...0,75 – такая акустика подходит для музыки различных жанров. При добротности 0,85...0,9 бас становится рельефным и упругим. При добротности 1,0 на частоте среза появляется «горбик» амплитудой 1,5 дБ, на слух воспринимаемый как «хлесткий» звук. При дальнейшем росте добротности на АЧХ появляется ярко выраженный резонансный «горб», дающий характерный «гудящий» призвук. Впрочем, в некоторых случаях с учетом характера музыкального материала и передаточной характеристики салона это может оказаться полезным. Вот почему в установочных студиях всегда интересуются музыкальными предпочтениями клиентов: исходя из этого, выбирается добротность готовой системы.

Изготовление акустического оформления описано в главе 9.

4.4.1. Передаточная характеристика салона

Салон автомобиля ввиду малых размеров оказывает существенное влияние на воспроизведение звука, особенно в области низших частот. Для этой области можно выделить две особенности: локальные дефекты АЧХ, вызванные резонансными явлениями, и подъем АЧХ на низших частотах. Воздействие указанных факторов в совокупности называется передаточной характеристикой салона [31]. Поэтому автомобильный сабвуфер вне машины нормально звучать не будет, так же как и «домашний» – в машине.

На рисунке приведены *обобщенные передаточные характеристики салона* легковых автомобилей. Индивидуальные передаточные характеристики для некоторых типов автомобилей приведены в **приложении 1**. Они были получены при установке эталонной АС в районе передней двери. Для частот выше 150–200 Гц поведение АЧХ определяется свойствами конкретного салона и особенностями установки. Общие тенденции сохраняются, но характеристики будут весьма индивидуальными, поэтому правую часть графиков следует только принимать к сведению.

Для сигналов тех частот, длина волны которых намного меньше максимального размера салона (как правило – его длины), звуковое давление определяется колебательной скоростью диффузора, и теоретически его можно считать постоянным (волновой режим излучения). Возникающие

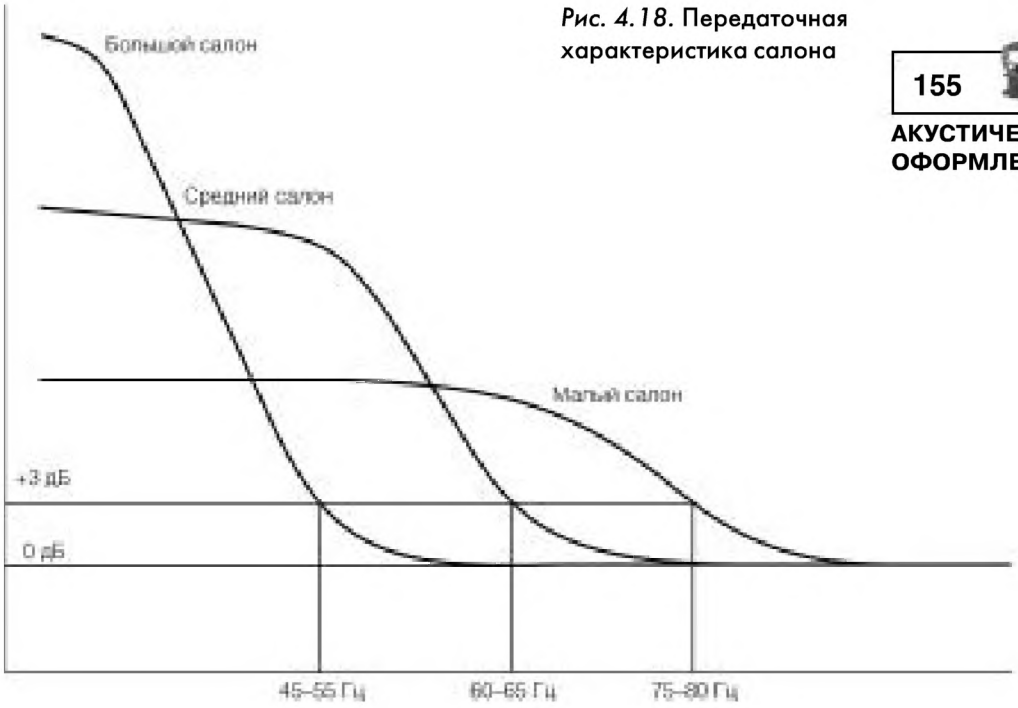


Рис. 4.18. Передаточная характеристика салона

на практике локальные дефекты АЧХ – результат интерференции стоячих волн, о чем мы поговорим позже.

С понижением частоты сигнала длина звуковой волны становится соизмеримой с размерами салона, волновой режим работы громкоговорителя сменяется компрессионным, и начинается подъем частотной характеристики. Для сигналов самых низких частот звуковое давление изменяется в пределах салона практически синфазно (компрессионный режим излучения). В пределах *компрессионной зоны* звуковое давление определяется амплитудой колебаний диффузора и теоретически растет обратно пропорционально частоте с крутизной 12 дБ/окт. В первом приближении (без учета потерь) можно считать, что частота, на которой подъем АЧХ составляет 3 дБ, равна:

$$F_3 = \frac{C_0}{2L_{max}} = \frac{170}{L_{max}},$$

где F_3 – граничная частота (Гц);
C_0 – скорость звука (340 м/с);
L_{max} – максимальный размер салона (м).

Частота определяется максимальным размером салона (в легковом автомобиле это длина, а в кабине грузовика – ширина). Таким образом, для «Оки» эта частота равна примерно 80 Гц, для «классики» и «зубил» 65–70 Гц, для крупных кузовов «универсал» 55–65 Гц.

Однако на практике подъем АЧХ с крутизной 12 дБ/окт происходит в диапазоне примерно одной октавы, после чего подъем замедляется. Обычно подъем составляет 12–15 дБ и весьма индивидуален. Свой вклад в итоговую АЧХ салона вносят утечки воздуха и конечная жесткость панелей.

В салоне малого размера подъем частотной характеристики начинается рано, но рано и заканчивается – виновата малая жесткость кузовных панелей. Он начинают «играть», переизлучая энергию звуковых колебаний наружу. Здесь может помочь демпфирование панелей тяжелыми и вязкими материалами. Для больших салонов подъем АЧХ заканчивается на более низких частотах. И дело здесь не в жесткости кузовных панелей (по размеру они намного больше, и жесткость их может быть даже ниже), а в том, что в салоне большого объема относительное изменение давления меньше, соответственно, меньше и сила, воздействующая на панели. Влияние утечек также снижается.

Но это уже тонкости, существенные только при расчете аудиосистем с высокой громкостью звучания и SPL-монстров. Для участка от 50 до 80 Гц кривые для большинства легковых автомобилей практически совпадают, и в расчетах можно принимать среднее значение F_3 = 63...65 Гц.

На частотах, где работает волновой механизм излучения, благодаря наличию в салоне относительно параллельных поверхностей (боковые стенки, пол и потолок) создаются условия для возникновения стоячих волн. Практическое значение имеют только колебания на основной частоте и субгармониках (частотах, которые составляют целую часть частоты основного колебания), интенсивность остальных составляющих весьма мала. Реально из-за наличия препятствий в виде сидений и пассажиров и интерференции большинство резонансов подавляется, а явно выражен только *поперечный* или *вертикальный резонанс салона*. Он проявляется на тех частотах, где ширина (высота) салона соответствует половине длины волны (для большинства легковых автомобилей это 120–150 Гц). На частоте примерно вдвое большей наблюдается антирезонанс салона, вызванный сложением прямой и отраженной волны. Наибольшей неравномерностью АЧХ в этой области обладает кузов, ширина и высота которого близки по величине.

На слух резонанс салона проявляется в виде неприятного гула и «бубнения». В первом приближении можно считать, что частота резонанса салона равна

$$F_r = \frac{C_0}{2W} = \frac{170}{W},$$

где F_r – частота резонанса (Гц);

C_0 – скорость звука (340 м/с);
W – ширина (высота) салона (м).

Вредное влияние резонанса может быть снижено за счет применения мягкой облицовки дверей и потолка, но полностью подавить его возможно только путем коррекции АЧХ тракта. Например, замена штатных гладких дверных облицовок ВАЗ-2107 на мягкие велюровые уменьшила «горб» на АЧХ с 8 дБ до 6 дБ, а частота резонанса за счет снижения добротности колебательной системы снизилась со 140 Гц до 130 Гц. Кроме того, характер резонансного «горба» и антирезонансной «ямы» зависит от направления излучения НЧ-динамика.

4.4.2. Расчет открытого оформления

Расчет обычно не производят, уповая на универсальность динамических головок и установку в штатные места. Однако при выборе головок под конкретный вариант открытого оформления тем не менее стоит учесть их характеристики и произвести несложную проверку.

Открытое оформление автомобильных АС создается, как правило, панелями салона. Характеристики их далеки от необходимых, изменить их практически невозможно. Поэтому приходится заранее мириться с ухудшением АЧХ системы в области низких частот. Площадь идеального акустического экрана (то есть такого, который не влияет на воспроизведение частот выше резонансной) составляет [12]:

$$S = 0{,}125\left(\frac{C_0}{F_s Q_{ts}}\right)^2 = 14450\left(\frac{1}{F_s Q_{ts}}\right)^2,$$

где C_0 – скорость звука (340 м/с);
F_s – частота основного резонанса головки (Гц);
Q_{ts} – полная добротность головки.

Поскольку площадь реального акустического экрана меньше идеальной, при установке динамических головок в такое оформление на нижней частоте воспроизводимого диапазона появится спад АЧХ [12]:

$$N = 10\lg\frac{S'}{S}\text{(дБ)},$$

где S' – фактическая площадь экрана.

Если взять F_s = 60 Гц, Q_{ts} = 0,8 (типичные значения для «блинов»), площадь идеального экрана составит 6,2 м^2. Площадь задней полки в «четверке» раз в шесть меньше, поэтому спад АЧХ на частоте 60 Гц составит порядка 8 дБ. Даже с учетом передаточной характеристики салона воспроизведение частот ниже 100 Гц будет заметно ослаблено [9, 85].

Акустическое оформление «открытый корпус» эквивалентно плоскому экрану, если суммарная площадь всех поверхностей корпуса (кроме отсутствующей задней стенки) равна площади экрана, а глубина корпуса не превышает $^1/_8$ наибольшей волны. Корпус без задней стенки представляет собой резонатор Гельмгольца, частота настройки которого составляет [150]:

$$F_b = 5460\frac{\sqrt[4]{S}}{\sqrt{V}},$$

где S – площадь излучения, то есть отсутствующей стенки (см^2);

V – объем корпуса (см^3).

Частота настройки открытого корпуса должна в 1,5–2 раза превышать резонансную частоту головки, в противном случае возрастает неравномерность АЧХ.

Эта же формула пригодна для расчета открытых резонаторных камер или отражающей поверхности акустически нагруженного оформления (рис. 4.11). В последнем случае в формулу нужно подставлять объем под отражающей поверхностью, а площадь излучения будет произведением периметра этой поверхности на высоту ее установки.

4.4.3. Расчет лабиринта

Частота настройки лабиринта, при которой его средняя длина равна половине длины волны излучаемой частоты, определяется по формуле:

$$F = \frac{170}{L},$$

где F – частота настройки (Гц);

L – длина лабиринта (м).

При этом наступает резонанс трубы и ее открытый конец излучает синфазно с передней стороной диффузора. При длинах волн, которые кратны 0,75 резонансной длины волны, наступает антирезонанс трубы и происходит снижение развиваемого ей звукового давления. Обычно частоту антирезонанса совмещают с частотой основного резонанса головки F_s, что приводит к подавлению резонансного пика и позволяет расширить вниз полосу воспроизводимых частот (до $0{,}75F_s$). С учетом этого формула для определения длины лабиринта приобретает следующий вид:

$$L = \frac{225}{F_s},$$

где L – длина лабиринта (м);

F_s – частота резонанса головки (Гц).

Площадь сечения лабиринта должна быть примерно равна площади диффузора головки.

4.4.4. Расчет закрытого корпуса

Частота резонанса и полная добротность головки при установке в закрытый корпус объемом V_c, соизмеримый с эквивалентным V_{as}, увеличиваются:

$$F_c = F_s\sqrt{1+\frac{V_{as}}{V_c}}$$

$$Q_c = Q_s\sqrt{1+\frac{V_{as}}{V_c}}.$$

Таким образом, при установке головки в ЗЯ с объемом, равным эквивалентному, ее резонансная частота и полная добротность увеличиваются в 1,41 раза, в корпусе объемом $0{,}5V_{as}$ – в 1,73 раза и т. д. Именно это обстоятельство ограничивает применение головок от «домашних» АС в автомобиле, поскольку в большинстве случаев они требуют значительного объема корпуса. Однако характеристики корпуса можно скорректировать, если заполнить его звукопоглотителем. Введение значительных количеств звукопоглотителя (ваты, синтепона) позволяет несколько снизить частоту резонанса и результирующую добротность АС в закрытом корпусе. Большинство источников рекомендует плотность звукопоглотителя порядка 25–30 г на литр объема корпуса.

В некоторых случаях головки, предназначенные для работы в открытом оформлении, по конструктивным соображениям приходится устанавливать в закрытый корпус. Объем его должен быть таким, чтобы частота резонанса и полная добротность возросли незначительно. Если неизвестен эквивалентный объем головки (случай на практике обычный), необходимый объем корпуса можно приближенно оценить по следующей эмпирической формуле [150]:

$$V_c = 0{,}125D^2,$$

где D – диаметр диффузора (см);
V_c – объем корпуса (л).

4.4.5. Расчет акустического режекторного фильтра

Акустика – одна из прикладных дисциплин, где влияние резонанса особенно ощутимо. С нежелательными резонансами приходится бороться, полезные нужно использовать. В электроакустических преобразователях широко ис-

пользуются акустические колебательные системы, элементы которых представляют собой газообразную среду. С их помощью можно выделять или подавлять определенные участки звукового диапазона частот [130, 131].

Самый наглядный пример акустического «усилителя» – фазоинвертор акустической системы, представляющий собой резонатор Гельмгольца, возбуждаемый «изнутри». Если резонатор Гельмгольца возбуждать снаружи, он становится режекторным (подавляющим) фильтром, «отсасывающим» энергию внешних колебаний. Глубину режекции можно увеличить, увеличив потери в резонаторе при помощи звукопоглощающего материала.

В акустических системах первой отечественной стереофонической радиолы «Симфония» (еще ламповой!) в качестве низкодобротного двухчастотного режекторного фильтра использовался резонатор Гельмгольца. Однако в конструкции современных акустических систем этот метод практически не применяется, поскольку динамические головки низкой добротности и высокая мощность усилителей позволяют обойтись без акустических изысков. Все же среди современных конструкций удалось найти один пример – автомобильный сабвуфер Pioneer TS-WX30. В нем режекторный фильтр предназначен для подавления струй-

Рис. 4.19. Режекторный фильтр сабвуфера Pioneer TS-WX30

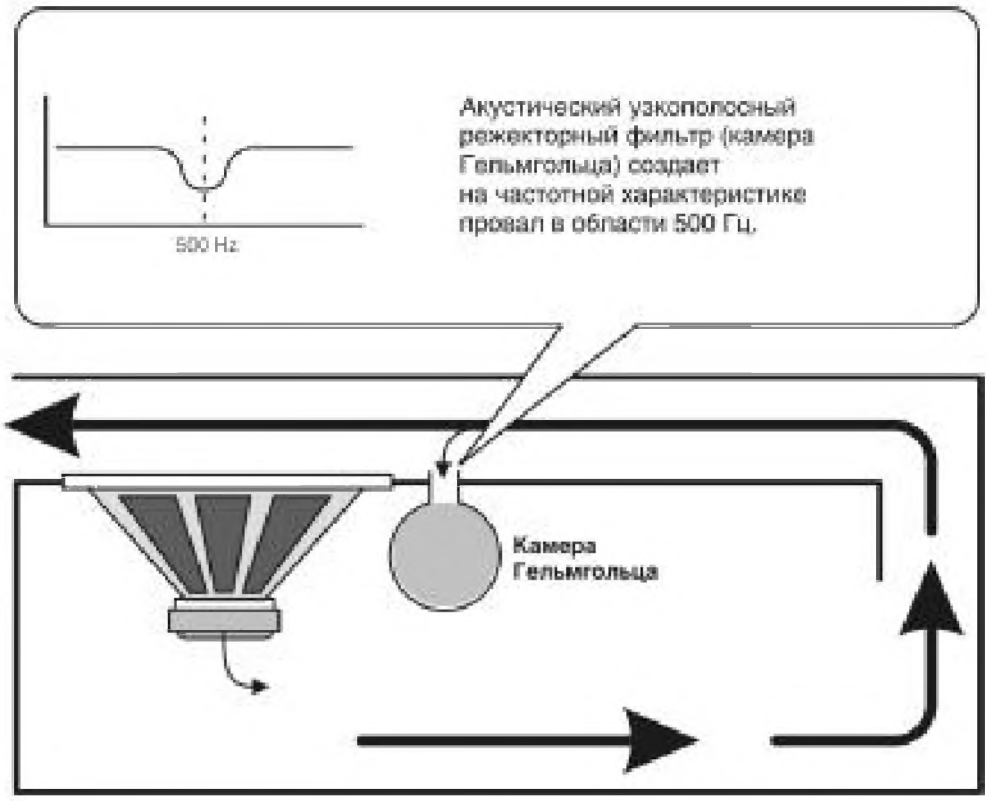


Рис. 4.20. Сабвуфер Pioneer TS-WX30

ных шумов щелевого порта. Конструкция, надо сказать, весьма оригинальная [130].

Резонатор Гельмгольца представляет собой сосуд с открытой горловиной. Воздух в горловине является колеблющейся массой, а объем воздуха в сосуде играет роль упругого элемента. Разумеется, такое разделение справедливо лишь приближенно, так как некоторая часть воздуха в полости обладает инерционным сопротивлением. Однако при достаточно большой величине отношения площади отверстия к площади сечения полости точность такого приближения вполне удовлетворительна. Основная часть кинетической энергии колебаний оказывается сосредоточенной в горле резонатора, где колебательная скорость частиц воздуха имеет наибольшую величину.

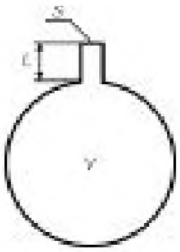


Рис. 4.21. Резонатор Гельмгольца

Собственная частота резонатора Гельмгольца равна:

$$F = \frac{C_0}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL}} = 54{,}6\sqrt{\frac{S}{VL}},$$

где F – частота, Гц;
C_0 – скорость звука в воздухе (340 м/с);
S – сечение отверстия, м^2;
L – длина отверстия, м;
V – объем резонатора, м^3.

Например, для сосуда объемом 1 л с горловиной длиной 1 см и сечением 1 см^2 частота резонанса составит примерно 170 Гц. Обратите внимание, что длина волны для этой частоты составляет около 2 м, что значительно больше характерных размеров резонатора. Следовательно, не может быть и речи о стоячей акустической волне в самом резонаторе.

Если выразить площадь отверстия через диаметр, раскрыть радикалы и сократить, получим выражение для определения диаметра отверстия:

$$d = \frac{4F}{C_0}\sqrt{\pi VL} = 0{,}02F\sqrt{VL}.$$

Методика расчета режекторного фильтра предельно проста. Сначала рассчитываем или измеряем частоту резонанса головки в закрытом корпусе заданного объема V_c. Затем рассчитываем на эту частоту резонатор Гельмгольца.

Для расчета частоты резонанса головки в корпусе заданного объема можно воспользоваться приведенной выше формулой:

$$F_c = F_s\sqrt{1+\frac{V_{as}}{V_c}}.$$

Очевидно, что объем камеры резонатора влияет на степень режекции, но законченной методики расчета в моем распоряжении пока нет. Сообразуясь со здравым смыслом, примем, что для эффективного поглощения объем режекторной камеры должен составлять от 10 до 30% объема основной камеры.

Теперь рассчитываем диаметр отверстия. При малом объеме камеры диаметр отверстия также невелик – миллиметры. Очевидно, что такой «дырочки» совершенно недостаточно для пожирания серьезного резонанса, аппетит здесь нужен побольше, и количество отверстий необходимо увеличить. Насколько? У меня в распоряжении только голая эмпирика. Из опыта изготовления панелей акустического сопротивления (ПАС, aperiodic membrane) известно, что суммарная площадь отверстий должна быть того же порядка, что и площадь диффузора. Здесь несколько иная ситуация, но все тот же здравый смысл подсказывает, что суммарная площадь отверстий должна составлять хотя бы 10% от площади диффузора. В то же время отверстий не должно быть слишком много, иначе нарушатся условия работы резонатора.

Допущения допущениями, но предложенная методика расчета была проверена на макетных вариантах АС. Полу-

ченные результаты позволили реализовать совершенно фантастический проект: установку «блинов» с V_{as} = 40 л в корпус объемом 8 л. Для такого корпуса расчетные характеристики F_c = 97 Гц, Q_{tc} = 1,47. На редкость отвратительно, не так ли? А с резонатором Гельмгольца замеры показали F_c = 55 Гц, Q_{tc} = 0,85 – почти вдвое ниже, чем следовало из расчета классического закрытого корпуса такого объема! Воспроизведение басового диапазона великолепно – даже без сабвуфера «сносит крышу». Описание конструкции приведено в главе 9.

Кстати, о «крыше». Череп, как и любая замкнутая полость с отверстием, тоже является резонатором. По некоторым данным, резонансной областью для черепа являются частоты 20–25 Гц. Как известно, облучение человека звуковыми колебаниями частотой 25 Гц в течение 30 минут при определенной интенсивности источника вызывает эпилептический припадок... Так что поаккуратнее с сабвуферами!

4.4.6. Расчет фазоинвертора

Фазоинвертор представляет собой резонатор Гельмгольца, поэтому для расчета фазоинвертора в виде отверстия в панели (без тоннеля) можно воспользоваться уже приводившейся приближенной формулой [150]:

$$F_b = 5460\frac{\sqrt[4]{S_b}}{\sqrt{V_c}},$$

где S_b – площадь отверстия (см^2);
V_c – объем корпуса (см^3).

Из этой формулы видно, что частота настройки фазоинвертора зависит от объема корпуса гораздо сильнее, чем от площади отверстия. Некоторое влияние на частоту настройки фазоинвертора оказывают соотношение размеров отверстия и его форма. При переходе от отверстия круглой или квадратной формы к прямоугольному (при сохранении площади) частота настройки фазоинвертора возрастает на 6–12%.

Недостаток фазоинвертора без тоннеля заключается в том, что для повышения эффективности площадь отверстия ФИ должна быть сопоставима с площадью диффузора головки. Объем корпуса при этом получается достаточно большим, что не всегда удобно. Сохранить частоту настройки фазоинвертора и уменьшить необходимый объем корпуса можно, уменьшая сечение тоннеля и увеличивая его длину. В этом случае частота настройки описывается следующей формулой [150]:

$$F_b = 5460\sqrt{\frac{S_b k^{0.12}}{V_c(L + S_b^{0.5})}}$$

где S_b – площадь отверстия (см^2);
V_c – объем корпуса (см^3);
L – толщина панели или длина тоннеля (см);
k – соотношение сторон отверстия.

Длина прохода не должна превышать 0,1 длины волны, соответствующей частоте настройки фазоинвертора:

$$L \le \frac{34}{F_b},$$

где L – длина тоннеля (м);
F_b – частота настройки фазоинвертора (Гц).

Экспериментальным путем установлено, что отверстие обеспечивает большую отдачу в области НЧ, щель – лучшее демпфирование резонанса подвижной системы, а тоннель – более низкую граничную частоту АС. В некоторых случаях по соображениям компоновки бывает удобно увеличить число портов фазоинвертора. Суммарная площадь их должна равняться площади сечения, вычисленной для единственного порта. Длина же будет несколько больше расчетной, поскольку с увеличением числа тоннелей растут и потери в них.

При настройке фазоинвертора на частоту основного резонанса головки F_s снижаются нелинейные искажения. При настройке на более низкую частоту (вплоть до $0{,}7F_s$) расширяется диапазон воспроизводимых частот. Увеличение массы воздуха в тоннеле приводит к повышению добротности фазоинвертора и увеличению отдачи. Однако следует иметь в виду, что переходные характеристики фазоинверторов с ростом добротности ухудшаются. Собственные колебания большой массы воздуха в тоннеле могут затухать в течение 30–40 мс, что порождает нежелательные призвуки. Колебательная скорость воздуха в тоннеле при малом его сечении возрастает, что приводит к заметному на слух «шипению».

В ряде случаев щелевой фазоинвертор оказывается выгоднее «просто трубы». И дело не столько в площади его сечения, сколько в периметре этого сечения. Например, круглый порт диаметром 10 см имеет сечение 78 см^2, а периметр сечения – 31 см. Прямоугольный порт 25,5 × 3 см при той же площади имеет периметр уже 57 см – почти в два раза больше. Периметр порта определяет протяженность пограничного слоя воздуха, контактирующего со стенками и демпфирующего колебания массы воздуха в трубе. Выше демпфирование – ниже добротность порта, лучше импульсные

характеристики, бас четкий, не затянутый. Благодаря низкой добротности и «дыхание» фазоинвертора такого сечения не будет астматически сиплым, и длина трубы не заставит сворачивать ее на манер самоварной. Да и конструктивно щелевой фазоинвертор в виде укороченной перегородки отлично вписывается в корпус с плоскими стенками.

Точный расчет фазоинвертора с учетом добротности примененной динамической головки, числа и формы портов лучше произвести при помощи специальных программ расчета. Практика показывает, что эти программы несколько завышают объем корпуса, поэтому система получается недодемпфированной и звучание приобретает «затянутый» характер.

Для получения «четкого» баса объем корпуса следует выбрать таким, чтобы результирующая добротность АС в ЗЯ этого объема составляла 0,63–0,65 (см. раздел 4.4.4.). После этого можно использовать программу. Если такой возможности нет, расчет фазоинвертора можно произвести вручную. Однако следует иметь в виду, что передаточную характеристику салона в этом случае придется учитывать отдельно.

Для расчета можно использовать приведенную ранее формулу, учитывающую соотношение сторон отверстия. Для отверстий круглого или квадратного сечения, наиболее распространенных на практике, ее можно упростить. Если привести размерность к системе СИ, формула примет следующий вид:

$$\frac{L_v}{S_v} = \frac{3097}{V_b F_b^2} - \frac{1}{\sqrt{S_v}},$$

где L_v – длина тоннеля, м;
S_v – площадь сечения тоннеля, м^2;
V_b – объем корпуса, м^3;
F_b – частота настройки ФИ, Гц.

Для прикидочных расчетов (поместится ли тоннель в габаритах АС) последним членом выражения можно пренебречь, длина тоннеля в этом случае будет завышена на 20–30%. Формула примет следующий вид (размерность та же):

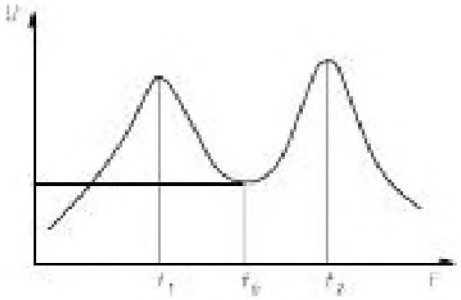
$$L_v = \frac{3097 S_v}{V_b F_b^2}.$$

Если полученная величина неприемлема, можно выбрать другие начальные условия и повторить расчет. Необходимо учитывать, что вход тоннеля должен быть удален от внутренней стенки корпуса на расстояние, не меньшее его диаметра. Если труба фазоинвертора не помещается в кор-

пусе, ее можно частично вывести наружу или использовать трубу изогнутой формы. В этом случае в расчете будет фигурировать ее средняя длина. Кроме того, объем трубы при расчете не входит в объем корпуса, и его нужно учитывать отдельно.

Окончательно настройка фазоинвертора производится изменением длины тоннеля или площади сечения отверстия (вкладышами и заслонками). Контролировать частоту настройки фазоинвертора лучше всего путем измерения кривой импеданса головки (рис. 4.18.). Для фазоинвертора Z-кривая имеет характерный двугорбый вид, ее минимум соответствует частоте настройки фазоинвертора F_b. При добротности фазоинвертора более 10 пики на частотах F_1 и F_2 имеют приблизительно одинаковую величину [12].

Рис. 4.22. Z-характеристика фазоинвертора



Другой, весьма удобный на практике способ контроля частоты настройки – визуальный. На частоте настройки фазоинвертора амплитуда колебаний диффузора минимальна, а практически все излучение создается фазоинвертором. Медленно изменяя частоту сигнала, поданного на АС, находят момент кажущейся «остановки» диффузора и определяют значение частоты по шкале генератора (частотомера).

4.4.7. Расчет пассивного излучателя

Большие перспективы в любительских установках у пассивного излучателя. В ряде случаев он может оказаться предпочтительней фазоинвертора. Для устранения шума воздуха в тоннеле фазоинвертора его сечение приходится значительно увеличивать, при этом длина тоннеля может превысить размеры корпуса. В этом случае удобнее перейти к использованию пассивного излучателя. К тому же отпадают и конструктивные проблемы, связанные с оформлением порта, – поиски подходящей трубы, заделка, эстетика...

В отличие от фазоинвертора, частота настройки ПИ обычно выбирается в 2–3 раза ниже частоты резонанса основной головки. Помимо специальных изделий, в роли пас-

сивного излучателя можно использовать и обычную динамическую головку. Снижение резонансной частоты обеспечивается увеличением массы подвижной системы при помощи дополнительных грузиков [12].

Частота настройки пассивного излучателя определяется по формуле:

$$F_{ПИ} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{m}\left(\frac{1}{C}+\frac{1}{C_{ms}}\right)} = F_s\sqrt{1+\frac{C_{ms}}{C}},$$

где $F_{ПИ}$ – частота настройки ПИ в корпусе;
F_s – собственная частота резонанса ПИ;
m – масса подвижной системы;
C – гибкость воздуха в корпусе;
C_{ms} – гибкость подвеса ПИ.

Очевидно, что увеличивая массу подвижной системы, частоту настройки ПИ можно сделать сколь угодно низкой. Однако оперировать гибкостью воздуха в корпусе неудобно. Если выразить гибкость воздуха в корпусе через его объем, а гибкость подвеса – через эквивалентный объем, то формула примет следующий вид:

$$F_{ПИ} = F_s\sqrt{1+\frac{V_{as}}{V_c}},$$

где $F_{ПИ}$ – частота настройки ПИ (Гц);
F_s – собственная частота резонанса ПИ (Гц);
V_c – объем корпуса;
V_{as} – эквивалентный объем ПИ.

Из формул следует вывод: для получения низкой частоты настройки пассивного излучателя в этой роли выгоднее использовать экземпляры динамических головок с не слишком мягким подвесом и низкой частотой собственного резонанса – довольно противоречивые требования! Согласно рекомендациям [12] механическая добротность Q_{ms} должна быть не ниже 5, а этому условию удовлетворяют многие низкочастотные головки. Хочу также предостеречь от использования в роли ПИ однотипной динамической головки (это следует из приведенных формул). К сожалению, в большинстве промышленных конструкций именно это и встречается – из экономических соображений.

При выборе головки на роль пассивного излучателя нужно учитывать следующее: возбуждаемый объем ПИ (произведение площади диффузора на его ход) должен быть равен или больше возбуждаемого объема основной головки. Иначе неизбежен выход подвеса ПИ на нелинейный режим и, как следствие, дополнительные искажения, а то и удары диффузора. Если ход диффузора неизвестен, то мож-

но ориентироваться на следующие значения: 2 мм для десятидюймовых головок, 3 мм для двенадцатидюймовых (длинноходные головки специальной конструкции из рассмотрения исключаем).

Для повышения эффективности ПИ удобно увеличивать его площадь. Для этого можно использовать как одну головку большего размера, так и несколько головок. В сабвуфере Infinity Basslink T на одной панели установлены три головки диаметром 10 дюймов: одна активная и две пассивные. В сабвуфере JBL BTX-250 активная и пассивная головки смонтированы по концам «трубы».

Рис. 4.23. Сабвуфер Infinity Basslink T

Обычно головку пассивного излучателя используют без магнитной системы, но лучше применять полноценную головку. Настраивать ПИ в таком случае можно уже не только механически (меняя массу подвижной системы пассивного излучателя), но и электрическим способом – изменяя сопротивление резистора, подключенного параллельно звуковой катушке пассивного излучателя. Этот нетрадиционный метод позволяет изменять характеристики системы в широком диапазоне – от фазоинвертора до закрытого корпуса. Дело в том, что при перемещении звуковой катушки в зазоре магнитной системы в ней наводится ЭДС, и, нагружая этот «генератор» сопротивлением, можно регулировать торможение магнитной системы – фактически управлять ее гибкостью, а следовательно, и другими характеристиками.

На рисунке приведена экспериментально полученная зависимость модуля полного электрического сопротивления динамической головки 25ГДН3-4 в ЗЯ объемом 7 л с пассивным излучателем 25ГДН4-4. На графике указано сопротивление шунта. Хорошо видно изменение характера Z-характеристики: от типичной «фазоинверторной» (при

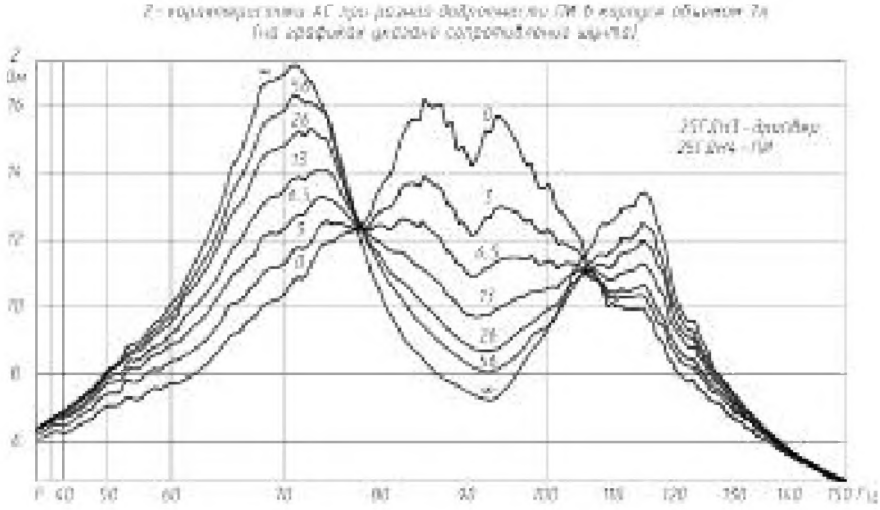


Рис. 4.24. Влияние шунтирования ПИ на Z-характеристику АС

отсутствии шунта) до характеристики закрытого корпуса (при замкнутой звуковой катушке).

Предлагаемые в ряде справочных изданий [12] графические методы расчета ПИ и ФИ не очень точны. Для расчета теоретической АЧХ акустической системы с пассивным излучателем удобно воспользоваться современными компьютерными программами (например, JBL Speakershop), позволяющими учесть передаточную характеристику салона. Это позволяет быстро оценить действие всех параметров на АЧХ системы. Программное обеспечение для расчета акустического оформления можно найти в Интернете.

4.4.8. Расчет рупора

Необходимость расчета рупора в любительской практике может возникнуть при создании акустического оформления среднечастотных и высокочастотных излучателей. В этом разделе приведена упрощенная методика расчета, ибо полная теория рупоров достойна отдельной книги.

Наибольшее распространение получили рупоры, площадь поперечного сечения которых изменяется по экспоненциальному закону [5, 119]:

$$S_x = S_0 e^{\beta x},$$

где S_0 – площадь входного отверстия (горла) рупора;
S_x – площадь сечения рупора на расстоянии X от горла;
x – осевая координата (м);
β – коэффициент расширения рупора, который определяется из выражения:

$$Э = \frac{4\pi F_c}{C_0} \approx \frac{F_c}{27}$$

где F_c – нижняя воспроизводимая частота (Гц);
C_0 – скорость звука (340 м/с).

На практике в качестве осевой координаты удобнее использовать не метры, а сантиметры. В этом случае коэффициент расширения определяется из выражения:

$$Э = \frac{F_c}{2700}.$$

Порядок расчета такой: задав нижнюю граничную частоту рупора, определяем коэффициент расширения. Затем, задавая небольшие приращения X, рассчитываем площади сечений рупора. Необходимо также проверить соответствие периметра устья P заданной граничной частоте:

$$P \geq \frac{C_0}{F_c} \approx \frac{340}{F_c}.$$

Если периметр устья меньше, то рупор является укороченным. В этом случае отражения в устье вызывают нежелательные пики и провалы амплитудно-частотной характеристики в районе нижней граничной частоты. Таким образом, если размеры устья ограничены, следует увеличить нижнюю граничную частоту до значения, соответствующего размеру устья.

5. УСИЛИТЕЛИ

Появление автомобильных усилителей в конце 70-х годов теперь уже прошлого века связано с распространением автомобильных многополосных акустических систем в закрытом корпусе, чувствительность которых была заметно ниже традиционных широкополосных. Максимальная выходная мощность радиоприемников и автомагнитол в ту пору не превышала 4–5 Вт на канал, и возможности новых АС не использовались полностью [68, 101].

Первые автомобильные усилители (*бустеры*) представляли собой мостовые варианты обычных схем. При напряжении питания 12 В максимальная выходная мощность на нагрузке 4 Ом составляла 15–20 Вт на канал. В некоторых конструкциях, подобно «домашним» усилителям, имелись собственные регуляторы громкости и тембра, эквалайзеры, а также линейные входы. Первоначально дополнительные усилители выполнялись на дискретных элементах, затем на ИС. Описания любительских конструкций таких усилителей неоднократно публиковались на страницах журнала «Радио» и других радиолюбительских изданий.

Возросшие требования к качеству звуковоспроизведения заставили конструкторов автомагнитол повысить выходную мощность встроенных усилителей. Практически во всех моделях они стали мостовыми с выходной мощностью 15–20 Вт на канал. Эра бустеров закончилась, но в бюджетной группе подобные изделия еще встречаются. Благодаря рациональному монтажу и правильно выбранной элементной базе качество звучания таких усилителей может оказаться выше, чем встроенных в головное устройство, однако их возможности также исчерпаны [109].

Возросшие требования к качеству звуковоспроизведения можно было удовлетворить только при повышении выходной мощности усилителя, что потребовало применения

повышенного напряжения питания. Емкостное удвоение питающего напряжения при повышении выходного сигнала (ИС TDA1562, TDA1564) в теории обеспечивает до 50 Вт на канал, но на реальной комплексной нагрузке не способно обеспечить качественное воспроизведение басового диапазона. Поэтому для наращивания запаса мощности системы и повышения качества звучания неизбежно использование УМЗЧ с питанием от импульсного преобразователя напряжения (ПН).

Так в конструкции автомобильных усилителей появились преобразователи напряжения. Однако противоборство магнитол и внешних усилителей не закончилось. В 2001–2002 годах появились головные устройства, встроенный усилитель которых снабжен преобразователем напряжения и обеспечивает номинальную выходную мощность до 70 Вт на канал. Однако достигнутая мощность – предел даже для экономичных импульсных усилителей. Для дальнейшего повышения мощности стандартные габариты головного устройства 1DIN недостаточны – прежде всего сложно организовать отвод тепла. Поэтому усилитель большей мощности должен быть внешним.

5.1. ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЯ И КАЧЕСТВО ЗВУЧАНИЯ

Для того чтобы обеспечить возможность сравнения различных усилителей между собой, используют ряд параметров, поддающихся объективной оценке. Идеология Hi-Fi (сокращение от High Fidelity – высокая верность) и сам термин оформились к концу 50-х годов. К этому моменту были определены минимальные требования к аудиосистеме – полоса воспроизводимых частот, выходная мощность и коэффициент гармоник (до борьбы с космополитами в отечественной литературе использовали немецкий термин klirfaktor – «степень чистоты»). Хотя за последние полвека список параметров значительно расширился, субъективно воспринимаемое качество звучания определяется не только цифрами. Одна и та же акустическая система, подключенная к разным усилителям с одинаковыми характеристиками, «звучит» совершенно по-разному. Производители аппаратуры старательно (и, видимо, сознательно) игнорируют тот факт, что акустическая система и усилитель – звенья одной цепи, и их нельзя рассматривать (и проектировать) в отрыве друг от друга. Даже методики измерения одних и тех же параметров по разным стандартам отличаются!

Поэтому взыскательным слушателям приходится перебирать различные сочетания усилителей и акустических

систем в поисках «своего» звучания. Очевидно, что принятый на сегодня список обязательных параметров ограничен (или вообще неверен), но другие методы сравнения усилителей пока не созданы.

Для современного усилителя «джентльменский набор» выглядит так:

- номинальная выходная мощность, при которой коэффициент гармоник не превосходит заданной стандартом величины (например, 0,1%). Измеряется на синусоидальном сигнале при номинальном сопротивлении нагрузки;
- максимальная выходная мощность, при которой коэффициент гармоник не превосходит заданной величины (чаще всего 10%). Измеряется на синусоидальном сигнале при номинальном сопротивлении нагрузки и обычно превышает номинальную мощность на 20–40%. Характеризует качество источника питания (запас по току потребления);
- музыкальная (пиковая) мощность указывается не всегда. Она имеет мало общего с предыдущими параметрами и характеризует в основном способность выходного каскада усилителя кратковременно отдавать в нагрузку значительный ток. Превосходит номинальную мощность в несколько раз. Методики измерения постоянно совершенствуются, а результаты растут;
- коэффициент гармоник при малой мощности (чаще всего при мощности 0,1 от номинальной). Обычно зависит от частоты;
- коэффициент интермодуляционных искажений. Существует несколько методик измерения, отличающихся результатами;
- диапазон воспроизводимых частот. Определяет граничные частоты, на которых коэффициент усиления снижается на заданную величину (в зависимости от выбранной методики измерения на 1–3 дБ). Этот параметр в некоторых случаях зависит от уровня сигнала, на котором проводились измерения, и не может быть у́же 20 Гц–20 кГц. Во многих современных усилителях простирается практически от постоянного тока до сотен килогерц;
- скорость нарастания выходного напряжения;
- коэффициент демпфирования (демпинг-фактор);
- минимальное сопротивление нагрузки. Для автомобильных усилителей обычно в два раза меньше номинального, что вытекает из условия возможности работы пары каналов в мостовом включении на номинальную нагрузку.

5.1.1. Выходная мощность

Необходимую мощность усилителя можно определить только с учетом объема помещения (в нашем случае – салона автомобиля) и чувствительности АС, нередко при этом совершенно справедливо руководствуются принципом «запас карман не тянет». Если исходить из того, что *пик-фактор* некомпрессированного музыкального сигнала (отношение максимальных уровней к среднему) может быть больше 30, а суммарная выходная мощность автомобильной аудиосистемы (без учета сабвуфера) при средней громкости составляет примерно 10 Вт, то для неискаженной передачи сигналов максимального уровня требуется усилитель мощностью около киловатта! В этом и заключается причина «зажатого» звучания встроенных усилителей головных устройств. К счастью, высокая мощность требуется на весьма короткие промежутки времени, поэтому в данном случае можно с оглядкой руководствоваться «музыкальной» мощностью. К тому же кратковременная перегрузка (продолжительностью до нескольких десятков миллисекунд) на слух практически не воспринимается. Не последнюю роль играет и тот факт, что пик-фактор для музыки разных жанров может существенно отличаться. Во всяком случае, для автомобиля средних размеров усилитель с мощностью 40–50 Вт на канал обеспечивает хорошее соотношение между качеством звучания и затратами.

5.1.2. Гармонические и интермодуляционные искажения

Гармонические искажения характеризуют общую нелинейность усилителя, а интермодуляционные – характер (порядок) этой нелинейности. Более информативен не уровень искажений, а их спектр и частотная зависимость, но эти данные приводятся крайне редко даже для «домашних» усилителей. Субъективно интермодуляция более заметна, чем гармонические искажения.

Основной источник искажений усилителя – его выходной каскад. При больших уровнях сигнала возрастает доля искажений, вносимая драйверным каскадом. Спектр искажений, вносимых биполярным транзистором, содержит преимущественно нечетные гармоники (до 30), полевые транзисторы более линейны, искажения обычно ограничиваются второй-третьей гармониками. Поэтому для усилителей на биполярных транзисторах можно считать допустимым коэффициент гармоник не более 0,05–0,1%, а для усилителей с выходным каскадом на полевых транзисторах – до 0,3–0,5%.

В том случае, если усилители используются в системе с многополосным усилением, происходит разделение спектра продуктов искажений по частотным каналам. В этом случае наиболее высокие требования предъявляются к каналу средних частот, перекрывающему область наибольшей чувствительности уха. Кроме того, не надо забывать тот факт, что искажения сигнала в динамической головке на средних частотах достигают нескольких процентов, а в области резонанса – десятков процентов.

5.1.3. Диапазон воспроизводимых частот

Диапазон слышимых человеком частот зависит от ряда индивидуальных факторов, в том числе и от возраста. Принятый на заре Hi-Fi стандарт DIN45500 определял минимальные требования к полосе частот грампластинки 40 Гц–16 кГц, для усилителей границы взяли с запасом – 20 Гц–20 кГц. Со временем эти минимальные требования были пересмотрены, и у многих современных усилителей полоса частот простирается практически от постоянного тока до сотен килогерц. У специализированных сабвуферных усилителей, наоборот, диапазон может быть ограничен сверху величиной 0,5–1 кГц. Это характерно для импульсных усилителей класса D.

5.1.4. Скорость нарастания выходного напряжения

После того как покупатели научились скептически относиться к фантастически высоким цифрам выходной мощности и исчезающе малым процентам искажений, на сцену вышел новый показатель – скорость нарастания выходного напряжения. Какой же должна быть эта характеристика?

Прежде всего надо разграничить скорость нарастания выходного напряжения усилителя (технический параметр усилителя) и скорость нарастания напряжения сигнала (характеристика самого сигнала). Понятие «скорость нарастания выходного напряжения» применительно к усилителю имеет смысл только в совокупности с выходной мощностью и частотой сигнала. Для усилителей большой мощности этот параметр должен быть несколько больше, чем у маломощных, в противном случае полоса воспроизводимых частот будет сужаться с ростом мощности или частоты сигнала – наступит ограничение по скорости нарастания в усилителе.

Установлено, что для воспроизведения музыки вполне достаточна скорость нарастания 0,22–0,55 В/мкс на вольт амплитуды выходного сигнала. Например, при выходной

мощности 25 Вт на нагрузке 4 Ом амплитуда выходного напряжения составит 14 В, а необходимая скорость нарастания – 3–8 В/мкс. Для усилителей мощностью до 50 Вт увеличение этого параметра сверх 15 В/мкс лишено смысла. Скорость нарастания реальных сигналов заведомо меньше, если не считать специальных тестовых сигналов.

5.1.5. Коэффициент демпфирования

Демпинг-фактор (в отечественной литературе *коэффициент демпфирования*) – характеристика усилителя, определяющая его взаимодействие с нагрузкой (акустической системой). В описании многих усилителей этот параметр приобретает почти мистический смысл. Какой же коэффициент демпфирования необходим и стоит ли гнаться за рекордными цифрами [83]?

Усилители мощности звуковой частоты (УМЗЧ) по отношению к нагрузке делятся на два класса – источники напряжения и источники тока [13]. Последние находят пока очень ограниченное применение, а практически все серийные модели являются усилителями – источниками напряжения.

Идеальный усилитель напряжения при любом сопротивлении нагрузки создает на выходе одинаковое напряжение. Другими словами, выходное сопротивление идеального источника напряжения равно нулю. Однако идеальных вещей в природе не существует, поэтому реальный усилитель обладает определенным внутренним сопротивлением. Это означает, что напряжение на нагрузке будет зависеть от ее сопротивления (рис. 5.1).

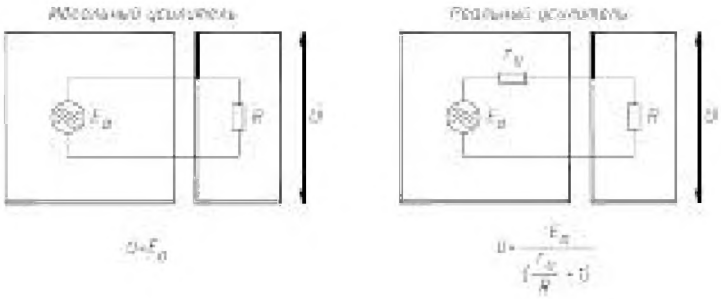


Рис. 5.1. **Выходное сопротивление усилителя**

Но потеря выходного напряжения – не самое главное следствие того, что усилитель обладает выходным сопротивлением. При любом перемещении звуковой катушки в зазоре магнитной системы в ней наводится электродвижущая сила (ЭДС). Эта ЭДС, замыкаясь через выходное сопротивление усилителя, создает ток, противодействующий перемещению катушки. Величина этого тока и сила тормо-

жения обратно пропорциональны выходному сопротивлению усилителя. Это явление называется электрическим демпфированием громкоговорителя и в значительной степени определяет характер воспроизведения импульсных сигналов.

Динамическая головка – сложная колебательная система, имеющая несколько частот резонанса (механический резонанс подвижной системы, внутренние резонансы подвеса и диффузора и т. д.). При воспроизведении импульсного сигнала возникают колебания на резонансных частотах системы. Неприятность заключается в том, что при слабом демпфировании эти затухающие колебания могут продолжаться и после того, как закончился вызвавший их импульс. В результате воспроизведение будет сопровождаться призвуками, окрашивающими звучание.

Задача конструктора аудиосистемы – демпфировать громкоговоритель так, чтобы собственные колебания затухали как можно быстрее. Однако для этого не так уж много средств. Возможны три способа демпфирования головки:

- механическое демпфирование, определяемое потерями на внутреннее трение в подвесе;
- акустическое демпфирование, определяемое особенностями акустического оформления;
- электрическое демпфирование, определяемое выходным сопротивлением усилителя.

Механическое демпфирование определяется конструктивными особенностями динамической головки и закладывается на этапе ее проектирования. Изменить его величину в готовой АС редко представляется возможным. Как самостоятельное решение акустическое демпфирование применяется в виде заполнения корпуса акустической системы звукопоглощающим материалом. Кроме того, акустическое демпфирование входит в конструктивное оформление закрытых СЧ- и ВЧ-головок. Некоторое влияние на акустическое демпфирование оказывает и сопротивление излучения динамической головки. Однако вклад всех этих составляющих в общую степень демпфирования головки невелик. Таким образом, электрическое демпфирование становится основным инструментом воздействия на переходные характеристики системы «усилитель – динамическая головка».

Взаимосвязь характера звучания с выходным сопротивлением усилителя заметили еще в пору ламповых усилителей, в 50-е годы. Особенно заметна была разница в звучании усилителей с выходным каскадом на триодах и пентодах. Пентодные усилители обладали значительным выходным сопротивлением, вследствие чего динамические головки были недодемпфированы, а звучание приобретало гулкий

призвук. Введение отрицательной обратной связи позволило снизить выходное сопротивление усилителя, но полностью проблему не решило. Удивительно, что спор о том, какой усилитель лучше, продолжаются и полвека спустя. А ведь дело не только в усилителе, но и в акустической системе.

Для оценки демпфирующих свойств усилителя был предложен новый параметр – коэффициент демпфирования (damping factor), представляющий собой отношение сопротивления нагрузки к выходному сопротивлению усилителя.

Проведенные тогда же эксперименты позволили установить минимальную величину этого параметра – 5...8. Дальнейшее снижение выходного сопротивления усилителя практически не влияло на переходные характеристики системы.

Впоследствии, после появления транзисторных усилителей и специализированных низкочастотных динамических головок с «легким» подвесом, нижний предел демпинг-фактора был повышен. Это позволило однозначно определить степень демпфирования головки параметрами усилителя вне зависимости от особенностей акустического оформления. При этом в некоторых пределах обеспечивалась «одинаковость» звучания конкретной АС с различными усилителями.

Знаменитый стандарт DIN45500 определял коэффициент демпфирования для Hi-Fi-усилителей однозначно – не менее 20. Это означает, что выходное сопротивление усилителя при работе на нагрузку 4 Ом должно быть не более 0,2 Ом. Однако выходное сопротивление современных усилителей намного меньше – сотые и тысячные доли ома, а демпинг-фактор, соответственно, – сотни и тысячи.

Каков смысл столь значительного увеличения этого показателя? Коэффициент демпфирования в данном случае, как ни странно, ни при чем. Важна только одна его составляющая – выходное сопротивление усилителя. В данном случае имеет место «магия цифр», поскольку к сотням ватт выходной мощности современных усилителей все привыкли и нужно привлечь покупателя чем-то новым. Согласитесь, что «демпинг-фактор 4000» выглядит намного симпатичнее, чем «выходное сопротивление 0,001 Ом». А означает это в любом варианте только одно: усилитель имеет очень низкое выходное сопротивление и способен отдавать в нагрузку значительный ток (пусть даже и кратковременно). А связь между выходной мощностью и демпинг-фактором хоть и прямая, но не однозначная. Так что термину, интересовавшему раньше только специалистов, нашлось новое применение – рекламное.

Однако в повести о демпинг-факторе есть еще одно действующее лицо – акустический кабель. А он в состоянии сильно испортить не только цифры, но и качество звучания. Ведь сопротивление кабеля суммируется с выходным сопротивлением усилителя и становится составляющей демпинг-фактора.

Для кабеля длиной 2 м сопротивление 0,05 Ом – вполне пристойный показатель. Но для усилителя с выходным сопротивлением 0,01 Ом демпинг-фактор на нагрузке 4 Ом с таким кабелем снизится с 400 до 65. Поводов для беспокойства пока нет. Но если использовать тоненький «шнурок» из комплекта динамиков и сомнительные скрутки общим сопротивлением 0,3...0,4 Ом (ситуация, к сожалению, еще нередкая), то демпинг-фактор упадет до 10, независимо от показателей усилителя. Поэтому на проводах экономить не стоит.

Пассивный кроссовер с его десятками метров провода создает аналогичные проблемы. Поэтому катушки с ферромагнитным сердечником в кроссоверах применяются чаще, чем «воздушные», – это позволяет значительно снизить сопротивление катушки. Конечно, при перемагничивании сердечника возникают дополнительные нелинейные искажения сигнала, но в большинстве случаев это меньшее зло, чем недодемпфированные динамики. Кстати, разница в звучании систем с кроссоверами разной конструкции зачастую определяется не столько характером вносимых искажений, сколько различным демпфированием динамика. В тех случаях, когда «совесть не позволяет» ставить катушки с сердечником, недостаток демпфирования можно восполнить акустическими методами. Но акустическое демпфирование не обладает всеми возможностями электрического и может в конечном счете обойтись дороже.

Определить выходное сопротивление усилителя в любительских условиях можно, если при одинаковом входном сигнале измерить его выходное напряжение на холостом ходу (E_0) и под нагрузкой (U) определенного сопротивления (R). Однако точность этого простого метода заметно снижается при выходном сопротивлении усилителя меньше 0,05 Ом.

$$r_0 = R\left(\frac{E_0}{U} - 1\right).$$

В конечном итоге гонка за цифрами привела к выработке новой методики оценки влияния выходного сопротивления усилителя на демпфирование. Новый стандарт CEA 2006 вводит «эффективный коэффициент демпфирования» (Effective Damping Factor). Основное отличие нового парамет-

ра от старого заключается в том, что теперь при расчете используется не номинальное сопротивление нагрузки, а импеданс эталонного динамика на частоте резонанса (он в несколько раз превышает сопротивление постоянному току). Кроме того, в расчете, помимо выходного сопротивления усилителя, фигурирует и сопротивление катушки динамика постоянному току, что учитывает вклад этого сопротивления в электрическое демпфирование. Поэтому эффективный коэффициент демпфирования в большей степени отражает разницу в акустических характеристиках усилителей, чем «старый» коэффициент демпфирования. Теперь практически любой усилитель, предназначенный для использования в автомобильных звуковоспроизводящих системах, будет иметь значение эффективного коэффициента демпфирования в пределах от 6 до 7, что облегчит сравнение. Однако к стандарту CEA 2006 пока примкнули далеко не все производители автомобильных усилителей.

Выводы:

- высокий демпинг-фактор требуется для динамических головок с легким подвесом и большой массой подвижной системы, работающих с заходом в область основного механического резонанса без применения пассивных фильтров;
- при работе с пассивным кроссовером демпинг-фактор системы определяется главным образом его выходным сопротивлением в полосе пропускания, поэтому требования к демпинг-фактору усилителя можно снизить;
- для динамических головок, резонансная частота которых находится за пределами рабочей полосы частот (СЧ, ВЧ), демпинг-фактор при многополосном усилении значения не имеет, поскольку электрическое демпфирование наиболее эффективно для подавления основного механического резонанса подвижной системы;
- демпфирование структурных резонансов в материале диффузора и подвеса не входит в функцию усилителя и может осуществляться только механически. Это проблема динамической головки.

5.1.6. Минимальное сопротивление нагрузки

Выходная мощность усилителя определяется двумя факторами: выходным напряжением и сопротивлением нагрузки. А выходное напряжение, в свою очередь, однозначно определяется напряжением питания усилителя. Поэто-

му для увеличения выходной мощности усилителя есть только два пути: повысить напряжение питания или снизить сопротивление нагрузки.

Напряжение питания современных автомобильных усилителей большой мощности – порядка ста вольт, что требует принятия мер безопасности: ведь на максимальной мощности это напряжение практически полностью приложено к клеммам динамической головки. Поэтому для дальнейшего повышения выходной мощности необходимо снижать минимально допустимое сопротивление нагрузки. Снижение сопротивления нагрузки при фиксированном напряжении пропорционально увеличивает потребляемый ей ток и, следовательно, подводимую мощность.

Долгие годы стандартом для автомобильной акустики был импеданс 4 Ом, а минимальное сопротивление нагрузки для автомобильных усилителей составляло 2 Ом. Сейчас многие модели усилителей большой мощности рассчитаны на сопротивление нагрузки 1 Ом, а некоторые – и 0,5 Ом.

За низкое сопротивление нагрузки первыми ухватились производители OEM-«голов» с высокой выходной мощностью. В массовой аппаратуре эти решения долго не применялись. Почему – однозначно сегодня ответить трудно. Тут и попытка разграничить «сферы влияния» OEM и aftermarket, и поддержание спроса на дополнительные усилители, и учет приоритетов массового потребителя.

5.2. СТРУКТУРА АВТОМОБИЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Современный подход к конструированию автомобильных усилителей предполагает создание линейки аппаратов, использующих сходные схемотехнические решения, единые узлы и стилевое оформление. Это позволяет, с одной стороны, сократить расходы на проектирование и изготовление, с другой – расширяет выбор аппаратуры при создании аудиосистемы, поскольку можно компоновать устройства с необходимыми характеристиками. В то же время агрессивный дизайн и вычурные формы многих усилителей нередко маскируют «внутреннюю устарелость».

По своей схемотехнике автомобильные усилители практически не отличаются от «домашних». Однако область применения придает их структуре специфические особенности, что и выделяет их в совершенно самостоятельный класс устройств [68].

Во-первых, это наличие преобразователя напряжения питания. Напряжение питания усилителя должно быть

двухполярным (чтобы исключить разделительный конденсатор на выходе) и иметь величину 2 × (25–50) В. В усилителях высокого класса блок питания для каждого канала или группы каналов отдельный – это снижает переходные затухания [54–56]. В усилителях премиум-класса встречаются блоки питания еще более сложной структуры – стабилизированные и раздельные по каскадам. Помимо пользы, это отличный рекламный козырь.

Во-вторых, автомобильные усилители, хотя и являются «чистыми» усилителями мощности, обладают развитой системой регулировок [52, 78, 79, 98, 106, 112]. В большинстве конструкций имеются встроенные фильтры. Они отсутствуют или в простейших моделях, или в профессиональных, предназначенных для работы с внешними активными кроссоверами. Назначение фильтров – разделение частотного диапазона при создании многополосных систем. Как правило, встроенные фильтры усилителей имеют крутизну спадов АЧХ 12дБ/окт, реже – 18дБ/окт и выше. В простых моделях фильтры нерегулируемые, в более сложных можно изменять частоты среза (плавно или ступенчато) и менять характер работы фильтра (НЧ/ВЧ). Если фильтры не нужны, их можно отключить.

В-третьих, во многих моделях усилителей, помимо обычных линейных входов (входное сопротивление 10–20 кОм, чувствительность 0,5–1,5 В), имеются также *входы высокого уровня* (High Input). Эти входы предназначены для использования усилителей с головными аппаратами, не имеющими отдельного линейного выхода. В таком случае сигнал приходится снимать с выхода на динамики, поэтому чувствительность входа высокого уровня составляет 2,5–10 В, входное сопротивление небольшое: 50–200 Ом. В некоторых моделях усилителей входы высокого уровня одновременно являются и управляющими. При включении головного аппарата с мостовым усилителем на его выходах появляется постоянное напряжение, которое и используется для включения внешнего усилителя.

Помимо этого, возможно наличие *балансных входов*, у которых значительно снижена чувствительность к наводкам и помехам. Естественно, что для полного использования их преимуществ головной аппарат должен иметь балансные линейные выходы. Поскольку в последнее время появилась устойчивая тенденция к повышению напряжения на линейном выходе головного аппарата до 4–8 В, линейные входы большинства современных усилителей также рассчитаны на такое напряжение.

Структура автомобильных усилителей достаточно разнообразна – одноканальные, двухканальные, четырех-, пяти-

и шестиканальные [68]. Одноканальные усилители с развитой системой регулировок используются для работы с сабвуфером, двухканальные – для фронтальной акустики с пассивными фильтрами. Усилители с большим числом каналов обычно допускают работу в различных вариантах включения усилительных каналов и нагрузки и чаще всего используются в системах с многополосным усилением. Особняком стоят усилители премиум-класса, в которых, как правило, нет схем обработки сигнала и применены самые совершенные (и весьма дорогие) схемотехнические решения.

Одноканальные усилители с развитой системой регулировок используются для работы с сабвуфером, *двухканальные* – для фронтальной акустики с пассивными фильтрами либо в мостовом включении – с сабвуфером. В некоторых установках высокого уровня для левого и правого каналов используют отдельные двухканальные усилители в мостовом включении.

Четырехканальные усилители, пожалуй, можно считать самыми распространенными. В аудиосистемах начинающих их чаще всего используют в конфигурации «2+1», когда два канала в мостовом включении работают на сабвуфер, а два оставшихся – на фронтальную АС с пассивными разделительными фильтрами. Иногда, правда, встречается распределение каналов «фронт–тыл» (как в магнитоле). Используют их и в установках с многополосным усилением. В этом случае одна пара каналов используется для усиления сигналов полосы НЧ, вторая – для полосы СЧ/ВЧ. Частота раздела обычно выбирается в диапазоне 250–600 Гц.

Пяти- и шестиканальные усилители обладают самыми широкими возможностями и предназначены для создания развернутых аудиосистем среднего и высокого класса при минимальных затратах на установку и дополнительное оборудование. Многоканальный усилитель занимает меньше места, уменьшается количество межблочных соединений, поэтому помехозащищенность и надежность такой системы выше. Недостаток многоканальных усилителей по сравнению с независимыми устройствами – невысокое переходное затухание между каналами, вызванное связью через общий блок питания. Поэтому в современных многоканальных усилителях все чаще встречаются отдельные блоки питания для каждого канала (группы каналов).

Пятый канал пятиканальных усилителей предназначен для работы с сабвуфером и обычно имеет в 2–3 раза большую мощность. В современных изделиях УМЗЧ этого канала часто работает в импульсном классе D. Чтобы исклю-

чить влияние пятого канала на работу остальных, для него предусматривается самостоятельный блок питания. Такой усилитель фактически представляет собой два независимых устройства в общем корпусе. Остальные каналы, как правило, используются для двухполосного усиления, реже – в конфигурации «фронт–тыл». Шестиканальные усилители могут работать в различных вариантах включения с обычным и мостовым подключением нагрузки. Подробно различные варианты использования усилителей рассмотрены в главе 8.

Для облегчения токового режима блока питания в многоканальных усилителях один из каналов пары всегда выполнен инвертирующим, другой – неинвертирующим. На низких частотах, где сигнал входных стереоканалов практически синфазный, суммарный ток потребления пары каналов симметричен. Как следствие, легко реализуется мостовой режим работы, а для стабилизации и положительного, и отрицательного напряжений питания на выходе преобразователя достаточно одноканальной обратной связи – либо по сумме двух выходных напряжений, либо по одному из них [43].

В качестве примера на рис. 5.2 приведена структура «левой» группы каналов простого шестиканального усилителя **Quipix QA-8900**. Он снабжен встроенными фильтрами, позволяющими использовать его в различных конфигурациях, в том числе и с линейной АЧХ.

Усилители левого канала выполнены инвертирующими, что позволяет использовать мостовое включение на-

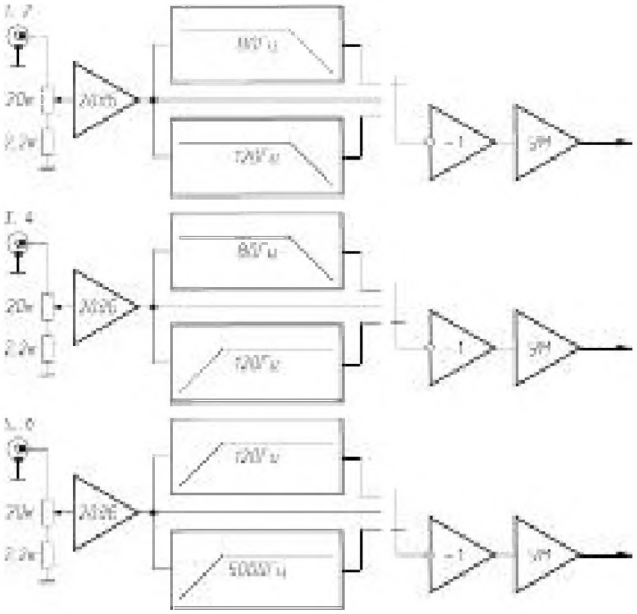


Рис. 5.2. Структурная схема шестиканального усилителя

грузки. В усилителях правого канала отсутствуют инвертирующие повторители, в остальном схемы идентичны. Для каждой пары каналов можно независимо задать режим работы. Каналы 1 и 2 предназначены для работы с одним или двумя сабвуферами с частотой среза ФНЧ 80 или 120 Гц. Каналы 3 и 4 также могут работать с сабвуфером с частотой среза ФНЧ 80 Гц или с мидбасом с частотой среза ФВЧ 120 Гц. Каналы 5 и 6 могут работать с частотой среза ФВЧ 120 Гц (мидбас) или 5 кГц (пищалки).

5.3. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ И ФИЛЬТРЫ

Предварительные усилители и встроенные кроссоверы практически всех современных усилителей выполнены на микросхемах. Использовать в их конструкции дискретные транзисторы сложнее и дороже, а прибавка в качестве звучания не стоит этих проблем. Обычно применяют фильтры на повторителях по схеме Саллена-Ки. Она обеспечивает прекрасную повторяемость при серийном производстве и абсолютно не склонна к самовозбуждению, в отличие от инвертирующих фильтров, критичных к стабильности элементов.

Для остальных узлов, как правило, используются типовые схемы «из учебника», хотя встречаются и оригинальные решения. Впрочем, эти решения защищены не только патентами. Используются заказные микросхемы, маркировка типовых элементов уничтожается, принципиальные схемы отсутствуют. Поэтому даже тщательное изучение монтажа не всегда помогает понять принцип работы тех или иных каскадов. Распространенные схемотехнические решения предварительных усилителей и фильтров описаны в главе 6, поэтому в данном разделе будут рассмотрены только основные тенденции.

Чаще всего в каскадах предварительного усиления и кроссоверах усилителей нижней и средней ценовых категорий применяют сдвоенные операционные усилители 4558, 4560 различных модификаций. Это малошумящие усилители с низкими собственными искажениями, разработанные с учетом «звукового» применения. В аппаратах верхней ценовой категории используются ОУ более высокого качества. Кстати, замена дешевых ОУ и некоторых деталей в аппаратах бюджетных серий позволяет заметно повысить качество звучания [108].

Основные регулировки активных кроссоверов практически всегда оперативные, хотя пользуются ими, как правило, один раз – при настройке системы. В большинстве уси-

лителей они выведены ручками на боковую, иногда на верхнюю панель. Под шлиц регуляторы выводят достаточно редко, но и в этом случае отвертка вряд ли потребуется – оси слегка выступают. Обычно можно обойтись ногтем или монеткой. В некоторых конструкциях панель регулировок прикрывается легкосъемной прозрачной накладкой (не столько для защиты, сколько для эстетики). Регулировки, недоступные в рабочем положении усилителя, в обзорах и тестах всегда становятся объектом для критики.

Как уже упоминалось в начале главы, обязательный набор фильтров для простого усилителя – ФВЧ и ФНЧ. В самых простых усилителях, предназначенных для работы в режиме «2+1», ФВЧ может отсутствовать. Чаще всего используются фильтры Баттерворта второго порядка. Причем наряду с плавным изменением частоты среза в последнее время наблюдается возврат к дискретной, но с возможностью выбора частоты из нескольких значений. В усилителях высокого класса используются также дополнительные корректирующие звенья, расширены и возможности коммутации. Иногда диапазон регулировки входной чувствительности разбит на два участка. Это облегчает процедуру регулировки.

Так, в двухканальном усилителе **Lanzar 5.200** применена развитая система регулировок. Помимо регулировки чувствительности глубиной более 32 дБ, есть и плавная регулировка фазы сигнала. Кроме того, имеются пара линейных выходов для наращивания системы и два независимых кроссовера 4-го порядка (24 дБ/окт, ФВЧ – 40...230 Гц, ФНЧ – 65...240 Гц). Это позволяет применить дополнительный усилитель без кроссовера. Сигнал на линейном выходе можно получить как с плоской АЧХ, так и после прохождения фильтров. Причем если в основном тракте включен ФВЧ, то на линейный выход сигнал идет через ФНЧ (и наоборот). За счет независимой регулировки частот среза можно исправить некоторые дефекты АЧХ в области стыка полос, не прибегая к эквалайзеру. Для точной коррекции АЧХ в диапазоне «наиболее вероятных проблем» предусмотрено одно звено параметрического эквалайзера с регулируемой добротностью, центральная частота которого перестраивается в диапазоне от 28 до 320 Гц. В зависимости от выбранного распределения диапазона частот между усилительными каналами корректор можно использовать как бас-бустер, для подавления резонанса салона (120...160 Гц) или для компенсации провала АЧХ на частотах 250...350 Гц.

В усилителе **INFINITY Kappa 102a** частота среза встроенного кроссовера плавно перестраивается в пределах дека-

ды (32...320 Гц). Для сигнала, поступающего далее на усилитель, и для сигнала, поступающего на линейный выход, можно независимо установить режимы ФНЧ, ФВЧ и полной полосы. Фактически это два кроссовера в одном усилителе, однако регулировка частоты среза у них синхронная. Анализ схемы показал, что ФВЧ 1-го порядка реализован как фильтр дополнительной функции. Такое построение при создании многополосных усилительных систем обеспечивает автоматическое сопряжение частот раздела, но не позволяет корректировать АЧХ за счет их взаимного смещения. Впрочем, эквалайзер в системах подобного уровня – компонент почти обязательный.

При использовании усилителя с сабвуфером вместо эквалайзера можно воспользоваться фирменной разработкой – динамическим оптимизатором баса [50]. Принцип действия схож с параметрическим эквалайзером: имеется звено ФВЧ, частота среза и добротность которого регулируются. Изменение добротности фильтра позволяет, как известно, регулировать вид частотной характеристики на частоте среза – увеличение добротности приводит к появлению характерного пика. Однако в отличие от обычного эквалайзера величина коррекции для динамического оптимизатора не постоянна, а зависит от уровня сигнала. При больших сигналах подъем низких частот ограничивается, что исключает перегрузку усилителя и сабвуфера. Диапазон перестройки частоты среза – от 20 до 80 Гц. Величина коррекции превышает +6 дБ, причем с увеличением степени коррекции растет и подавление внеполосных сигналов (рис. 5.3).

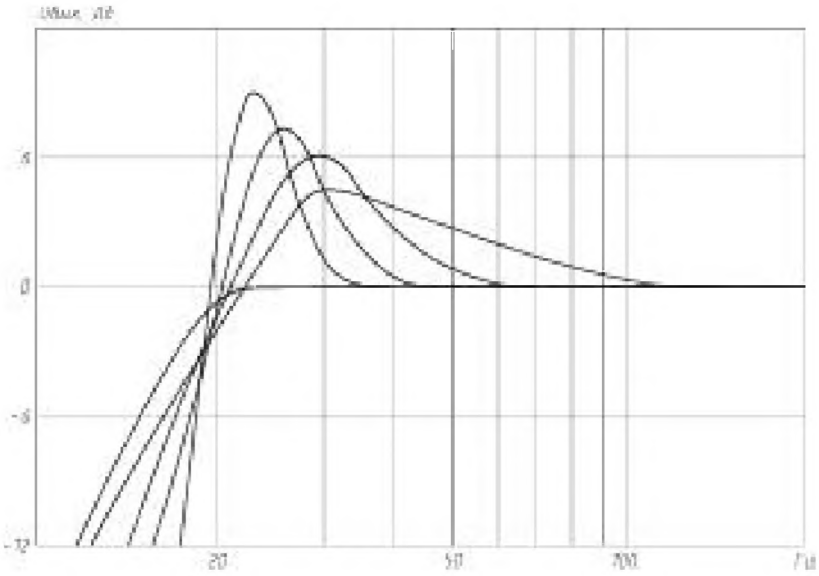


Рис. 5.3. АЧХ динамического оптимизатора баса

Однако подобные решения характерны лишь для отдельных дорогих моделей усилителей. Основная масса усилителей средней и нижней ценовых категорий снабжена несложными кроссоверами, набор функций и характеристики которых оптимизированы с учетом многих факторов, в том числе и «покупаемости». Обязательный набор фильтров для простого усилителя – ФВЧ и ФНЧ, иногда ФВЧ может отсутствовать. В простых моделях фильтры нерегулируемые, в более сложных можно изменять частоты среза (плавно или ступенчато). Пределы перестройки обычно невелики. Если фильтры не нужны, их можно отключить. Вот и весь «джентльменский набор».

Причина подобного аскетизма очевидна. С одной стороны, возможности встроенного кроссовера двух- или четырехканального усилителя должны позволять без дополнительных компонентов строить стандартные варианты аудиосистемы (фронт плюс сабвуфер). С другой – вводить полный набор функций во встроенный кроссовер нет смысла: это заметно увеличит стоимость, но чаще всего останется невостребованным. Поэтому выполнение сложных задач удобнее возложить на внешние кроссоверы и эквалайзеры, а встроенные – отключить.

В качестве примера рассмотрим структурную схему кроссовера усилителей Lanzar серии RK (рис. 5.4) [79]. Подробная схема не приводится, поскольку принципиальных новинок в ней нет, и не этот узел определяет основные характеристики усилителя. Такая же или аналогичная структура используется в большинстве современных автомобильных усилителей средней ценовой категории.

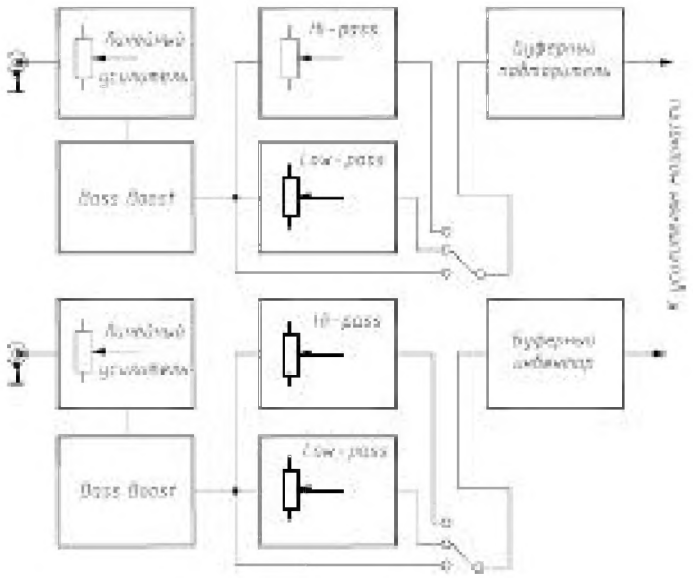


Рис. 5.4. Структурная схема кроссовера усилителей Lanzar серии RK

Первый каскад – линейный усилитель с изменяемым коэффициентом усиления. Он согласует выходное напряжение источника сигнала с чувствительностью усилителя мощности, поскольку коэффициент передачи всех остальных каскадов равен единице.

Следующий каскад – регулятор басового усиления (bass boost). В усилителях данной серии он позволяет увеличивать уровень сигнала на частоте 50 Гц на 18 дБ. В продукции других фирм подъем обычно меньше (6–12 дБ), а частота настройки может быть в области 35–60 Гц. Кстати, такой регулятор требует хорошего запаса мощности усилителя: увеличение усиления на 3 дБ соответствует удвоению мощности, на 6 дБ – учетверению и т. д. Сигнал можно подать на усилитель мощности непосредственно или выделить фильтрами необходимую полосу частот

Кроссоверная часть состоит из двух независимых фильтров. ФНЧ (low pass) перестраивается в диапазоне 40–120 Гц и предназначен для работы исключительно с сабвуфером. Диапазон перестройки ФВЧ (high pass) заметно шире: от 150 Гц до 1,5 кГц. В таком виде его можно использовать для работы с широкополосным фронтом или для полосы СЧ–ВЧ в системе с поканальным усилением. Пределы перестройки, кстати, выбраны неспроста: в диапазоне от 120 до 150 Гц получается «яма», в которой можно спрятать акустический резонанс салона. Примечательно и то, что бас-бустер не отключается ни в одном из режимов. Использование этого каскада одновременно с ФВЧ позволяет корректировать АЧХ в области резонанса салона не хуже, чем эквалайзером. Последний каскад инвертирует сигнал в одном из каналов. Это позволяет без дополнительных устройств использовать усилитель в мостовом включении.

5.4. СХЕМОТЕХНИКА УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

По уже упоминавшимся причинам большинство схем, приведенных в этом и следующем разделах, воссозданы с монтажа, поэтому в них возможны некоторые неточности и умолчания, не влияющие на понимание принципа работы.

В промышленных и любительских конструкциях автомобильных усилителей наиболее распространена следующая структура УМЗЧ: двойной дифференциальный каскад, двухтактный каскад усиления напряжения и эмиттерный повторитель (двухкаскадный или на составных транзисторах Дарлингтона). В последнее время в выходном каскаде все чаще используются мощные полевые транзисторы. Известны также гибридные усилители, в которых каскад усиления напряжения выполнен на лампах, а выходной каскад – на

полевых транзисторах, и даже полностью ламповые конструкции, но широкого распространения они не получили (прежде всего из-за значительной стоимости) [46, 47, 96].

5.4.1. Усилители на дискретных элементах

С исторической точки зрения весьма интересен один из первых автомобильных усилителей с преобразователем напряжения питания – **Monacor HPB 150** (рис. 5.5). Он был выпущен в Германии во второй половине 80-х годов [68]. Максимальная выходная мощность усилителя на нагрузке 4 Ом порядка 40 Вт на канал в обычном включении. В мостовом включении выходная мощность на той же нагрузке составляет около 150 Вт.

Рис. 5.5. Схема усилителя Monacor HPB 150

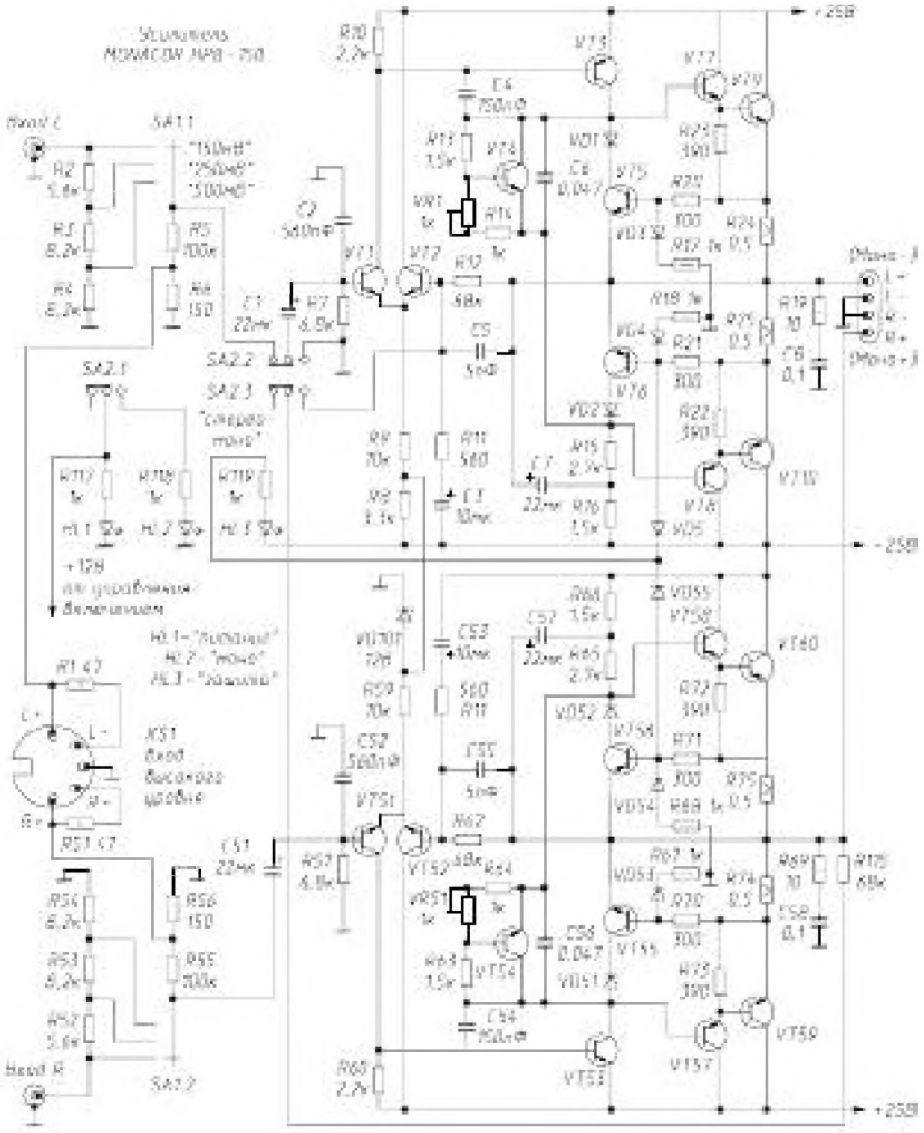


Схема усилителя – пример остроумных и простых технических решений. На входе установлен коммутируемый переключателем SA1 делитель напряжения R2R3R4R5R6 (в правом канале – R52R53R54R55R56, на схеме сохранена заводская нумерация элементов). Коммутация обеспечивает три варианта чувствительности усилителя – 150 мВ, 250 мВ, 500 мВ при входном сопротивлении около 20 кОм. Помимо линейного входа, имеется также вход высокого уровня XS1, рассчитанный на подключение магнитолы как с обычным, так и с мостовым усилителем мощности. Чувствительность усилителя с этого входа – около 2,5 В, входное сопротивление – порядка 150 Ом. При использовании магнитолы с обычным усилителем сигнал подается на контакты 1,3 разъема XS1. При использовании магнитолы с мостовым усилителем сигнал для дальнейшего усиления снимается только с неинвертирующего плеча усилителя магнитолы. В этом случае резистор R1(R51) сопротивлением 47 Ом является эквивалентом нагрузки для мостового усилителя магнитолы. Далее сигнал через ФНЧ C2R7 (C52R57) поступает на вход УМЗЧ, выполненного по традиционной схеме.

Первый каскад УМЗЧ дифференциальный, напряжение в цепи эмиттеров стабилизировано на уровне –12 В общим для обоих каналов параметрическим стабилизатором R8VD101. Второй каскад – усилитель напряжения с ПОС по питанию («вольтодобавкой») и двухтактный выходной каскад на комплиментарных составных транзисторах. В выходном каскаде применена защита по току за счет нелинейной ООС. Ток выходного каскада контролируется по падению напряжения на резисторах R24,R25 в цепи эмиттеров транзисторов VT9,VT10.

Характерная особенность работы в мостовом включении, не встречающаяся в современных схемах, – переключение левого усилительного канала в инвертирующий режим с единичным коэффициентом передачи. Секция переключателя SA2.2 замыкает на общий провод вход левого канала, а секция SA2.3 через резистор R115 подает на вход ООС сигнал с выхода правого канала усилителя. Вход левого канала в мостовом режиме отключается, суммирование сигналов левого и правого каналов в этом режиме не предусмотрено. Нет в усилителе и активных фильтров.

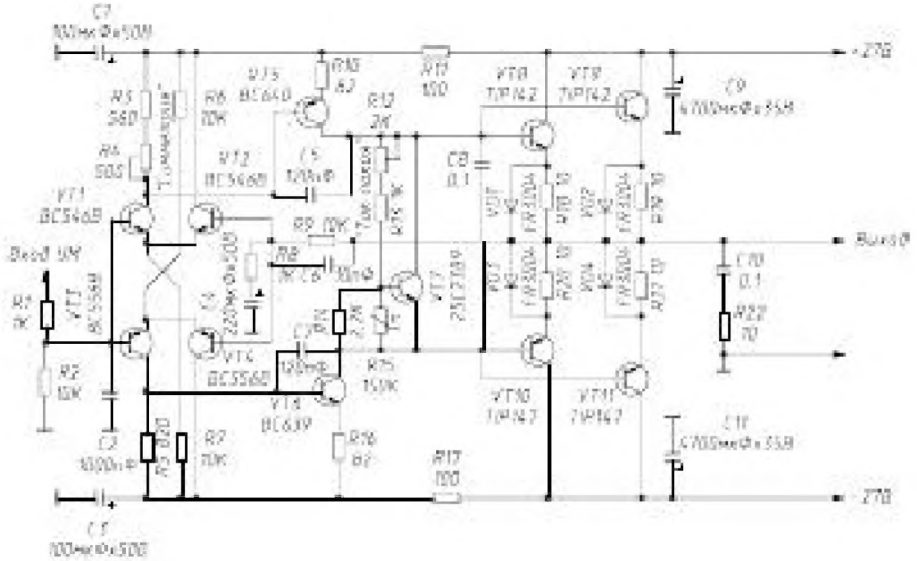
При повторении конструкции в выходном каскаде можно использовать комплиментарные пары транзисторов КТ818/КТ819, в предоконечном – КТ816/КТ817. Цепи защиты можно исключить – при разумной эксплуатации это никак не скажется на надежности.

В качестве примера современного решения можно привести фрагмент схемы одного из двух каналов усилителя

Power Amper 250. Номинальная выходная мощность составляет 50 Вт на нагрузке 4 Ом.

Схема усилителя мощности (рис. 5.6) полностью симметрична от входа до выхода, что способствует уменьшению искажений сигнала. В выходном каскаде использованы параллельно включенные транзисторы. Для линеаризации характеристик выходного каскада при малом уровне сигнала введена глубокая местная ООС за счет резисторов сопротивлением 10 Ом в эмиттерах выходных транзисторов. При увеличении падения напряжения на этих резисторах до 0,7 В они шунтируются диодами и на работу усилителя при большом сигнале влияния не оказывают.

Рис. 5.6. Схема усилителя мощности Power Amper 250



Такое построение выходного каскада обеспечивает глубокую местную ООС при малых уровнях сигнала, что положительно сказывается на качестве звучания. Обычно в усилителях класса В и АВ с малым током покоя наблюдается резкий рост искажений сигналов низкого уровня, что приводит к потере «прозрачности» звучания и детализации звуковых образов (в слуховых тестах усилителей подобные искажения описываются как «смазанный звук»). Для уменьшения искажений приходится увеличивать ток покоя выходного каскада. Примененное решение позволяет сохранить экономичность усилителя и повысить качество «первого ватта».

Фильтр R1R2C2 (нумерация элементов условная) на входе УМ с частотой среза порядка 100 кГц предотвращает попадание в тракт радиопомех и наводок от встроенного преобразователя напряжения питания. Корректирующие

конденсаторы C5–C7 обеспечивают устойчивость усилителя. С этой же целью на выходе усилителя установлена традиционная цепь R22C10. Конденсатор C8 симметрирует выходной каскад, снижая искажения сигнала на верхних частотах диапазона.

Усилитель смонтирован в массивном алюминиевом корпусе с ребрами охлаждения, выполняющем функцию радиатора. Транзистор VT7 и терморезистор R15 имеют тепловой контакт с корпусом. Защита от перегрузки реализована в источнике питания.

Указанные на схеме транзисторы BC546 и BC556 можно заменить соответственно на КТ3102 и КТ3107, BC639 и BC640 – на КТ645 и КТ644, 2SC2389 – на КТ315. Составные транзисторы выходного каскада TIP142 и TIP147 прямых аналогов не имеют, их можно заменить соответственно на КТ827 и КТ825, установив дополнительные защитные диоды КД213 между коллектором и эмиттером в непроводящем направлении. При повторении конструкции имеет смысл отказаться от предварительного усилителя на ОУ и регулировать коэффициент усиления уменьшением глубины ООС УМЗЧ.

Четырехканальный усилитель **PPI 4240** (4 × 60 Вт) имеет аналогичную структуру (рис. 5.7). На входе каждого канала установлен предварительный усилитель на ОУ DA1 с общим для каждой пары каналов регулятором уровня

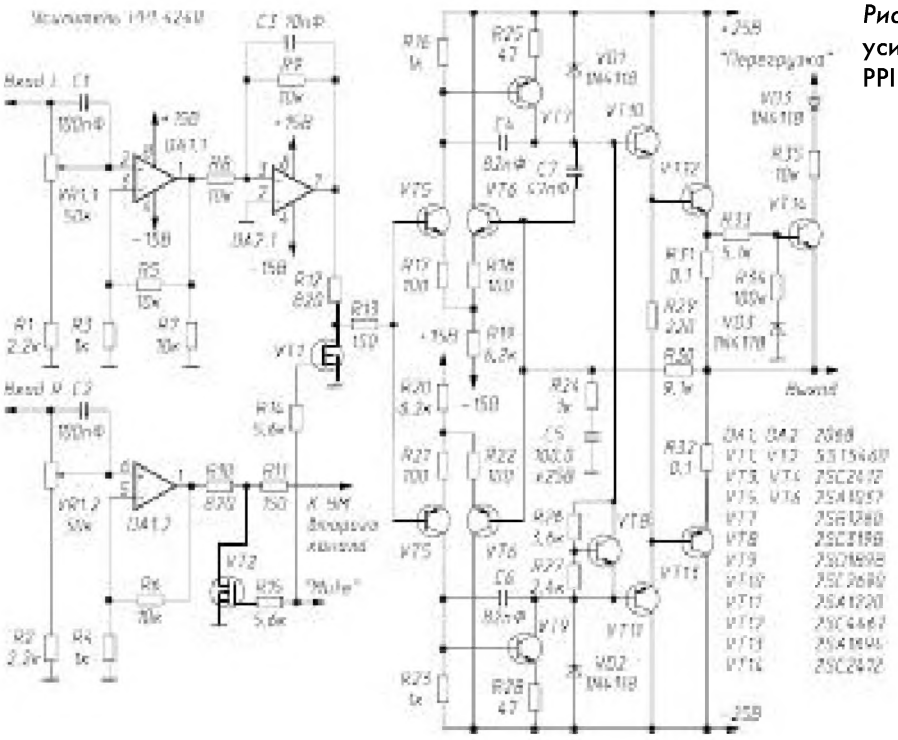


Рис. 5.7. Схема усилителя PPI 4240

входной чувствительности VR1 (сохранена заводская нумерация элементов). Коэффициент передачи предварительного усилителя изменяется от –6 до +20 дБ. Это обеспечивает широкий диапазон регулировки чувствительности – от 150 мВ до 3 В. В одном из каналов каждой пары предусмотрен инвертирующий повторитель на ОУ DA2, что позволяет использовать усилитель и с мостовым подключением нагрузки. Ключи на полевых транзисторах VT1,VT2 блокируют вход УМЗЧ на время переходных процессов при включении и выключении источника сигнала, обеспечивая «бесшумную» коммутацию. Это необходимо, поскольку усилитель мощности имеет открытый по постоянному току вход. Сигнал для управления ключами и блоком питания формируется отдельным каскадом.

Усилитель мощности имеет симметричную структуру. На входе установлен двойной дифференциальный каскад. Для расширения динамического диапазона дифференциального каскада в эмиттеры транзисторов VT3–VT6 включены резисторы R17, R18, R21, R22. Цепи эмиттеров дифференциальных каскадов питаются от дополнительного источника напряжения (на схеме не показан). Второй каскад – усилитель напряжения с местной ООС. Третий каскад – двухтактный эмиттерный повторитель на составных транзисторах. Корректирующие конденсаторы C4, C6, C7 обеспечивают устойчивость усилителя. Ток выходного каскада контролируется на резисторе R31. При увеличении его до 5 А транзистор VT14 открывается и включает триггерную защиту блока питания. Работа преобразователя напряжения блокируется. Для снятия блокировки после устранения перегрузки нужно выключить и вновь включить усилитель.

Для усилителей американских фирм характерны большие мощности. Так, выходная мощность двухканального усилителя **Lanzar RK1200-2C** на нагрузке 4 Ом составляет 2×300 Вт, в мостовом включении она возрастает до 1200 Вт. На рис. 5.8 приведена схема правого канала усилителя с заводской нумерацией элементов. Схема левого канала точно такая же, только номера деталей начинаются на «единичку» вместо «двойки» [79].

На входе усилителя установлен фильтр R242-R243-C241, устраняющий радиочастотные наводки от блока питания. Конденсатор C240 не попускает на вход усилителя мощности постоянную составляющую сигнала. На АЧХ усилителя в звуковом диапазоне частот эти цепи не влияют.

Чтобы избежать щелчков в моменты включения и выключения, вход усилителя замыкается на общий провод транзисторным ключом (этот узел рассмотрен далее, вместе

с блоком питания). Резистор R11A исключает возможность самовозбуждения усилителя при замкнутом входе.

Схема усилителя полностью симметрична от входа до выхода. Двойной дифференциальный каскад (Q201–Q204) на входе и второй каскад на транзисторах Q205, Q206 обеспечивают усиление по напряжению, остальные каскады – усиление по току. Каскад на транзисторе Q207 стабилизирует ток покоя усилителя. Чтобы устранить его «несимметричность» на высоких частотах, он зашунтирован майларовым конденсатором C253.

Каскад драйвера на транзисторах Q208, Q209, как и положено предварительному каскаду, работает в классе А. К его выходу подключена «плавающая» нагрузка – резистор R263, с которого снимается сигнал для возбуждения транзисторов выходного каскада.

В выходном каскаде использованы две пары транзисторов, что позволило снимать с него 300 Вт номинальной мощности и до 600 Вт пиковой (на нагрузке 4 Ом). В других усилителях этого семейства используется от одной до трех пар выходных транзисторов. Резисторы в цепях базы и эмиттера устраняют последствия технологического разброса характеристик транзисторов. Кроме того, резисторы в цепи эмиттера служат датчиками тока для системы защиты от перегрузок. Она выполнена на транзисторе Q230 и контролирует ток каждого из четырех транзисторов выходного каскада. При увеличении тока через отдельный транзистор до 6 А или тока всего выходного каскада до 20 А транзистор Q230 открывается, выдавая команду на схему блокировки преобразователя напряжения питания.

Коэффициент усиления задается цепью отрицательной обратной связи R280–R258–C250 и равен 15. Корректиру-

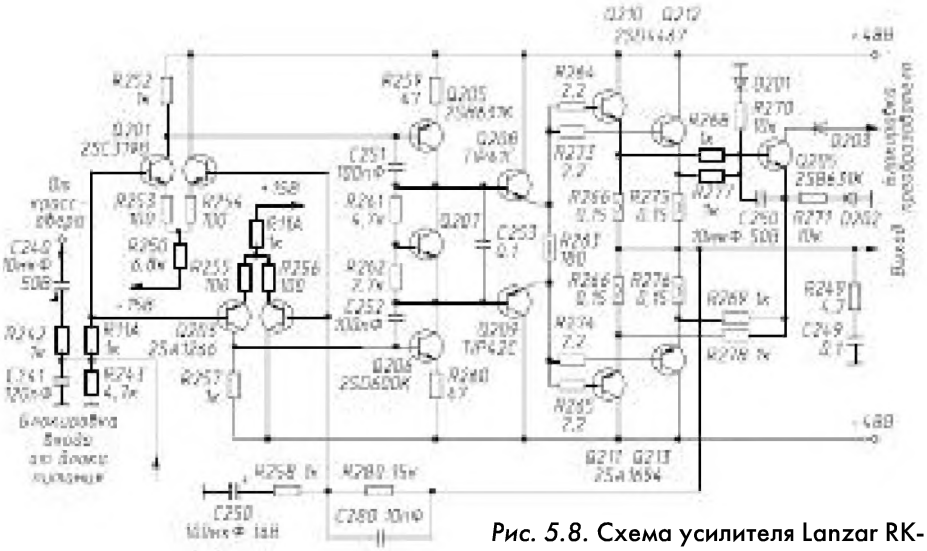


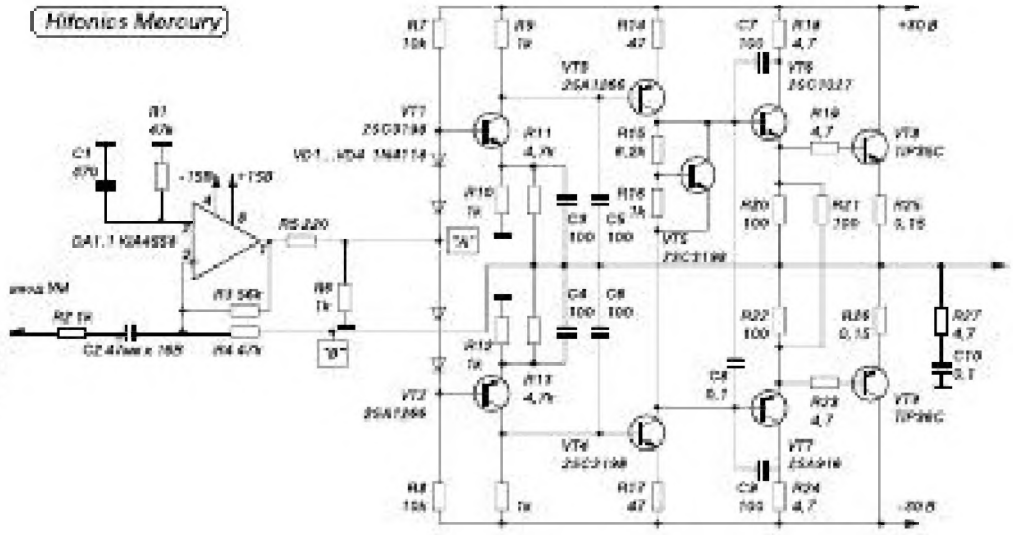
Рис. 5.8. Схема усилителя Lanzar RK-1200

ющие конденсаторы C251, C252, C280 обеспечивают устойчивость усилителя, охваченного ООС. Включенная на выходе цепь R249, C249 компенсирует рост импеданса нагрузки на ультразвуковых частотах и также препятствует самовозбуждению. В звуковых цепях усилителя использованы всего два электролитических неполярных конденсатора: C240 на входе и C250 в цепи ООС. Ввиду большой емкости заменить их конденсаторами других типов сложно.

5.4.2. Усилители с применением интегральных схем

Рассмотренные УМЗЧ выполнены на дискретных компонентах. Во многих усилителях ОУ используют не только в каскадах предварительного усиления, но и для «раскачки» транзисторов выходного каскада. Пример такого схемотехнического решения – усилитель мощности **Hifonics Mercury** (рис. 5.9) [108]. Эта же схема с незначительными вариациями используется во многих современных усилителях средней ценовой группы.

Рис. 5.9. Схема усилителя Hifonics Mercury



Особенность этого усилителя – применение многопетлевой ООС. Первый каскад усилителя выполнен на ОУ DA1 и через цепь R2R3 охвачен петлей ООС, снижающей его усиление до 35 дБ. Второй и третий каскады усиления выполнены двухтактными на комплиментарных парах транзисторов VT1VT2 и VT3VT4, включенных с ОЭ. Для обеспечения работы транзисторов VT1VT2 на линейном участке характеристики их базовые цепи подключены к цепочке сдвига уровня из последовательно включенных дио-

дов VD1–VD4. Выходной каскад построен по традиционной схеме на составных эмиттерных повторителях. Его особенность – наличие «выравнивающего» резистора R21 в цепи смещения выходных транзисторов.

Эти каскады УМЗЧ также охвачены петлей ООС, снижающей их усиление до 15 дБ. Напряжение обратной связи подается с выхода усилителя на эмиттеры транзисторов VT1 и VT2 через независимые цепи R10R11C3 и R12R13C4. Помимо этого, весь усилитель охвачен общей ООС через резистор R4. Для обеспечения устойчивости усилителя при многопетлевой ООС в выходных каскадах использована коррекция (конденсаторы C3–C9). Примененные решения позволяют получить очень низкий коэффициент гармоник усилителя – менее 0,05% при выходной мощности 2 × 50 Вт на нагрузке 4 Ом.

Рассмотренный канал усиления – инвертирующий. Для возможности работы усилителя с мостовым включением нагрузки второй канал выполнен неинвертирующим. С этой целью там использовано неинвертирующее включение ОУ первого каскада (рис. 5.10). Остальная часть схемы отличий не имеет.

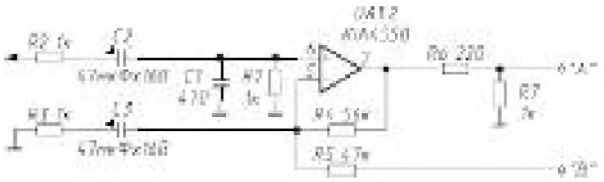


Рис. 5.10. Входной каскад второго канала усилителя Hifonics Mercury

Аналогичную структуру имеет и УМЗЧ усилителя Clarion APA 4202 (рис. 5.11). Основное отличие в том, что использован только один каскад усиления напряжения, а связь ОУ с выходным каскадом выполнена на резисторах. Поскольку выходной каскад инвертирующий, сигнал общей ООС подается на неинвертирующий вход ОУ.

Усилители относительно небольшой мощности можно выполнить полностью интегральными, что заметно упрощает конструкцию. В любительских и промышленных конструкциях широкое распространение получила ИМС TDA7294, выходной каскад которой выполнен на полевых транзисторах. Усилители на основе этой микросхемы в типовом включении развивают максимальную выходную мощность до 100 Вт при весьма высоком качестве звучания. На рис. 5.12 приведен один из вариантов включения TDA7294. Схема предельно проста и не требует пояснений. Цепи, подключенные к выводам 9 и 10, обеспечивают «мягкое» включение и выключение усилителя. Коэффициент усиления задается делителем R6, R5.

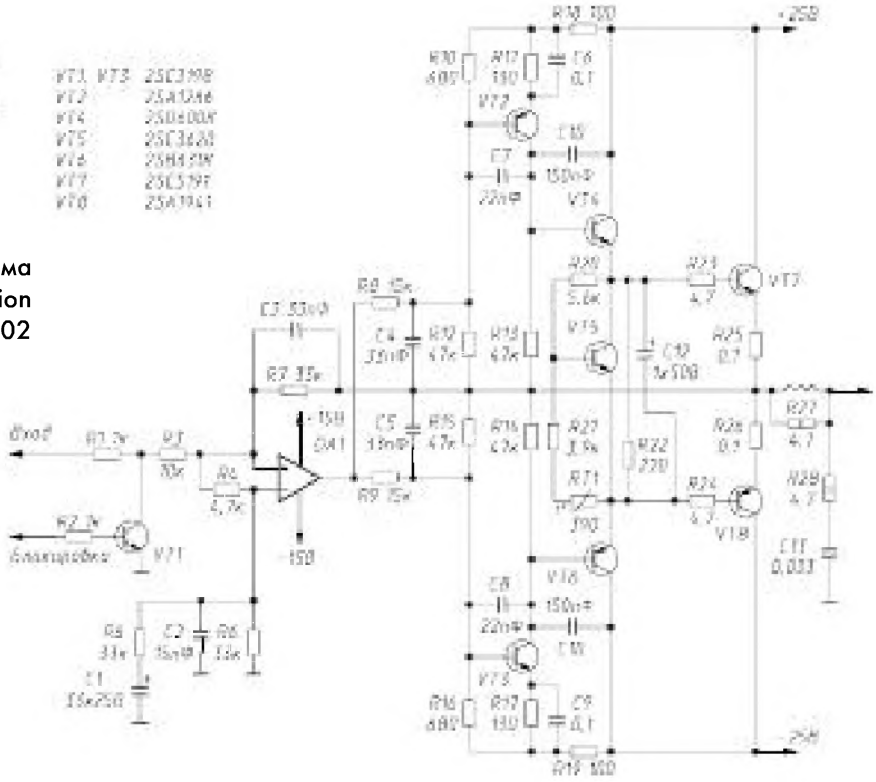


Рис. 5.11. Схема усилителя Clarion APA 4202

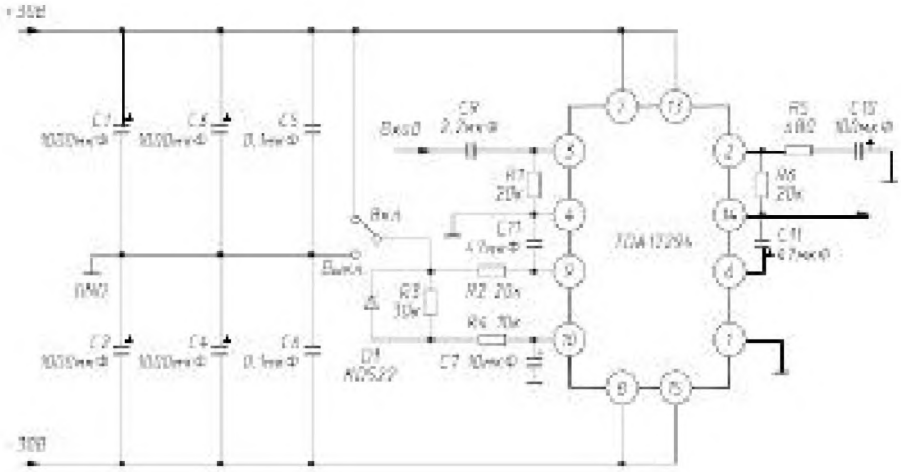


Рис. 5.12. Усилитель на ИМС TDA7294

В аудиосистемах начального уровня, где вся акустика, кроме сабвуфера, питается от магнитолы, можно использовать несложный самодельный усилитель, схема которого приведена на рис. 5.13.

Усилитель построен на основе микросхемы TDA2030A (отечественный аналог К174УН19). Дополнительные транзисторы обеспечивают косвенную разгрузку выходного каскада микросхемы на пиках мощности. Сигнал на выход-

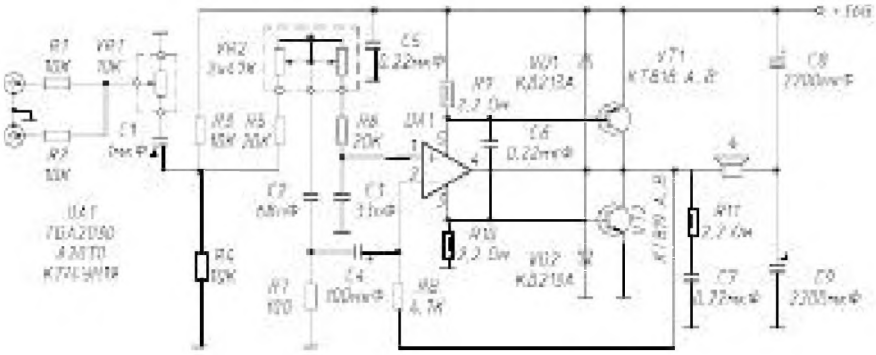


Рис. 5.13. Простой усилитель для сабвуфера

ные транзисторы снимается с датчиков потребляемого микросхемой тока – резисторов R9, R10. Усилитель охвачен комбинированными обратными связями, превращающими его в мощный ФНЧ второго порядка с характеристикой Баттерворта. Подобное решение под названием *Power filter* (фильтрующий усилитель) было предложено фирмой SGS Thomson.

Номинальная мощность усилителя – 35 Вт, нижняя граница полосы воспроизводимых частот – 25 Гц. Верхняя граница изменяется от 60 Гц до 150 Гц. Встроенный сумматор, регулятор чувствительности и перестраиваемый ФНЧ позволяют подключаться к любой магнитоле. Если у нее нет линейных выходов, сопротивление резисторов R1, R2 нужно увеличить до 32–47 кОм и снимать сигнал с «колоночных» выходов магнитолы.

Для питания усилителя можно использовать любой преобразователь напряжения (например, один из рассмотренных далее), исключив в нем выпрямитель напряжения отрицательной полярности и оставив только одну пару выходных транзисторов. Хотя в схеме использовано однополярное питание, нагрузка подключена к «виртуальной земле», образованной последовательным соединением конденсаторов C8 и C9. Поэтому «щелчок» от зарядки конденсаторов при включении усилителя почти не прослушивается.

При изготовлении усилителя выходные транзисторы можно разместить на общем радиаторе площадью порядка 300 см^2, изолировав его от корпуса. Микросхема в этом случае размещается на аналогичном радиаторе, также изолированном от корпуса. Транзисторы и микросхему можно установить на общем корпусе-радиаторе через изолирующие прокладки. В случае самовозбуждения усилителя на инфранизких частотах необходимо увеличить сопротивление резистора R7 до 150–200 Ом.

Рассмотренные усилители, за исключением одного, обладают выходной мощностью от 30 до 50 Вт на канал. Для большинства автомобильных аудиосистем этого более чем достаточно. С учетом уровня шумов в салоне, чувствительности АС и динамического диапазона сигнала *средняя* выходная мощность обычно не превышает 3–5 Вт на канал. Запас мощности требуется только для неискаженной передачи кратковременных пиков сигнала. Поэтому многие бюджетные модели усилителей спроектированы с учетом этого фактора и долговременная мощность блока питания не соответствует максимальной мощности усилителя. Поведение таких усилителей при большой выходной мощности зависит не от схемотехники УМЗЧ, а от энергетических возможностей блока питания (см. раздел 5.5).

5.4.3. Гибридные усилители

Ламповый ренессанс, захлестнувший «домашних» аудиофилов, распространился и на их «колесных» собратьев, хотя «классовые битвы» и не приняли такого размаха. Возвращение радиоламп ни в коем случае нельзя воспринимать только как проявление ностальгии – хотя на нее чаще всего упирают в рекламе, истинная причина все же в другом. Ламповый каскад в транзисторном усилителе – отнюдь не прихоть разработчика и не дань моде, а наиболее элегантный способ решения целого ряда проблем, стоящих на пути к высококачественному звучанию.

Чтобы объяснить возвращение лампы в аудио вообще и car audio – в частности, необходимо сделать небольшой экскурс в схемотехнику. Современные транзисторные усилители, за небольшим исключением, выполнены по структурной схеме «усилитель напряжения + усилитель тока». Усилительный каскад (драйвер) обеспечивает необходимое усиление по напряжению (несколько десятков раз), а выходной каскад, выполненный по схеме усилителя тока, согласовывает низкое сопротивление нагрузки с высоким выходным сопротивлением драйвера. Коэффициент усиления по току может достигать нескольких миллионов.

Основная проблема, возникающая перед разработчиком усилителя, – линейность, то есть отсутствие искажений формы сигнала. Самый естественный (но отнюдь не самый простой) способ – использовать высоколинейные каскады. Однако в рамках транзисторной схемотехники оказалось более удобным «давить» искажения «кривых» каскадов при помощи глубокой отрицательной обратной связи (ООС). Объективно измеряемые показатели при этом легко довести до требуемых, и большинство разработ-

чиков уже почти четыре десятилетия идут по этому пути. И лишь немногие из них осознают, что при грамотном конструировании необходимо решить еще целый ряд побочных задач. В противном случае звучание усилителя с глубокой ООС станет жестким и безжизненным, несмотря на исчезающе малый коэффициент гармоник. Возможно, именно недостаточно тщательный уровень разработки массовых усилителей послужил причиной того, что ООС обвинили буквально во всех грехах. В эксклюзивных усилителях конструкторы поспешили полностью отказаться от обратной связи, однако небольшие отклонения характеристик комплектующих таких усилителей приводят к тому, что звучание каждого отдельного экземпляра приобретает ярко выраженные индивидуальные признаки. Впрочем, подробное обсуждение этого вопроса уведет нас слишком далеко от основной темы.

Что же делать? Истина, как всегда, лежит посередине – необходимо использовать каскады с высокой собственной линейностью, но и отказываться полностью от ООС не стоит (хотя бы ради обеспечения стабильности параметров в процессе эксплуатации). От общей обратной связи лучше перейти к локальным ООС в каждом каскаде. Линейный режим работы выходного каскада довольно легко достигается применением полевых транзисторов. Уровень вносимых ими гармонических искажений гораздо ниже, чем у биполярных транзисторов, а характер звучания напоминает электровакуумные лампы. Кроме того, параметры полевых транзисторов при больших токах более стабильны, поэтому они уже применяются и в массовых моделях усилителей.

Самым же узким местом усилителя остается драйверный каскад, он в значительной степени определяет характер звучания. Если применить в драйверном каскаде электронную лампу, то за счет большого коэффициента усиления и высокой перегрузочной способности можно сократить число каскадов усиления, а изначально высокая линейность позволит значительно ослабить (или вовсе исключить) общую ООС. Таким образом, гибридные усилители наследуют лучшие черты транзисторных и ламповых усилителей, при этом лишены большинства их недостатков.

Б. К. Батлер, используя свой богатый «ламповый» опыт, разработал концепцию лампового драйверного каскада Tube Driver и применил ее на практике. Американская фирма Butler Audio Inc первой выпустила мощный гибридный усилитель для автомобиля. Уже в ноябре 1997 года был начат выпуск двух моделей усилителей Tube Drive (мощностью 2 × 75 и 2 × 150 Вт). В них применялся регулятор рабочей точки драйверной лампы VTE (Variable Tube Enhace-

ment), позволявший менять характер звучания за счет изменения линейности и спектра искажений.

Впоследствии на смену этим усилителям пришел Tube Driver BLUE 2150. Исключена не получившая должной оценки подстройка рабочего режима ламп VTE, да и сами лампы использованы другие. Взамен грушевидных крупногабаритных 6L6GC первоначально были установлены более компактные американские же двойные триоды 6SL7GT. Однако и им вскоре пришлось искать замену по вполне прозаической причине – в наши дни электронные лампы серийно выпускаются только в России и в КНР. В усилителях выпуска 2006 года были обнаружены как октальные 6N9P китайского производства, так и до боли знакомые 6Н5С, причем еще советских времен! Наверняка «из закромов Родины», в этой области мы точно «впереди планеты всей».

Кстати, архаичные даже по меркам полувековой давности лампы с октальным цоколем выбраны неспроста. Смещение электродов под собственным весом или при прогреве у них ничтожно по сравнению с относительно большими межэлектродными расстояниями, поэтому не приводит к заметному изменению параметров. Это позволяет не заботиться о рабочем положении усилителя, чего нельзя сказать о пальчиковых лампах – для них регламентировано вертикальное положение баллона (межэлектродные расстояния маленькие, «однобокое» провисание сетки может заметно изменить рабочий режим).

Связь драйверного каскада с выходным непосредственная. В выходном каскаде каждого из двух каналов усилителя использованы три пары МОП-транзисторов. В усилителе отсутствует общая ООС (в каждом каскаде есть местная), а для стабилизации режима предусмотрены отдельные цепи. Все детали проходят ручной отбор, что гарантирует долговременную стабильность параметров.

Лампы с октальными цоколями непосредственно впаяны в кросс-плату без ламповых панелей. Такое решение заметно повышает стойкость усилителя к вибрациям, но слегка осложняет замену ламп. Однако волноваться не стоит – ресурс ламп составляет по ТУ несколько тысяч часов, причем с традиционным вариантом накала (переменным током 50 Гц, с колебаниями напряжения по 10–20%). В усилителе же для увеличения стабильности и продления ресурса нити накала ламп питаются стабилизированным постоянным напряжением с «мягким стартом». Не обошлось и без декора – в центральном штыре (ключе) цоколя каждой лампы смонтирован синий светодиод, который подсвечивает баллон. Оно и понятно – катоды косвенного накала светятся тускло, как еще подчеркнуть красоту? Контуры балонов хо-

рошо видны через перфорацию в верхней тонкостенной крышке корпуса.

Конструкция нового усилителя заметно отличается от моделей предыдущей линейки – она гораздо ближе к привычным автомобильным решениям, что не в последнюю очередь обусловлено и соображениями технологичности. Раньше в выходном каскаде применялись транзисторы в металлических корпусах, требующие квалифицированного ручного монтажа. В центре платы возвышался массивный радиатор охлаждения с вентилятором, обеспечивающим циркуляцию воздуха, корпус усилителя был тонкостенным. В новой модели использованы более технологичные решения – традиционный для автомобильных усилителей алюминиевый корпус-радиатор и транзисторы в металлопластовых корпусах, прижатые к радиатору накладками. Вентилятор остался, но стал более компактным. Теперь он не столько охлаждает выходные транзисторы (им вполне хватает ребер радиатора), сколько обеспечивает циркуляцию воздуха в пространстве между печатной платой и «спинкой» корпуса.

Усилитель предназначен для самых бескомпромиссных слушателей. Поэтому, кроме чувствительности, никаких других регулировок не предусмотрено. Нет и встроенного кроссовера.

Рис. 5.14. Усилитель Tube Driver BLUE 2150 (Butler Audio Inc.)

Рассмотренный усилитель предназначен для аудиофилов и относится к верхней ценовой категории. Для массового покупателя предназначены модели попроще, в которых исключен ручной отбор деталей. Тем не менее в конструк-

ции усилителя мощности использованы все те же «ламповые» принципы.

Типичный представитель этой группы – гибридный усилитель ADAGIO VAC 75.4N. В усилителе мощности применен ламповый драйвер на пальчиковых двойных триодах 12AX7. И хотя усилитель изготовлен в Корее (до КНР, где лампы делают, – рукой подать), в нем все же установлены лампы производства Sovtek (кто не в курсе – знаменитый завод «Светлана»). «Мэйд ин Раша – знай наших!»

Интересная особенность лампового каскада – «транзисторное» напряжение питания. Отсутствие источника напряжения в пару-тройку сотен вольт идет только на пользу общей надежности и безопасности усилителя, но предъявляет особые требования к схемотехнике. При низком анодном напряжении («всего» 70 В) необходимо жестко стабилизировать рабочий режим лампы – это нужно и для обеспечения заданных характеристик, и для продления ее ресурса.

Прослушивание гибридных усилителей всегда оставляет массу впечатлений. Каждый усилитель обладает своим собственным звуковым почерком, который невозможно спутать ни с чем. Через несколько минут работы, после прогрева, звучание становится необыкновенно теплым и естественным, сочетающим глубину звуковой панорамы с великолепной точностью передачи деталей звучания. Особенно хорошо воспроизводится атака сигнала – например, щипок струны при акустической записи или легкое касание края тарелки ударником. В старых, давно знакомых записях неожиданно выходят на передний план мелкие детали, завуалированные в других аудиотрактах. Даже записи формата MP3 звучат не так сухо.

5.5. БЛОКИ ПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Создать усилитель большой мощности не так уж сложно. Намного труднее обеспечить ему надежное питание. Без преувеличения можно сказать, что качественные показатели автомобильного усилителя в режиме большой мощности определяются исключительно блоком питания [43, 78, 79]. Нехватка мощности преобразователя приводит к дополнительным искажениям пиков сигнала, ухудшению разделения каналов, повышению выходного сопротивления усилителя и снижению демпфирования. В случае работы усилителя на сабвуфер последнее обстоятельство имеет решающее значение. Словом, блок питания – это намного больше, чем «пол-усилителя». Кстати, приблизительно та-

кую площадь на плате усилителя и должен занимать «нормальный» источник питания в аналоговом усилителе.

Преобразователи напряжения питания делятся на две группы – *стабилизированные и нестабилизированные*. Нестабилизированные заметно проще и дешевле, но им свойственны серьезные недостатки. На пиках выходной мощности напряжение преобразователя снижается, что приводит к увеличению искажений сигнала. Если увеличить мощность преобразователя, это снизит экономичность при малой выходной мощности. Поэтому нестабилизированные преобразователи применяются, как правило, в усилителях суммарной мощностью не более 100–120 Вт. При более высокой выходной мощности усилителя предпочтение отдается стабилизированным преобразователям.

Как правило, блок питания смонтирован в одном корпусе с усилителем, но в некоторых конструкциях он может быть выполнен в виде отдельного модуля. Для включения/выключения усилителя используется управляющее напряжение от головного аппарата (вывод Remote). Потребляемый по этому выводу ток, как правило, минимален – несколько миллиампер, и связан не с мощностью усилителя, а с реализацией цепей управления (подробно об этом далее).

Преобразователь напряжения, как и любой источник питания, обладает определенным выходным сопротивлением. При питании от общего источника между каналами усилителя возникает взаимосвязь, величина которой тем больше, чем больше выходное сопротивление источника питания. Оно, в свою очередь, для нестабилизированного преобразователя обратно пропорционально его мощности.

Одной из составляющих выходного сопротивления блока питания становится и сопротивление питающих проводов. В моделях высокого класса для питания выходных каскадов усилителя используются объемные медные шины сечением 3–5 мм^2. Это кардинальное решение энергетических проблем усилителя, улучшающее динамику и точность передачи сигнала.

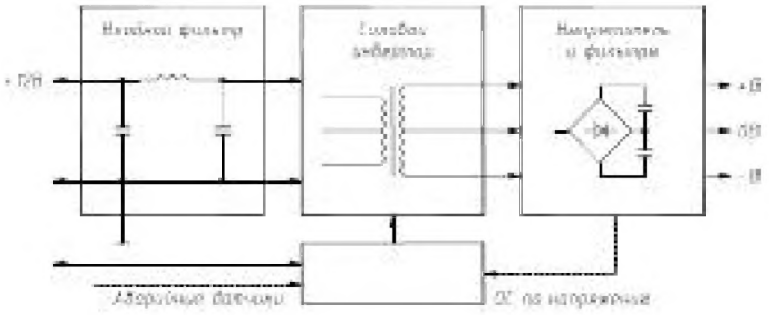
Конечно, повысив мощность источника питания, взаимное влияние каналов можно уменьшить, но полностью исключить его нельзя. Если же использовать для каждого канала отдельный преобразователь, проблема снимается. Требования к отдельным источникам питания при этом можно заметно снизить. Обычно уровень переходного затухания усилителей с общим блоком питания составляет для бюджетных моделей 40–55 дБ, для более дорогих – порядка 50–65 дБ. Для усилителей с раздельными блоками питания этот показатель превышает 70 дБ.

Автомобильные усилители имеют еще одну особенность. Обычно компоненты системы удалены на значительное расстояние друг от друга и для их соединения используются сигнальные кабели довольно большой длины. Чтобы исключить образование чувствительного к наводкам паразитного контура (длина «земляных» проводников в автомобиле может достигать 10 м и более), приходится принимать специальные меры. Прежде всего нужно стремиться к тому, чтобы в системе была единственная точка заземления, но это условие не всегда можно выполнить. Для уменьшения уровня помех общий провод блока питания и усилителя имеет полную гальваническую развязку или связан через резистор сопротивлением порядка 1 кОм. В зависимости от места и способа монтажа усилителя, линий питания и связи для достижения минимального уровня наводок может понадобиться и непосредственное соединение первичных и вторичных цепей. Поэтому в некоторых усилителях режим связи «земли» можно переключать.

5.5.1. Структура блоков питания

Преобразователи напряжения [43] (далее – ПН) выполняют по следующей структурной схеме, изображенной на рис. 5.15.

Рис. 5.15. Структурная схема преобразователя напряжения



Входной фильтр развязывает бортовую сеть от импульсов тока, потребляемого ПН. Емкости на выходе фильтра непосредственно питают силовой каскад инвертора (обмотки и ключи). Так как токи в этой цепи измеряются десятками ампер, крайне важно расположить силовые ключи, трансформатор и емкости как можно ближе друг к другу. Топология этого узла в большей степени, чем схемотехника, оказывает влияние на характеристики преобразователя напряжения.

Силовой инвертор строится по двухтактной схеме. В маломощных ПН возможно применение инвертора на симметричном автотрансформаторе, но такое решение ис-

ключает возможность развязки «чистой» и «грязной» земли, поэтому на выходе такого усилителя неизбежен фон частоты преобразования. В подавляющем большинстве конструкций используется трансформаторная схема, свободная от этого недостатка. Рабочая частота ПН по соображениям себестоимости ограничена 40...100 кГц, реже – до 200 кГц.

Силовой инвертор первых автомобильных усилителей выполнялся на биполярных транзисторах. Их недостаток – высокое напряжение насыщения при больших токах. При токе 10–15 А падение напряжения на силовом транзисторе может превышать 1 В, что значительно снижает КПД преобразователя и его надежность. Частоту преобразования не удается сделать выше 25–30 кГц, в результате растут габариты силового трансформатора и потери в нем. В современных преобразователях используются N-МДП ключевые транзисторы с малым сопротивлением открытого канала ($R_{си}$ < 0,02 Ом).

При использовании в инверторе двух-трех транзисторов на плечо (мощность ПН до 400...600 Вт) транзисторы каждого плеча включаются параллельно, работая на одну обмотку. В преобразователях большой мощности для равномерного распределения нагрузки и уменьшения влияния разброса параметров транзисторов и нагрузки в трансформаторе используются несколько параллельно включенных первичных обмоток. Например, в преобразователе усилителя **Lanzar 5.200** использовано 20(!) мощных полевых транзисторов, по 10 в каждом плече. Повышающий трансформатор содержит 5 первичных обмоток. Каждую из них «обслуживают» 4 транзистора (по два в плече параллельно). Для лучшей фильтрации высокочастотных помех возле транзисторов установлены индивидуальные фильтрующие конденсаторы суммарной емкостью 22000 мкФ. Обмотки трансформатора подключены непосредственно к выводам транзисторов, без использования печатных проводников [78].

Выходные транзисторы усилителя и ключевые транзисторы преобразователя чаще всего используют в пластиковых корпусах, аналогичных ТО-220. К радиатору их крепят либо винтами, либо пружинными клипсами. Способность металлических корпусов ТО-3 отводить тепло выше, но монтаж их намного сложнее, поэтому используют их редко, только в самых дорогих моделях.

Силовые трансформаторы в промышленных конструкциях выполняются почти исключительно на тороидальных сердечниках, обеспечивающих минимальные габариты и хорошее естественное охлаждение. Количество витков в обмотках невелико: порядка 3...6 витков в каждой первичной,

5...20 – во вторичных. Обычно используется одножильный провод, реже встречаются «косы», как правило, из семи изолированных жил. Применение такого «литцендрата» уменьшает потери на скин-эффект, но увеличивает сложность изготовления и монтажа трансформатора, поэтому оправдано только для усилителей большой мощности. Для подавления ВЧ-дребезга как первичные, так и вторичные обмотки шунтируют последовательными RC-цепями (снабберами).

Число витков первичной обмотки можно рассчитать по следующей формуле:

$$W = \frac{2500 \times U}{F \times B \times S},$$

где U – напряжение питания за вычетом падения напряжения на транзисторе;
F – частота преобразования, Гц;
B – индукция насыщения, Тл (для М2000НН – 0,25 Тл);
S – сечение магнитопровода, кв. см.

Выпрямление осуществляется быстрыми импульсными диодами с малым временем восстановления (отечественные аналоги КД2994, КД2997, в крайнем случае – КД213). Диоды устанавливают на радиаторах. Выходной фильтр строится по схеме C-L-C, на качественных импульсных оксидных конденсаторах. Выходная емкость фильтра обычно невелика, не более 2 × 1000 мкФ на канал усиления 50 Вт. Большая емкость не требуется. В отличие от сетевого УМЗЧ, где емкость должна поддерживать питающее напряжение во время пауз работы выпрямителя (до 10 мс), в ПН вся фильтрация осуществляется ФНЧ на дросселе (частота среза 200...2000 Гц). Емкость нужна для того, чтобы быстро откликнуться на импульс тока нагрузки. Далее напряжение и ток поддерживаются уже всей цепью питания от АКБ до трансформатора (в стабилизированных ПН – еще и работой петли ОС).

В первых конструкциях автомобильных усилителей использовались преобразователи с самовозбуждением, затем перешли к преобразователям с внешним возбуждением. Появление специализированных микросхем, содержащих на одном кристалле задающий генератор и цепи управления, значительно упростило конструкцию блоков питания. Чтобы исключить сквозной ток в выходном каскаде, управляющие ИС формируют *мертвое время* между управляющими импульсами. Без мертвого времени в выходном сигнале появляются кратковременные, но мощные «игольчатые» помехи, соответствующие сквозному току. Эти помехи

могут не только распространяться по цепям питания, но и наводиться «по воздуху» на входные каскады усилителя.

Широко используются два типа управляющих ИС.

ИС семейства TL494 (TL594, 1114ЕУ4) работают на тактовых частотах до 300кГц. Два дифференциальных усилителя сигнала ошибки позволяют объединить в одной ИС функции линейного стабилизатора (ОС по напряжению) и аварийного компаратора (на перегрев или на КЗ в нагрузке). Имеются вход плавного запуска, защита от включения при пониженном питании, синхронное ШИМ управление в пределах одного такта. Существенный недостаток большинства микросхем (кроме малораспространенной ИС TL598) – выходные каскад на одиночных NPN-транзисторах. При включении их эмиттерными повторителями ИС способна достаточно быстро зарядить емкость затвора МДП-ключа, но не способна столь же быстро ее разрядить. Поэтому необходим внешний усилитель тока (драйвер затвора).

В минимальном варианте заряд производится встроенным транзистором ИС, а для ускорения разряда вводится цепь на PNP-транзисторе. В мощных (свыше 300 Вт) ПН распространен вариант комплиментарного эмиттерного повторителя. Драйвер затвора, как правило, размещается непосредственно рядом с ключевыми транзисторами, а ИС контроллера – в любом подходящем месте.

ИС семейства UC3825 (1156ЕУ2, также SG3525) рассчитаны на тактовые частоты до 1 МГц. Помимо традиционной ОС по напряжению, они используют синхронное токовое управление выходными ключами. Главное их преимущество в автомобильных ПН не столько в этом, сколько в мощном двухтактном выходном каскаде, не требующем внешнего усилителя тока (до 1,5 А в импульсе при соблюдении пределов безопасного режима). Питание драйвера изолировано от питания собственно схемы управления. Логика управляющих входов не столь удобная, как в TL494, – есть единственный дифференциальный усилитель (ОС по напряжению) и аварийный пороговый детектор (блокировка высоким уровнем). Поэтому применяются они реже.

5.5.2. Цепи управления и защиты

Цепи управления обеспечивают включение преобразователя по сигналу remote от головного устройства. Напряжение питания на силовые транзисторы подано постоянно, и управление производится по цепи задающего генератора. Используются три варианта управления [43]:

- сигнал remote непосредственно питает ИС контроллера. Магнитолы не всегда обладают необходимой

нагрузочной способностью по управляющему выходу. Необходимо также принимать меры к стабилизации этого напряжения;

- сигнал remote подается на управляющий вывод контроллера, напряжение питания подано на него постоянно. Вариант более надежен, но усилитель в выключенном состоянии потребляет ток 20–30 мА;
- входной сигнал REM управляет ключом с проходным PNP-транзистором, коммутирующим внутреннюю шину питания контроллера и схем автоматики. Этот вариант наиболее рационален с позиций как надежности, так и экономичности.

В автомобильных усилителях обязательно используется защита от короткого замыкания нагрузки и от перегрева. Иногда имеется также защита нагрузки от постоянного напряжения в случае выхода из строя выходного каскада усилителя. Первичная цепь защищается плавким предохранителем, автоматическая защита по току первичной цепи в автомобильных ПН не используется. Эта часть схемы для современных автомобильных усилителей стала практически типовой и выполняется с незначительными изменениями.

Защита по выходному току и от постоянного напряжения на выходе УМЗЧ реализуется теми же средствами, что и в домашней аппаратуре, за одним исключением: в автомобильных УМЗЧ не применяются реле защиты АС. Зарядка емкостей питания происходит быстро и симметрично, поэтому хлопка в АС при включении не происходит – достаточно заблокировать вход УМЗЧ. Если же на выходе появляется постоянное напряжение – емкость фильтра достаточно мала, чтобы ее разряд привел к повреждению АС.

Поскольку автомобильным усилителям приходится работать в очень тяжелом температурном режиме, для обеспечения надежной работы в некоторых конструкциях используются встроенные вентиляторы, продувающие воздух через каналы корпуса-радиатора. Управление вентиляторами осуществляется от термодатчика. Используется как дискретное управление («включен-выключен»), так и плавная регулировка скорости вращения вентилятора.

5.5.3. Практические схемы узлов ПН

В первых автомобильных усилителях использовались преобразователи напряжения, выполненные полностью на дискретных элементах, с мощными биполярными ключевыми транзисторами [68]. Применение полевых транзисторов в блоке питания (*MOS Powered*) повышает надежность и экономичность. Частота преобразования во многих конст-

рукциях превышает 100 кГц. Упрощенная схема нестабилизированного преобразователя напряжения питания четырехканального усилителя приведена на рис. 5.16. Нумерация элементов условная.

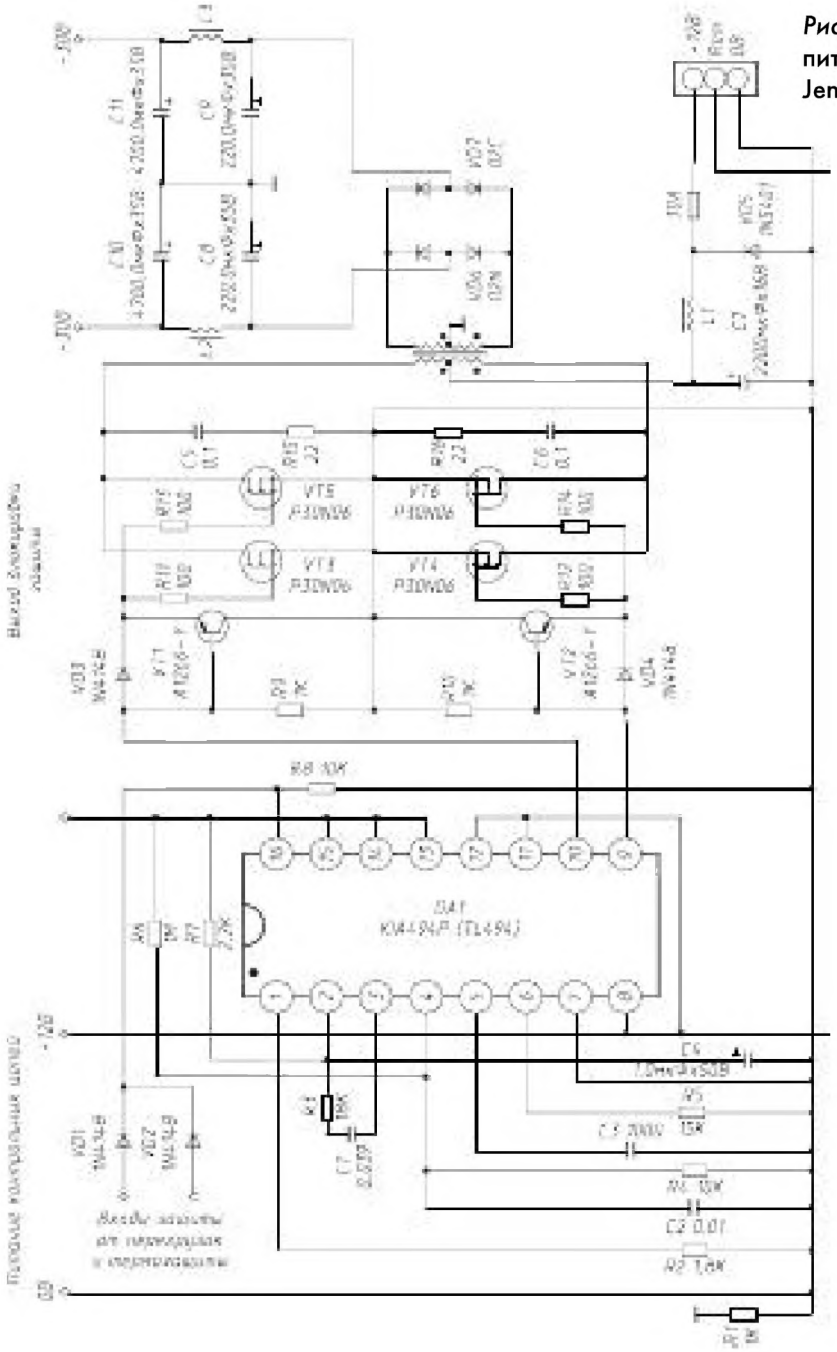


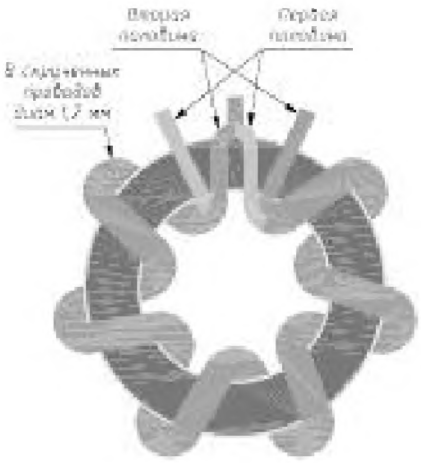
Рис. 5.16. Источник питания усилителя Jensen

Задающий генератор собран на микросхеме TL494 (аналог КР1114ЕУ4). Цепи защиты на схеме не показаны. В выходном каскаде, помимо указанных на схеме, можно ис-

пользовать мощные полевые транзисторы КП812В, КП850, IRF150, IRFP044 и IRFP054. Диоды 1N4118 можно заменить на КД522Б. Диоды выпрямителя – КД2994, КД213 – необходимо снабдить теплоотводом. В оригинале конструкции использованы отдельные диодные сборки с общим анодом и общим катодом, смонтированные через изолирующие прокладки на корпусе-радиаторе вместе с выходными транзисторами усилителя.

Трансформатор можно намотать на ферритовом кольце К42×28×10 или К42×25×11 с магнитной проницаемостью 2000. Первичная обмотка намотана «косой» из 8 проводов диаметром 1,2 мм, вторичная – «косой» из 4 проводов диаметром 1 мм. После намотки каждая «коса» разделена на две части, и начало одной половины обмотки соединено с концом другой. Первичная обмотка содержит 2 × 6,5 витков, вторичная – 2 × 15 витков, равномерно распределенных по кольцу (рис. 5.17).

Рис. 5.17. Схема намотки трансформатора



Данные дросселей некритичны. Дроссель L1 намотан на ферритовом стержне диаметром 16 мм и содержит 10 витков эмалированного провода диаметром 2 мм. Дроссели L2, L3 намотаны на ферритовых стержнях диаметром 10 мм и содержат по 10 витков эмалированного провода диаметром 1 мм. Длина каждого стержня – 20 мм.

Рассмотренные схемы с незначительными изменениями используются в усилителях с суммарной выходной мощностью до 100...120 Вт. Варьируются число пар выходных транзисторов, данные трансформатора и реализация цепей защиты. В преобразователях напряжения более мощных усилителей вводится обратная связь по выходному напряжению, а число ключевых транзисторов инвертора увеличивается. Для гальванической развязки первичных и вто-

ричных цепей в цепи ОС по выходному напряжению используются оптроны.

Узел термозащиты обычно реализуется на основе термистора и компаратора. Иногда применяют специализированные компараторы в интегральном исполнении, но чаще в этой роли используют стандартные ОУ. Пример реализации данного узла в том же усилителе **Jensen** приведен на рис. 5.18. Нумерация деталей условная.

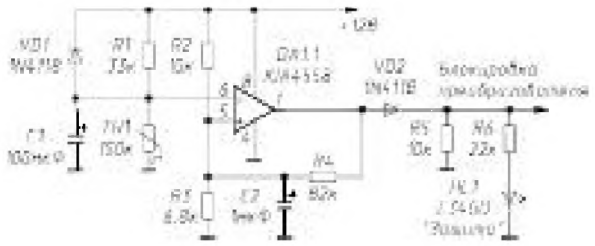


Рис. 5.18. Узел термозащиты усилителя Jensen

Термистор TH1 имеет тепловой контакт с корпусом усилителя вблизи выходных транзисторов. Напряжение с термистора подано на инвертирующий вход ОУ. Резистор R1 задает начальный ток через термистор, конденсатор C1 предотвращает ложные срабатывания защиты. Дело в том, что длина проводов, которыми подключен термистор, составляет около 20 см. Поэтому уровень наводок от блока питания достаточно велик. Делитель напряжения R2R3 задает пороговое напряжение на неинвертирующем выходе DA1.1. Через резистор R4 осуществляется положительная обратная связь с выхода ОУ, превращающая ОУ в пороговый элемент с гистерезисом. При нагреве корпуса до 100 градусов сопротивление термистора снижается до 25 кОм, компаратор срабатывает и высоким уровнем напряжения на выходе блокирует работу преобразователя.

Мощные блоки питания выполняют с отдельными выходными каскадами преобразователя для питания усилителей мощности левого и правого каналов (или групп каналов). Такая структура позволяет уменьшить переходные помехи между каналами. В качестве примера на рис. 5.19 приведена схема блока питания рассмотренного ранее двухканального усилителя **Lanzar RK 1200-2C** [79].

Для каждого преобразователя предусмотрен отдельный LC-фильтр в цепи питания. Диоды D501,D501A защищают усилитель от ошибочного включения в неправильной полярности. В каждом преобразователе использованы три пары полевых транзисторов и трансформатор, намотанный на ферритовом кольце. Выходное напряжение преобразователей выпрямляется диодными сборками D511, D512, D514,

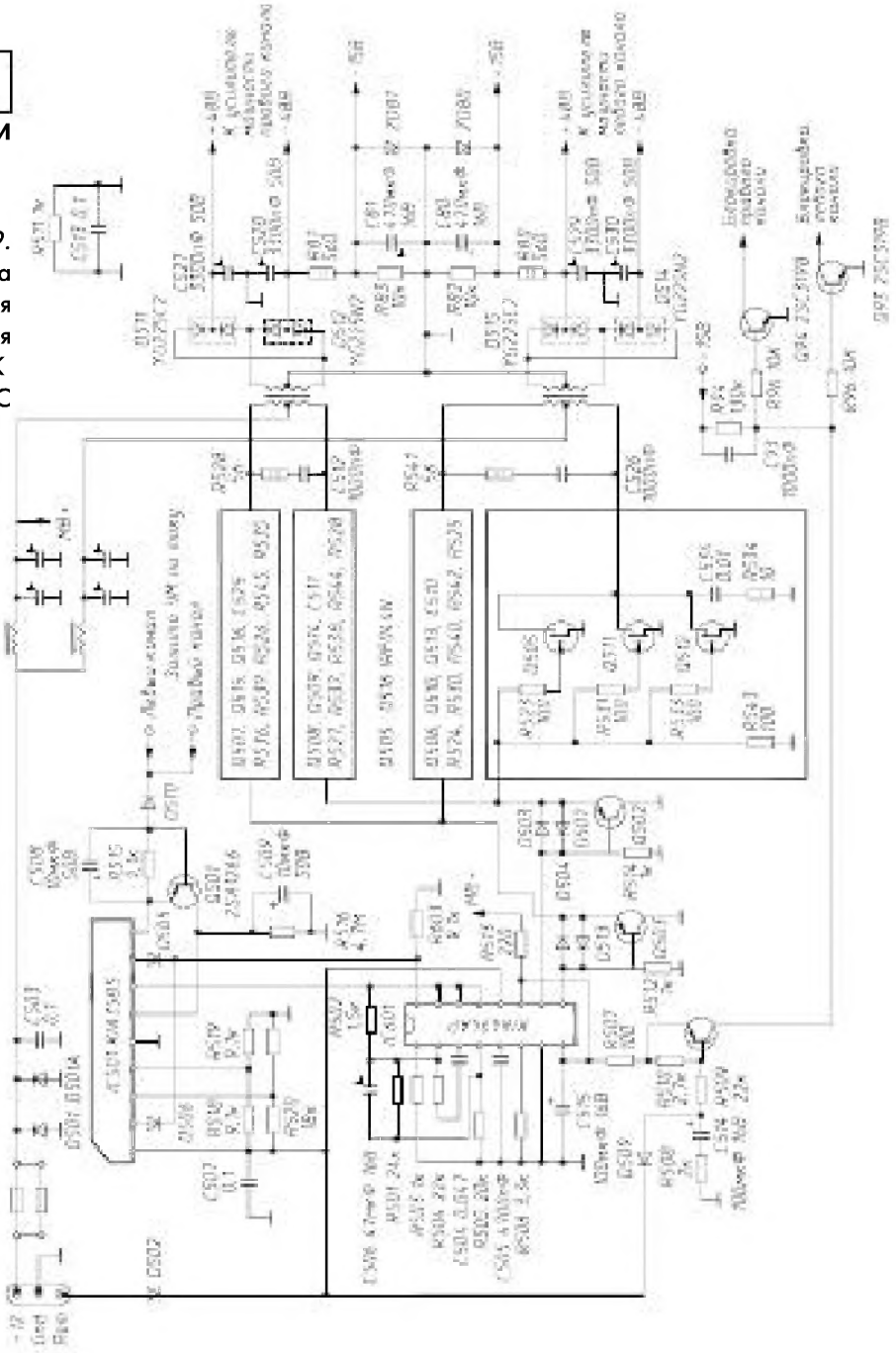


Рис. 5.19. Схема блока питания усилителя Lanzar RK 1200-2C

D515 и сглаживается фильтрующими конденсаторами емкостью 3300 мкФ. Выходное напряжение не стабилизировано, поэтому мощность усилителя зависит от напряжения бортовой сети. Из отрицательного напряжения правого и положительного напряжения левого канала параметрические стабилизаторы формируют напряжения +15 и –15 В для питания кроссовера и дифференциальных каскадов усилителей мощности.

В задающем генераторе использована микросхема KIA494 (TL494). Транзисторы Q503, Q504 умощняют выход микросхемы и ускоряют закрывание ключевых транзисторов выходного каскада. Напряжение питания подано на задающий генератор постоянно, управление включением производится непосредственно от цепи Remote источника сигнала. Такое решение упрощает конструкцию, но в выключенном состоянии усилитель потребляет незначительный ток покоя.

Устройство защиты выполнено на микросхеме KIA358S, содержащей два компаратора. Напряжение питания подается на нее непосредственно от цепи Remote головного устройства. Резисторы R518-R519-R520 и термодатчик образуют мост, сигнал с которого подан на один из компараторов. На другой компаратор через формирователь на транзисторе Q501 подается сигнал от датчика перегрузки.

При перегреве усилителя на выводе 2 микросхемы появляется высокий уровень напряжения, такой же уровень возникает на выводе 8 при перегрузке усилителя. В любом из аварийных случаев сигналы с выхода компараторов через диодную схему ИЛИ (D505, D506, R603) блокируют работу задающего генератора по выводу 15. Восстановление работы происходит после устранения причин перегрузки или охлаждения усилителя ниже порога срабатывания термодатчика.

На транзисторах Q504, Q93, Q94 выполнено устройство блокировки входа усилителя мощности на время переходных процессов при включении и выключении. При включении усилителя конденсатор C514 медленно заряжается, транзистор Q504 в это время находится в открытом состоянии. Сигнал с коллектора этого транзистора открывает ключи Q94, Q95. После зарядки конденсатора транзистор Q504 закрывается, а напряжение –15 В с выхода блока питания надежно блокирует ключи. При выключении усилителя транзистор Q504 мгновенно открывается через диод D509, конденсатор быстро разряжается и процесс повторяется в обратном порядке.

5.6. ИМПУЛЬСНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Борьба за экономичность усилителей и качество звучания до недавнего времени шла по двум расходящимся направлениям. Экономичным усилителям класса B свойственны значительные искажения сигнала малого уровня («первый ватт»), аудиофильские усилители класса A невероятно прожорливы. Компромиссные решения класса AB не решают полностью ни одну из проблем [65].

Класс усилителя	Теоретический	Реальный	Минимум искажений
A	50%	15–30%	малой мощности
AB	зависит от режима	40–50%	средней мощности
B	78%	50–60%	средней мощности

В лучшем случае только половина мощности, потребляемой усилителем, поступает в нагрузку. Оставшаяся часть нагревает транзисторы выходного каскада. Для повышения экономичности аналоговых усилителей было предложено немало технических решений, которые можно свести в четыре группы:

- управление режимом выходного каскада, исключающее отсечку сигнала (класс A+);
- маломощный каскад класса A, напряжение питания которого управляется мощным усилителем класса B (класс Super A);
- параллельная работа на общую нагрузку каскадов с различным напряжением питания (класс G);
- управление напряжением питания выходного каскада (класс H).

Однако сложность конструкции не оправдывала экономии и усилители этих типов не получили распространения даже в домашней технике. В автомобильной же положение еще более усугубляется:

- низкое напряжение питания увеличивает потери в выходном каскаде встроенных усилителей головных аппаратов;
- блоки питания внешних усилителей влияют практически на все его характеристики, особенно при невысокой частоте преобразования (характерно для бюджетных моделей).

Мы привыкли к тому, что коэффициент полезного действия традиционных усилителей – около 50% и лишь половина потребляемой им мощности идет на динамики. А вторая половина старательно перерабатывается в тепло, превращая усилитель большой мощности в неплохой электрокамин. Отсюда и увесистый ребристый корпус, и вентиляторы принудительного охлаждения, и габариты.

В импульсных усилителях класса D (еще их не совсем точно называют цифровыми) коэффициент полезного действия выходного каскада достигает фантастических цифр в 95–97%. С учетом КПД блока питания и потребления остальных узлов общая эффективность – не менее 90%. То есть в сравнении с аналоговыми усилителями выделение тепла снижено минимум в пять раз. Это позволяет уменьшить площадь корпуса-радиатора и более плотно «упаковать» элементы усилителя на плате.

До недавнего времени характеристики импульсных усилителей, определяющие качество звучания (диапазон частот, уровень искажений и т. д.), оставляли желать лучшего – поэтому применяли их исключительно с сабвуферами: там важна мощность и экономичность, а остальные характеристики несущественны. Но последние достижения, и прежде всего появление высокоскоростных микросхем и ключевых транзисторов, приблизили звучание импульсных усилителей к лучшим образцам аналоговых, и теперь их можно использовать в аудиотрактах высокого качества.

5.6.1. Усилители класса D

Усилители класса D – достижение конструкторской мысли «цифровой» эпохи [28, 65]. Усилители класса D преобразуют непрерывный (аналоговый) входной сигнал в последовательность импульсов. В отличие от аналоговых усилителей, где выходной сигнал представляет собой «увеличенную» копию входного, выходной сигнал усилителей класса D представляет собой импульсы прямоугольной формы (рис. 5.20). Используются импульсы двух (иногда трех) уровней, для их усиления применяют мощные ключевые каскады. Амплитуда импульсов постоянна, а длительность или частота следования изменяется в зависимости от амплитуды аналогового сигнала, поступающего на вход усилителя. Преобразование импульсного сигнала в аналоговый происходит в фильтре низких частот на выходе усилителя или непосредственно в нагрузке. Частота импульсов (*частота дискретизации*) в зависимости от требований, предъявляемых к усилителю, составляет от нескольких десятков до сотен килогерц.

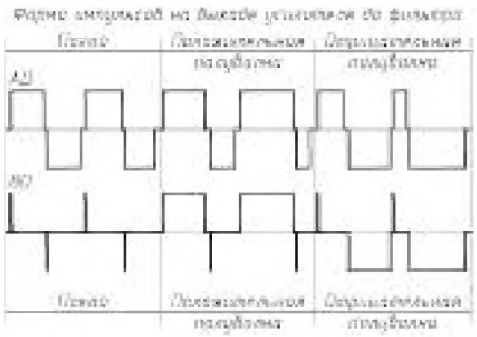


Рис. 5.20. Выходной сигнал усилителя класса D

В первоначальных вариантах цифровых усилителей применялся генератор линейно изменяющегося напряжения, оно было эталонным для компаратора. В результате сравнения формировались импульсы постоянной частоты,

но переменной длительности (широтно-импульсная модуляция, ШИМ, она же PWM – pulse width modulation). Для достижения высокого качества сигнала необходимо было обеспечить высокую линейность и стабильность частоты опорного напряжения, что требовало значительного усложнения схемы.

Впоследствии получил распространение другой вариант усилителей класса D – автогенерирующие усилители. Частота переключения в этой схеме зависит от напряжения сигнала. Усилители, выполненные по этим принципам, при достаточно простой конструкции обеспечивают неплохое качество звучания.

Основное достоинство усилителей класса D – высокий КПД (не менее 90%). Это объясняется тем, что амплитуда импульсов практически равна напряжению питания и потери мощности на выходных транзисторах минимальны. Искажения возрастают при увеличении частоты сигнала и снижении частоты дискретизации. Косвенным образом от частоты дискретизации зависят и другие параметры: с ростом частоты уменьшаются необходимая индуктивность катушек и снижаются потери в выходном фильтре.

Подобно аналоговым усилителям, импульсные усилители разделяются на подклассы AD и BD, причем их достоинства и недостатки тоже подобны. В усилителях класса AD в отсутствие входного сигнала выходной каскад продолжает работу, выдавая в нагрузку разнополярные импульсы одинаковой длительности. Это позволяет улучшить качество передачи слабых сигналов, но порождает ряд технических проблем. В частности, приходится бороться с так называемым *сквозным током*, который возникает при одновременном переключении выходных транзисторов. Для устранения сквозного тока в выходном каскаде вводится *мертвое время* между закрыванием одного транзистора и открыванием другого, что значительно усложняет схему. Другая проблема – потери мощности в выходном фильтре.

В усилителях класса BD выходной каскад в отсутствие сигнала генерирует импульсы очень малой длительности или находится в состоянии покоя. Спектр выходного сигнала этих усилителей существенно отличается: мощность несущей частоты много ниже, поэтому конструкцию фильтра можно упростить. Однако в усилителях этого типа наиболее сильно проявляется основной недостаток метода – зависимость уровня нелинейных искажений от частоты дискретизации и частоты сигнала. Кроме того, искажения возрастают при передаче сигналов малого уровня. Для

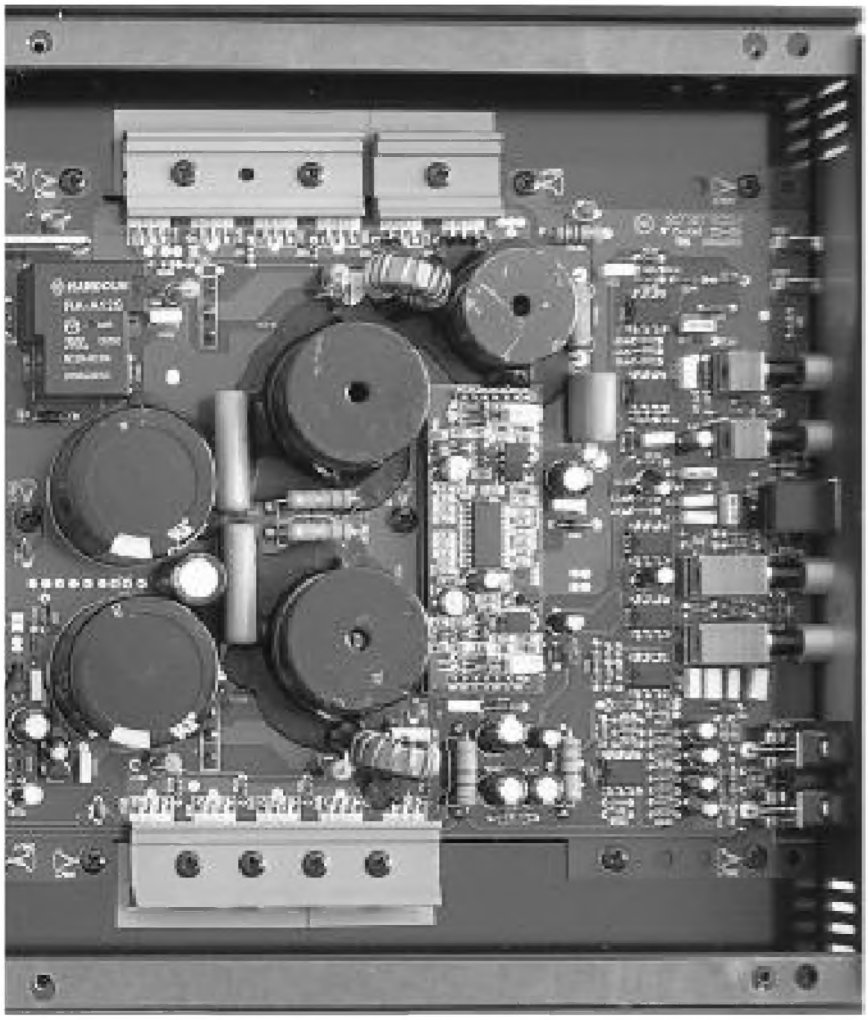


Рис. 5.21. Выходной фильтр усилителя сабвуфера

устранения этого недостатка применяется повышение частоты дискретизации и ООС.

Очевидно, что создание высококачественного широкополосного усилителя требует значительного усложнения конструкции. Поэтому в автомобильных аудиосистемах усилители класса D широко применяют лишь для сабвуферов: в этом случае вполне допустим уровень нелинейных искажений до нескольких процентов [34, 111, 113]. Но разработчики не сидят сложа руки, и в последнее время появилось несколько удачных конструкций для широкополосного усиления – например, усилители серии Lanzar OPTI обеспечивают полосу усиливаемых частот не уже 20 кГц при искажениях не более 0,1%.

Рис. 5.22. Выходной фильтр широкополосного усилителя

5.6.2. Усилители класса Т

Одновременно решить проблемы экономичности и качества звучания можно при совместном использовании аналоговых и цифровых методов обработки сигнала, и многолетние разработки увенчались успехом. Судя по материалам компании Tripath Technology, в созданных ей усилителях класса Т высокая экономичность сочетается с аудиофильским качеством звучания [28, 97].

В усилителях класса Т качество звучания повышено на порядок при сохранении высокой экономичности. Это осо-

бенно актуально при создании усилителей мощности головных аппаратов. Tripath Technology выпускает интегральные усилители мощностью 10 и 20 Вт для портативной аудиотехники и головных аппаратов, а также микросхемы для создания усилителей более высокой мощности (до 300 Вт).

Уровень искажений минимален, а в спектре выходного сигнала практически отсутствуют высшие гармоники. Главное отличие новых усилителей и от аналоговых, и от традиционных цифровых – низкий уровень интермодуляционных искажений, меньший, чем коэффициент гармоник. Для усилителей класса АВ, например, коэффициент интермодуляционных искажений значительно (иногда в несколько десятков раз) превосходит коэффициент гармоник; для усилителей класса А это величины одного порядка. Интегральные усилители по данному показателю несколько уступают своим «большим» собратьям класса Т, но традиционные микросхемы вообще не выдерживают конкуренции.

В чем же секрет метода? В использовании патентованной технологии **Digital Power Processing™**. В материалах фирмы этой технологии посвящено немало текста, но полезной информации там, по понятным причинам, совсем немного. В тайне содержатся не только детали, но и сам принцип обработки сигнала. Если отбросить риторику, то все сводится к двум взаимосвязанным процессам – «*предсказанию*» (Predictive processing) и «*адаптивному преобразованию*» (Adaptive Signal Conditioning Processing).

Предсказаниями с незапамятных времен занимаются жрецы и гадалки, причем с переменным успехом. В нашем случае узнать уровень звукового сигнала можно двумя способами.

- *Вычисление*. Отслеживается скорость изменения сигнала (производная), и на основании этого рассчитывается предполагаемое значение сигнала в следующий момент времени. Реализовать можно как в аналоговом варианте, так и в цифровом. В звуковом процессоре можно использовать математические модели, построенные на статистических данных.
- *Измерение*. Сигнал поступает на обработку через цифровую линию задержки, что позволяет заранее измерить его амплитуду. Требуется высокоточный и высокоскоростной АЦП.

Судя по тому, что динамический диапазон даже интегральных усилителей превышает 100 дБ, а какие-либо тактовые генераторы отсутствуют, амплитуда сигнала именно вычисляется, а не измеряется. Для чего же нужно ее знать?

В усилителях класса Т нет фиксированной частоты дискретизации – она непрерывно изменяется в полосе до 1,5 мГц в соответствии с алгоритмом «адаптивного преобразования». Исходными данными служат как раз амплитуда сигнала и скорость ее изменения. Повышение частоты дискретизации при увеличении скорости нарастания сигнала повышает качество звучания и позволяет упростить конструкцию выходного фильтра.

О сущности алгоритма обработки остается пока только гадать. Кроме перечисленного, адаптивное преобразование может включать в себя и внутреннюю отрицательную обратную связь – цифровую или аналоговую. Исходя из этого, можно предположить, что в основу **Digital Power Processing™** положена одна из разновидностей *дельта-модуляции*. От традиционной широтно-импульсной она отличается тем, что передается не абсолютная величина сигнала, а ее изменение относительно предыдущего состояния (отсюда и «дельта» в названии). Отрицательная обратная связь входит в него генетически, да и «предсказание» тоже имеет место быть.

Выпуском микросхем занимается непосредственно Tripath Technology. Производится значительное количество разнообразных компонентов, включая готовые усилительные модули. Все функции обработки сигнала сосредоточены в одной микросхеме с минимумом внешних компонентов. Усилители малой и средней мощностей изготавливаются в интегральном исполнении. В усилителях большой мощности выходной каскад выполняется на дискретных компонентах. Выходной LC-фильтр во всех случаях монтируется отдельно.

Интегральные усилители	TA2020-020	TA2022
Максимальная мощность на нагрузке 4 Ом при заданном $K_г$, %	23 Вт (10%)	100 Вт (1%)
Номинальная мощность на нагрузке 4 Ом % при $K_г$ = 0,1	12 Вт	90 Вт
Коэффициент гармоник	0,03% (10 Вт)	0,015% (70 Вт)
Интермодуляционные искажения	0,18% (1 Вт)	0,1% (25 Вт)
КПД	81–88%	87–92%
Напряжение питания	+12–14,4 В	±31 В

В течение 2001–2002 годов за рубежом появилось множество автомобильных устройств с усилителями класса Т. Значительная часть их предназначена для заводского оснащения автомобилей (OEM), но некоторые модели предназначены и для самостоятельного использования (aftermarket).

5.6.3. Полностью цифровые тракты

При наличии цифрового источника сигнала и цифрового усилителя нет никакого смысла преобразовывать сигнал в аналоговую форму для передачи по линиям связи. Отказ от промежуточной аналоговой обработки повышает качество звучания, и многие компании форсируют разработку полностью цифровых трактов. Признанным лидером в этой области является компания Apogee Technology. В течение 2000 и 2001 годов она выпустила на рынок усилители и активные АС для компьютеров и домашних кинотеатров, использующие технологию DDX (Direct Digital Amplification) [116].

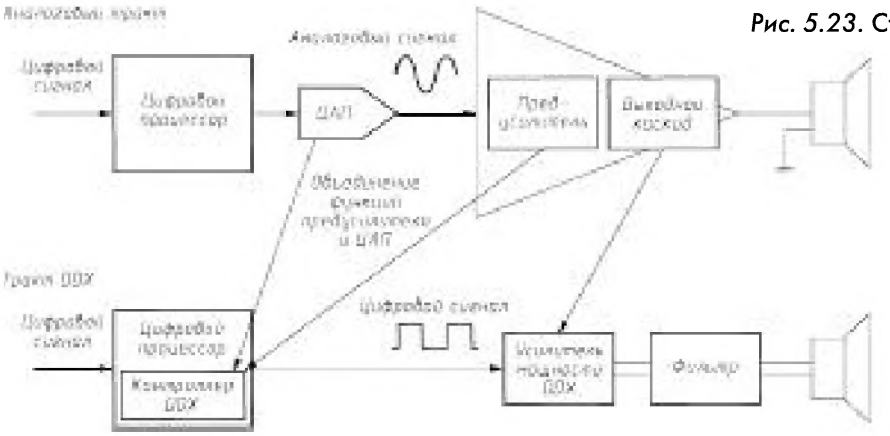


Рис. 5.23. Структура DDX

В марте 2002 года Apogee Technology объявила о том, что в содружестве с ST Microelectronics начала разработку новой технологии для подготовки к выпуску линейки современных, полностью цифровых усилителей, идущих на замену цифро-аналоговым преобразователям (DAC) в трактах аудиосистем.

Предварительно в феврале 2002 года ST Microelectronics лицензировала у Apogee Technology технологию DDX. Согласно этому лицензионному соглашению, компании уже выпустили 4.1-канальный DDX-контроллер и два усилительных чипа DDX, обеспечивающих до 100 Вт выходной мощности. По заверению компаний, подобные микросхемы в ближайшее время придут на замену аналоговым интегральным УМЗЧ в большинстве бытовых электронных устройств, в том числе и в автомобильной аудиотехнике.

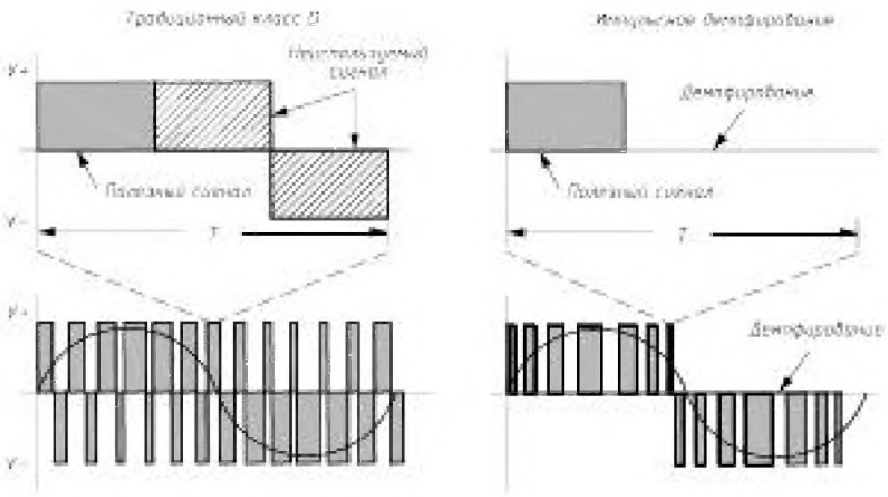
Основные преимущества DDX следующие:

- высокий КПД;
- отсутствует ЦАП;
- высокая помехоустойчивость;
- низкий уровень шумов;

- низкая стоимость;
- отсутствует обратная связь;
- хорошее демпфирование динамика.

Такой букет достоинств обусловлен особенностями технологии обработки сигнала и построением выходного каскада. В отличие от традиционных усилителей класса D, перевод выходного каскада в мостовой режим класса BD позволил организовать импульсное демпфирование подвижной системы динамической головки (damped ternary modulation). В промежутках между информационными импульсами выходной каскад замыкает выводы звуковой катушки (рис. 5.24). Электрическое демпфирование основного резонанса подвижной системы осуществляется не виртуальным выходным сопротивлением усилителя, а вполне реальным и достаточно низким сопротивлением силовых ключей. Поэтому понятие демпинг-фактора к данной технологии можно применить только с некоторыми оговорками. При измерении традиционными методами значение получается небольшим – порядка 16, но степень демпфирования подвижной системы не хуже, чем у аналогового усилителя с демпинг-фактором более 100. Благодаря отключению нагрузки в паузах сигнала новая технология повышает также отношение сигнал-шум.

Рис. 5.24. Импульсное демпфирование в усилителях DDX



Помимо улучшения демпфирования, увеличивается экономичность усилителя при усилении слабых сигналов. По сравнению с аналоговыми усилителями класса AB эффективность DDX приблизительно в два-три раза выше, традиционные усилители класса D уступают им в области малых сигналов приблизительно 20% (рис. 5.25).

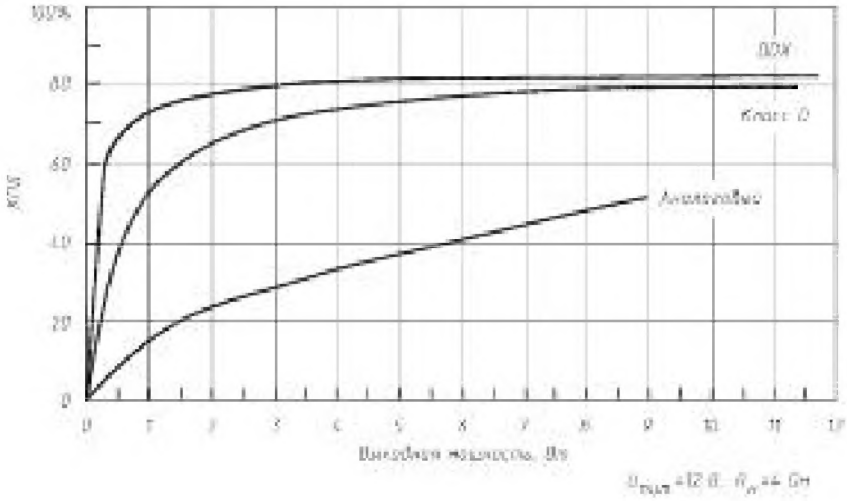


Рис. 5.25. **Сравнение экономичности усилителей разных типов**

Еще одно немаловажное преимущество – отсутствие общей обратной связи в усилителе. Вкупе с мостовой организацией выходного каскада это значительно снижает влияние изменений напряжения источника питания на параметры сигнала. Без обратной связи возрастает и устойчивость усилителя: микросхемы, разработанные для автомобильных усилителей, развивают мощность до 100 Вт на нагрузке 0,7 Ом. И это – при напряжении питания 12 В, без преобразователей и массивных радиаторов! Создатели с оптимизмом считают, что широкое распространение новой технологии не за горами.

А как быть с аналоговыми носителями? Кончина компакт-кассеты откладывается на неопределенное время, да и цифровое радиовещание не скоро станет общедоступным (по причинам скорее экономическим, нежели геополитическим). Хотя стандарт DAB и рекомендован к применению в России и СНГ, дальше разговоров и опытов вещания дело не пошло. Да и в других странах аналоговое радиовещание пока не сдается.

Впрочем, серьезных препятствий нет. Для аналоговых источников придется использовать аналого-цифровые преобразователи, при этом открываются новые возможности. Например, становится возможным применение уже проверенных цифровых систем шумопонижения и других устройств обработки сигнала. Такое решение в домашних цифровых системах Hi-End стало типовым, никто не мешает применить его и в автомобильных устройствах.

5.7. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

Нельзя объять необъятное. Но если очень хочется – то можно. Есть один усилитель, в конструкции которого собрано воедино все, что только может прийти в голову инже-

неру, не ограниченному рамками техзадания и бюджетом. Сплошной полет фантазии... При разработке усилителя конструкторы компании Audison поставили перед собой цель: построить усилитель, в котором каждый компонент отвечает самым высоким требованиям и направлен на максимально достоверное воспроизведение музыки. И с поставленной задачей они справились. Единственное пугающее обстоятельство – цена (**5850** евро в России).

Рис. 5.26. Усилитель THESIS HV venti

Один из героев Стругацких работал над диссертацией, тема которой звучала так: «Материализация и линейная натурализация Белого Тезиса как аргумента достаточно произвольной функции S не вполне представимого человеческого счастья». Если от не вполне представимого человеческого счастья перейти ко вполне представимому счастью аудиофила, то вот он – Белый Тезис. Правда, не везде белый, но не говорите мне, что создатели усилителя THESIS HV venti не читали «Понедельник начинается в субботу»!

Нижняя часть корпуса представляет собой черненый алюминиевый радиатор с внутренними каналами охлаждения, теплообмен выходного каскада регулируют четыре вентилятора – два приточных и два вытяжных. Вентиляторы, управляемые термодатчиками, установлены в «надстройке» корпуса, представляющей собой пакет профилированных пластин, стянутых винтами.

Пятый вентилятор (со своим собственным каналом управления) установлен на прозрачной крышке корпуса и регулирует тепловой баланс остальных узлов. Поддержание стабильной рабочей температуры предварительных каскадов усилителя уменьшает дрейф параметров элементов, что

совершенно необходимо при выбранных режимах работы – достаточно большом токе покоя всех каскадов и малой глубине обратной связи. Компоновка усилителя помогает рассеивать выделяемое активными приборами тепло, а в совокупности примененные решения благотворно влияют на звучание.

Предварительный усилитель – полностью балансный, дифференциальный. Он выполнен на полевых транзисторах. Помимо балансного режима работы, предусмотрен и обычный, а также режим моно и режим высокого входного напряжения. Все режимы выбираются переключателями. Помимо регулировки чувствительности, предусмотрен также регулятор баланса левого и правого каналов, заимствованный из домашней схемотехники. Для совместного использования нескольких усилителей предусмотрены балансные выходы (bypass), по сути – пассивные разветвители сигнала (между входами и выходами включены лишь разделительные конденсаторы). Входные и выходные разъемы – типа ABS. Все конденсаторы в цепи сигнала – полипропиленовые, аудиофильского класса.

Модуль кроссовера с изменяемой частотой раздела поставляется отдельно. Для его установки «в разрыв тракта» необходимо снять модуль обхода (плату с замыкающими перемычками). Если кроссовер не используется, путь сигнала предельно укорочен. Сам кроссовер выполнен полностью на дискретных элементах, а частота среза и вид фильтра (ФВЧ или ФНЧ) задаются установкой субплаты с частотозадающими резисторами в соответствующее положение. Предусмотрены четыре значения частоты среза (45 Гц, 55 Гц, 65 Гц, 80 Гц), но их нетрудно изменить.

Усилитель мощности также изобилует «изюминками». Для питания драйвера использован отдельный «плавающий» блок питания Flyback. Балансный драйверный каскад работает в классе А с напряжением питания 150 В(!). Это решение гарантирует надежную раскачку выходного каскада, высокую скорость нарастания выходного напряжения, и она не зависит от выходной мощности.

В традиционных усилителях скорость нарастания выходного напряжения сильно зависит от входной емкости транзисторов выходного каскада, поэтому звучание усилителей определяется не только режимом работы выходного каскада (выполненного практически по одной и той же схеме), но и типом выходных транзисторов, что предоставляет огромное поле деятельности для доработок. Кроме того, при одинаковом напряжении питания всех каскадов на больших уровнях сигнала драйвер уже перегружен, растут вносимые им искажения, поэтому выходной каскад не ис-

пользует полностью напряжения питания. При повышенном напряжении питания драйвера все эти проблемы ликвидированы как класс. Но по экономическим соображениям отдельное питание драйвера даже в домашних усилителях перестали использовать пару десятилетий назад, а тут – автомобильный...

В выходном каскаде использована инновационная схемотехника. Взамен традиционных биполярных составных транзисторов (транзисторов Дарлингтона) применены дискретные IGBT-транзисторы. Каждый из них представляет собой полевой транзистор Hitachi, управляющий двумя парами комплементарных биполярных силовых транзисторов Sanken. Максимальный ток каждого транзистора – 30 А, максимальная рассеиваемая мощность – 200 Вт. Селекторы Dual Bias позволяют изменять ток покоя выходного каскада, что дает возможность выбрать уровень мощности, до которого усилитель будет работать в чистом классе А с дальнейшим переходом в класс АВ. Усилитель, кстати, оказался довольно «горячим» (ток покоя – от 4 до 10 А). Транзисторы размещены на полях радиатора, к нему же пружинами прижаты и мощные стабилизирующие резисторы, установленные в эмиттерах выходных транзисторов.

Согласно всем требованиям абсолютного аудио, усилитель выполнен по схеме Dual Mono. Как известно, только раздельные блоки питания гарантируют полную развязку каналов усиления. Блоки питания здесь раздельные не только по каналам, но и для каждого напряжения питания: в конструкции использованы четыре силовых трансформатора. Каждый трансформатор заключен в индивидуальный магнитный экран, а на выводы надеты ферритовые трубки.

Особый интерес представляет функция Dual Power, позволяющая идеально подстроиться под импеданс и мощностные характеристики динамиков в системе. Предусмотрены два режима: Hi Current (большой выходной ток) или Hi Power (высокая выходная мощность). Для этого переключается напряжение питания выходного каскада усилителя мощности. Решение это не новое, как утверждается в рекламных материалах, но в автомобильном усилителе действительно использовано впервые. В профессиональной технике изменение режима работы выходного каскада используется достаточно широко, а в бытовых усилителях впервые было опробовано еще в начале 70-х годов в двухполосном (!) стереоусилителе Левинзона и Логинова.

Для выбора режима работы выходного каскада необходимо установить четыре предохранителя в одинаковое положение. Для режима Hi Current используются предохранители на 15 А, для режима Hi Power – на 10 А. Снижение

максимально допустимого тока при повышении напряжения питания ограничивает мощность рассеяния выходного каскада (в целях безопасности).

В усилителе применена защита от всех возможных случайностей: ограничение напряжения в случае перегрузки или короткого замыкания в цепи динамиков (в том числе и на корпус), защита нагрузки от постоянного напряжения, блокировка при чрезмерном повышении или понижении напряжения питания, тепловая защита при нагреве выше 90°. Для контроля используется специально разработанный микропроцессорный блок ASC (Amplifier Status Control – управление статусом усилителя). Он отображает температуру усилителя, активные режимы защиты и другую важную информацию о его состоянии.

6. УСТРОЙСТВА ОБРАБОТКИ СИГНАЛА

В этой главе рассматриваются устройства, без которых трудно (а подчас и невозможно) реализовать высококачественный звуковой тракт – разделительные фильтры, кроссоверы, эквалайзеры, звуковые процессоры.

6.1. РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ АС

В этом разделе речь пойдет о том, без чего пока не может обойтись аудиосистема высокого качества, – о разделительных фильтрах. Существуют два противоположных подхода к конструированию многополосных АС:

- широкополосный усилитель с разделением спектра на выходе;
- многополосное усиление с разделением спектра на входе.

Каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. Элементы фильтра, включенные между выходом усилителя и динамической головкой, ухудшают демпфирование подвижной системы. В системах с многополосным усилением эта проблема отсутствует. Благодаря тому, что уровень сигнала по каналам и частоты раздела полос регулируются плавно и независимо, настройка заметно облегчена. Однако сложность и стоимость систем с многополосным усилением существенно выше. Основным источником фазовых искажений являются именно разделительные фильтры, поэтому сдвиг фазы оказывает влияние на формирование звукового образа [90]. Этот вопрос рассмотрен в следующих главах.

Разделительные фильтры (кроссоверы) предназначены для того, чтобы пропустить к каждой головке многополосной акустической системы сигнал только своей частотной полосы. Фильтры различают по крутизне спада за пределами полосы пропускания и подразделяют на пассивные

и активные. По математической функции, описывающей работу фильтра, различают такие виды: *Бесселя*, *Баттерворта*, *Чебышева*, *Линквитца-Райли*.

Пассивные фильтры не используют усилительных элементов и поэтому могут включаться в любой участок тракта – между широкополосным усилителем и головками в системе с одноканальным усилением или между источником сигнала и полосовым усилителем в системе с многополосным усилением. Поэтому по своему конструктивному исполнению пассивные фильтры могут быть малосигнальными и мощными.

Активные фильтры выполнены на основе усилительных каскадов, охваченных частотно-зависимыми обратными связями, и включаются в тракт между источником сигнала и полосовым усилителем. Активные фильтры предназначены исключительно для многополосных усилительных систем.

В некоторых случаях в роли активного фильтра может выступать сам усилитель мощности, охваченный частотно-зависимыми обратными связями для формирования требуемой АЧХ. Однако в промышленных конструкциях такое решение не применяется, поскольку ограничивает область применения усилителя (да и спрос на специализированный товар невелик). В любительских условиях, когда усилитель изготавливается или дорабатывается под конкретные задачи, такой подход вполне оправдан: это позволяет не только упростить конструкцию, но и повысить качество звучания.

В автомобильной аудиотехнике чаще всего используют пассивные фильтры первого и второго порядков. Фильтры более высоких порядков в пассивном исполнении встречаются достаточно редко, в основном для формирования полосы ВЧ при достаточно низкой частоте раздела. Кроме того, во многих конструкциях встречаются «несимметричные» фильтры, ФНЧ и ФВЧ которых имеют разный порядок. Например, в двухполосной компонентной акустике часто используется фильтр 2-го порядка для пищалки и фильтр 1-го порядка для мидбаса. В этом случае частота раздела выбирается вблизи естественного спада АЧХ мидбасовой головки, в результате чего крутизна спада ее АЧХ по звуковому давлению увеличивается.

6.1.1. Методика расчета пассивных фильтров

При самостоятельном проектировании фильтров по упрощенным методикам результаты часто далеки от задуманного. За разочарованием следует либо неверие в свои силы, либо начинается подбор элементов методом «научного

тыка» с применением шаманских заклинаний, «волшебных» проводов и прочих атрибутов Hi-End-а. В случае успеха это немедленно возводит создателя в ранг гуру...

При выборе динамических головок для акустической системы с пассивными фильтрами прежде всего нужно учитывать их *чувствительность при одинаковом подводимом напряжении*. Если величины близкие (±1 дБ), можно использовать простой пассивный кроссовер, но для подгонки АЧХ может понадобиться эквалайзер. Если отдача СЧ- или ВЧ-головки заметно выше, чем НЧ, понадобится согласующее устройство (аттенюатор). Использовать для снижения отдачи НЧ-головки какие-либо пассивные цепи не рекомендуется. Помимо потерь мощности, заметно ухудшается демпфирование подвижной системы, что на слух воспринимается как «бубнящий» призвук. В этом случае придется перейти к поканальному усилению.

Поясним сказанное примером. Имеются головки со следующими параметрами:

- НЧ – 4 Ом, 89 дБ/Вт/м (мощность 1 Вт развивается при напряжении 2 В);
- СЧ – 8 Ом, 91 дБ/Вт/м (мощность 1 Вт развивается при напряжении 2,83 В).

При подводимом напряжении 2 В на СЧ динамике разовьется мощность 0,5 Вт (на 3 дБ меньше, чем НЧ), звуковое давление уменьшится на эту же величину и составит: 91 – 3 = 88 дБ. Таким образом, при одинаковом подводимом напряжении отдача СЧ динамика на 1 дБ меньше, чем НЧ, и такая пара вполне может работать с пассивным кроссовером.

Во-вторых, импеданс головок непостоянен и зависит от частоты. Причем индуктивность эта у «среднестатистического» мидбаса составляет 0,4–0,5 мГн, и уже на частотах 2–3 кГц импеданс возрастает практически вдвое. Для мощных низкочастотных головок показатели еще выше.

Поэтому в расчетах фильтров нужно использовать именно импеданс Z, а не активное сопротивление R_e (как это принято в упрощенных методиках).

При проектировании пассивных разделительных фильтров можно использовать следующие методы:

- использовать в расчетах реальное значение импеданса на выбранной частоте раздела. Для этого можно воспользоваться справочными данными или самостоятельно снять Z-характеристику;
- использовать цепь, стабилизирующую импеданс нагрузки (компенсатор). В этом случае при расчете фильтров можно использовать номинальный импеданс головки;

- моделировать фильтр, учитывая его взаимодействие с комплексной нагрузкой.

Недостаток первого метода в том, что сопротивление нагрузки фильтра принимается постоянным (хотя и отличным от R_e). В действительности же это не так. Компенсаторы по экономическим соображениям обычно используют только с НЧ-головками. Далее показано, что влиянием индуктивности СЧ- и ВЧ-головок пренебрегать также не стоит. Поэтому наиболее удобен третий подход, позволяющий оптимизировать фильтр под конкретные задачи с учетом характеристик реальных головок. Для анализа и проектирования можно использовать любую среду моделирования (Micro-Cap 6.0, Electronic WorkBench и т. д.). Однако не нужно забывать, что *АЧХ по электрическому напряжению* и *АЧХ по звуковому давлению* – две большие разницы, как говорят в Одессе.

Фильтры первого порядка

Номиналы элементов определяются по следующим формулам и корректируются до ближайших стандартных:

$$C = 1/2\pi F_{ФВЧ} Z;$$
$$L = Z/2\pi F_{ФНЧ}.$$

Рис. 6.1. Фильтры первого порядка: а – ФНЧ; б – ФВЧ

Фильтры второго порядка

Для фильтра второго порядка необходимо прежде всего выбрать тип фильтра: Бесселя, Баттерворта или Линквитца-Райли. Емкости и индуктивности вычисляются по тем же формулам, что и для фильтра первого порядка, и затем корректируются:

- для фильтра Баттерворта:

$$L_1 = L/\sqrt{2} = 0{,}707L;$$
$$L_2 = L\sqrt{2} = 1{,}414L;$$
$$C_1 = C\sqrt{2} = 1{,}414C;$$
$$C_2 = C/\sqrt{2} = 0{,}707C;$$

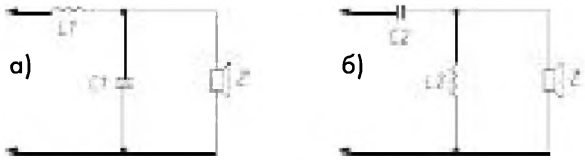


Рис. 6.2. Фильтры второго порядка: а – ФНЧ; б – ФВЧ

- для фильтра Бесселя:

$$L_1 = L/\sqrt{3} = 0{,}577L;$$
$$L_2 = L\sqrt{3} = 1{,}732L;$$
$$C_1 = C\sqrt{3} = 1{,}732C;$$
$$C_2 = C/\sqrt{3} = 0{,}577C;$$

- для фильтра Линквитца-Райли:

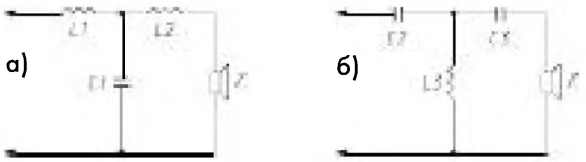
$$L_1 = L/2;$$
$$L_2 = 2L;$$
$$C_1 = 2C;$$
$$C_2 = C/2.$$

Фильтры третьего порядка

Расчет производится по тем же формулам, что и для фильтра первого порядка, и полученные величины затем корректируются:

$$L_1 = 1{,}5L;$$
$$L_2 = L/2;$$
$$L_3 = 0{,}75L;$$
$$C_1 = 4C/3;$$
$$C_2 = 2C;$$
$$C_3 = 2C/3.$$

Рис. 6.3. Фильтры третьего порядка: а – ФНЧ; б – ФВЧ



Полосовые фильтры

Полосовые фильтры нужного порядка для трехполосных акустических систем можно получить последовательным соединением ФВЧ и ФНЧ соответствующих порядков. Расчет их производится по уже рассмотренной методике. В качестве примера приведена схема полосового фильтра первого порядка.

Рис. 6.4. Полосовой фильтр первого порядка

Если среднечастотная головка используется с согласующим резистором (диссипатором), в конструкции фильтра можно обойтись без индуктивности.

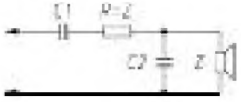


Рис. 6.5. Полосовой фильтр первого порядка без индуктивности

Элементы рассчитываются так же, как и для обычного фильтра, но с учетом сопротивления резистора:

$$C_1 = 1/2\pi F_н (Z + R);$$
$$C_2 = 1/2\pi F_в Z.$$

Последовательные фильтры

В том случае, если используемые динамические головки имеют одинаковый импеданс и близкую чувствительность, можно использовать последовательный фильтр. Расчет их производится по той же методике.

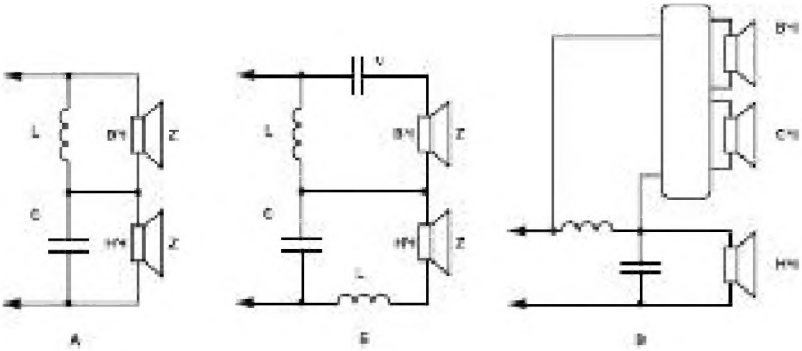


Рис. 6.6. Последовательный фильтр: а – первого порядка; б – второго порядка; в – каскадное включение фильтров

На практике трехполосные АС часто изготавливают на базе двухполосного комплекта, добавив к малогабаритному мидбасу «солидный» НЧ-динамик. В этом случае удобно использовать каскадное (последовательное) включение фильтров. Тогда изготовить придется только звено для раздела полос НЧ и СЧ, а для раздела полос СЧ и ВЧ используется штатный кроссовер из двухполосного комплекта.

У последовательных фильтров первого порядка есть интересная особенность – варьируя номиналы элементов, можно существенно повысить крутизну спада АЧХ. Получается фильтр квазивторого порядка. Однако входное сопротивление фильтра на частоте раздела снижается [151].

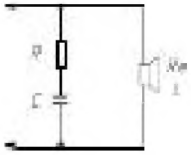
L	C	$R_{вх}$	Крутизна
$0{,}707L_0$	$1{,}41C_0$	$0{,}707R_н$	9 дб/окт
$0{,}5L_0$	$2C_0$	$0{,}5R_н$	12 дб/окт

6.1.2. Корректирующие и согласующие цепи

Компенсатор Цобеля-Буше применяется для компенсации индуктивной составляющей импеданса и представляет

собой последовательную RC-цепь, подключенную параллельно динамику. В результате импеданс нагрузки становится практически активным и не зависящим от частоты. Компенсатор является принадлежностью не усилителя, а динамической головки, и номиналы определяются только ее параметрами (индуктивностью звуковой катушки). Его наличие не отменяет «антивозбудительные» RC-цепи между выходом усилителя и общим проводом, если они предусмотрены его схемой. Для широкополосных головок компенсатор импеданса не нужен, поскольку изменение импеданса не оказывает влияния на работу современного усилителя.

Рис. 6.7. Компенсатор Цобеля-Буше



Номиналы элементов вычисляются по следующим формулам:

$$R = Z \approx 1{,}25R_e;$$
$$C = L_e/Z^2,$$

где Z – номинальный импеданс (Ом);
L_e – индуктивность звуковой катушки (Г);
R_e – активное сопротивление звуковой катушки (Ом);
C – емкость компенсирующей цепи (Ф);
R – сопротивление компенсирующей цепи (Ом).

Вычисленные значения округляются до ближайших стандартных номиналов. Если индуктивность измерять в микрогенри, сопротивление – в омах, то емкость получится в микрофарадах. Приводимая в документации на динамик индуктивность звуковой катушки L_e указывается обычно в миллигенри, поэтому ее величину нужно умножить на 1000. Мощность рассеяния резистора должна составлять не менее 20% номинальной мощности головки. Для большинства типов низкочастотных динамических головок емкость конденсатора составляет 50–150 мкФ.

Потери в компенсаторе можно не учитывать, там протекают только реактивные токи, идет обмен энергией между конденсатором и обмоткой звуковой катушки. Однако для лучшей компенсации и уменьшения реактивных токов в «колоночных» проводах компенсатор следует размещать в непосредственной близости от динамика, лучше всего – непосредственно подсоединять к его клеммам. Особенно это относится к мощным низкочастотным головкам.

Для сабвуфера компенсатор полезен уже по другой причине – он будет дополнительно фильтровать высшие гармоники сигнала, позволяющие уверенно локализовать сабвуфер. При отсутствии запаса мощности усилителя его перегрузка вполне реальна даже при относительно небольшой громкости звучания. В этом случае продуктов искажений будет с избытком. Они образуются в оконечном усилителе и никак не зависят от полосы пропускания активного кроссовера.

Для среднечастотных и высокочастотных головок можно использовать другие способы стабилизации импеданса, основанные на включении резистора последовательно или параллельно с головкой. Во всех случаях при расчете фильтра необходимо использовать результирующее сопротивление. Кроме того, этот резистор можно использовать для согласования отдачи среднечастотной головки с низкочастотной и коррекции АЧХ. Подробно об этом далее.

Для высокочастотных головок обычно используют параллельное включение резистора с сопротивлением, равным или несколько большим, чем номинальный импеданс головки. Для среднечастотных головок удобнее оказывается включение последовательного резистора (*диссипатора*). При таком подключении головка питается уже не от источника напряжения, а от источника тока. В результате происходит не только стабилизация импеданса в широком диапазоне частот, но и значительное снижение интермодуляционных искажений, особенно заметное при использовании недорогих широкополосных и среднечастотных головок [13]. Практика показывает, что в этом случае достаточно установить резистор с сопротивлением, приблизительно равным 0,5...1 номинального импеданса головки. Для частоты раздела выше 300 Гц мощность рассеяния резистора должна равняться 15–20% номинальной мощности головки. Следует также учитывать снижение отдачи.

Для исправления локальных дефектов АЧХ головок в рабочей полосе частот профессиональные студии иногда используют кроссоверы сложной конструкции с корректирующими LCR звеньями, но их настройка должна сопровождаться обязательными измерениями АЧХ по звуковому давлению и поэтому не может быть рекомендована любителям [14].

Несколько легче обстоит дело с демпфированием резонанса ВЧ-головки, расположенного вне рабочей полосы частот, но обычно достаточно близко к ее нижней границе. В этом случае знать точную величину коррекции не обязательно – достаточно частоты резонанса головки. Для коррекции применяется последовательный LC-контур, под-

ключенный параллельно головке и настроенный на частоту ее основного механического резонанса (рис. 6.8).

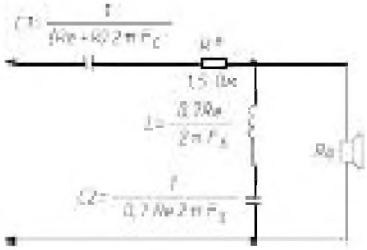


Рис. 6.8. Режекторный фильтр

Резистор R* выполняет сразу несколько функций. Прежде всего он стабилизирует импеданс нагрузки, одновременно улучшая условия работы и усилителя, и фильтра. При установке резистора увеличивается также глубина режекции. Можно использовать этот резистор и для подстройки уровня ВЧ-составляющих, но следует помнить, что его сопротивление входит в нагрузку ФНЧ и влияет на частоту среза.

Для СЧ-головок этот метод малопригоден, поскольку частота основного механического резонанса для них составляет обычно 110–150 Гц. Индуктивность и емкость корректирующего контура получаются значительными. Исключение составляют только купольные СЧ-головки, для которых F_s значительно выше (350–450 Гц).

Для согласования отдачи головок или интегральной коррекции АЧХ многополосной акустической системы в конструкцию пассивного фильтра вводят добавочные резисторы (рис. 6.9, а) или аттенюаторы (рис. 6.9, б). Для изменения затухания сигнала аттенюатор делается переключаемым.

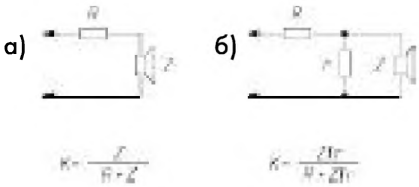


Рис. 6.9. Согласование чувствительности головок: а – добавочный резистор; б – аттенюатор

Перегрузка транзисторного усилителя сопровождается мощными импульсными помехами в выходном сигнале, амплитуда которых может дополнительно возрастать за счет ЭДС самоиндукции катушек кроссовера. Для предотвращения выхода из строя высокочастотных головок в конструкцию кроссовера вводятся ограничители тока на основе полупроводникового термистора, варистора или барретера. В любительских условиях для этой цели можно применить

лампы накаливания, включенные последовательно с головкой. Характеристики некоторых типов автомобильных ламп в этом режиме приведены в **приложении 2**. Для защиты также можно подключить параллельно пищалкам симметричные стабилитроны, напряжение пробоя которых заведомо больше номинального выходного напряжения усилителя.

Для интегральной коррекции АЧХ в конструкции разделительных фильтров можно предусмотреть переключаемые корректирующие и согласующие цепи, работающие в достаточно широкой полосе частот. На рис. 6.10 показана схема разделительного фильтра для «пищалки», на рис. 6.11 – его АЧХ по напряжению [84].

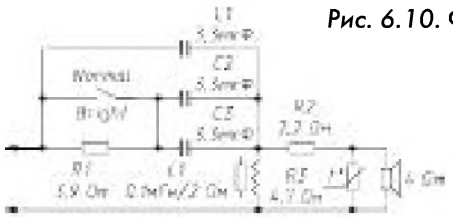


Рис. 6.10. Фильтр с цепью коррекции ВЧ

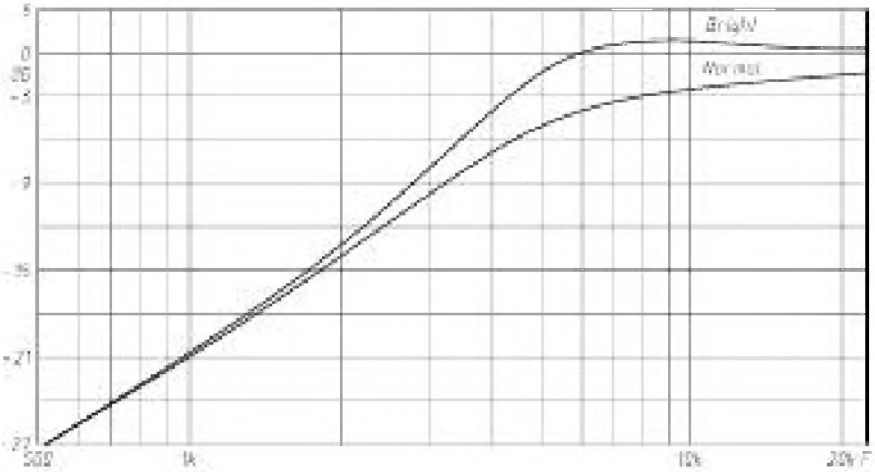


Рис. 6.11. АЧХ фильтра с корректирующей цепью

Особенность конструкции – намотка катушки индуктивности достаточно тонким проводом. Ее распределенное сопротивление нормирует добротность фильтра. В качестве каркаса использована пластмассовая шпулька от швейной машины, обмотка намотана внавал до заполнения и содержит 200–220 витков провода ПЭЛ-1 диаметром 0,3 мм. Сопротивление обмотки по постоянному току – около 2 Ом. Звуковая катушка защищена термистором.

6.1.3. Разделительно-корректирующие фильтры

Как правило, стабилизирующие цепи у СЧ- и ВЧ-головок отсутствуют. При этом исходят из того, что рабочая полоса частот «в октавах» невелика, а индуктивность по сравнению с низкочастотными головками незначительна (обычно менее 0,25 мГн). Вследствие этого рост импеданса невелик. Однако все не так просто, как кажется на первый взгляд, и даже такая скромная индуктивность приводит к любопытным последствиям.

Проблема заключена в том, что и пищалки, и СЧ-головки работают совместно с фильтром ВЧ (ФНЧ среднечастотных головок не рассматриваем). Независимо от порядка в нем имеется емкость, включенная последовательно с головкой, и она образует с индуктивностью звуковой катушки колебательный контур. Резонансная частота этого контура оказывается в полосе рабочих частот, и на АЧХ возникает «горб», величина которого зависит от добротности этого контура. Результатом этого может быть окраска звучания и другие артефакты. Учитывая то, что в ряде случаев эти явления можно обратить на пользу (например, корректировать АЧХ), вопрос согласования излучателей с фильтром приобретает особую остроту.

Данный вопрос подробно исследован в [99]. В расчетах использована упрощенная модель динамической головки в виде последовательной RL-цепи. Подобное упрощение вполне допустимо, поскольку резонансный пик импеданса большинства современных СЧ- и ВЧ-головок невелик, а частота механического резонанса подвижной системы находится за пределами рабочей полосы частот. После отработки данная методика была успешно использована при разработке пассивных кроссоверов для нескольких серийно выпускаемых моделей автомобильных АС.

Особый интерес представляет взаимодействие фильтра с нагрузкой в области частоты раздела. Взаимодействие пищалки с кроссовером особенно хорошо заметно у фильтров первого порядка, столь любимых конструкторами за простоту и минимальные фазовые искажения. Даже при индуктивности пищалки 0,1 мГн имеется выраженный пик в области частот 7–10 кГц, придающий звучанию характерную «хрустальную» окраску. Дальнейшее увеличение индуктивности смещает резонансный пик в область более низких частот и увеличивает его добротность, что приводит к заметному «цыканью». Введение шунтирующего резистора позволяет «приручить» горб на АЧХ, так что на кроссовер можно возложить и некоторые функции эквалайзера.

Опуская примеры [99], остановимся на выводах.

- Стабилизирующие цепи не обязательны только для головок малой индуктивности (менее 0,05 мГн).
- Для головок с индуктивностью звуковой катушки 0,05–0,1 мГн наиболее выгодны параллельные стабилизирующие цепи (шунты).
- Для головок с индуктивностью звуковой катушки более 0,1 мГн можно использовать как параллельные, так и последовательные стабилизирующие цепи.
- Изменение сопротивления стабилизирующей цепи позволяет воздействовать на АЧХ.
- Для фильтров 1-го порядка изменение параметров стабилизирующей цепи оказывает заметное влияние на частоту среза и параметры «горба». У фильтров 2-го порядка частота среза определяется параметрами его элементов, поэтому зависит от индуктивности головки и параметров стабилизирующей цепи в меньшей степени.
- Величина резонансного «горба» в области частоты среза находится в прямой зависимости от добротности фильтра (сопротивления шунта) и в обратной зависимости от сопротивления последовательного резистора.
- Добротность фильтра пропорциональна результирующему сопротивлению нагрузки с учетом сопротивления стабилизирующей цепи.
- Фильтр повышенной добротности можно рассчитывать по стандартной методике, но на сниженное в 2–3 раза относительно номинального сопротивление нагрузки.

Предложенные способы регулирования АЧХ применимы и к фильтрам более высоких порядков, но поскольку число «степеней свободы» там возрастает, дать конкретные рекомендации в этом случае затруднительно, необходимо моделирование фильтра.

Индуктивность динамических головок можно использовать в составе не только корректирующих цепей, но и самого кроссовера, что придает ему новые свойства.

Во многих современных автомобильных инсталляциях применяют двойной комплект пищалок. Причина – возросшие требования к качеству звучания. Расширение диаграммы направленности двойного излучателя позволяет упростить настройку звуковой сцены, снижена вероятность перегрузки пищалок при больших уровнях громкости. Внешняя привлекательность тоже играет не последнюю роль, особенно в выставочных работах.

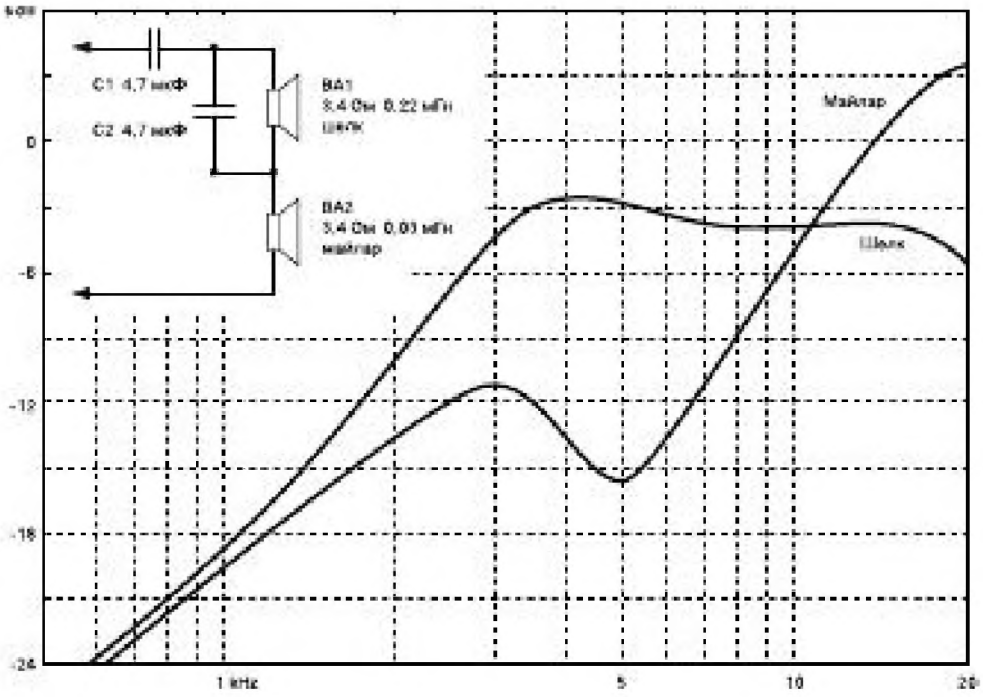
Еще один аргумент в пользу такого решения возникает при многополосном усилении. Известное противоречие

между неравномерным распределением энергии музыкального сигнала по спектру и равной мощностью каналов (что типично для автомобильного усилителя) элегантно разрешается при последовательном включении пищалок. В этом случае максимальная выходная мощность «пищалочных» каналов усилителя уменьшается вдвое по сравнению с обычной нагрузкой, что позволяет полнее использовать его динамический диапазон и снизить искажения. Однако все сказанное выше подразумевает использование совершенно одинаковых пищалок. Возможен и другой вариант – с *разными* пищалками, воспроизводящими отдельные поддиапазоны частот.

Проблема воспроизведения всего высокочастотного диапазона одной пищалкой решена давно, но хорошая широкополосная пищалка – нежное и недешевое изделие. По крайней мере, в нижнем и среднем диапазоне цен ни одна конструкция и материал купола пока что не могут одновременно удовлетворить всем требованиям, по большей части противоречивым. Необходимы высокая жесткость, малая масса, хорошее внутреннее демпфирование. Для большинства массовых изделий итоги неутешительны, поэтому достоинства разных материалов надо объединять, а недостатки – компенсировать.

При составлении такого комплекта оказалось, что недорогой шелковой пищалке при всей детальности звучания недостает «воздуха», а майларовая пищалка прекрасно

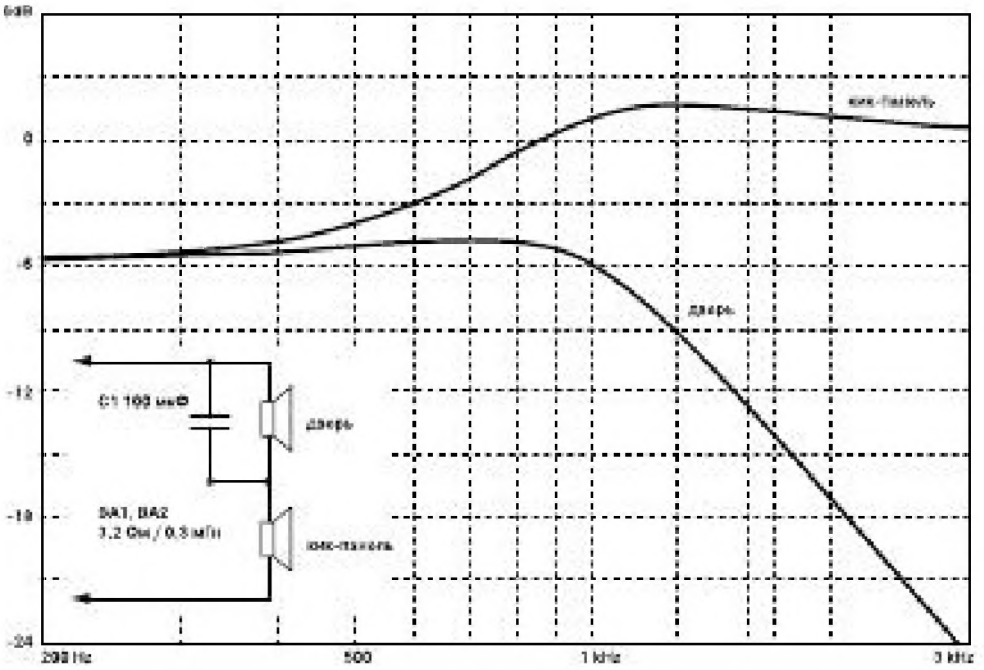
Рис. 6.12. Несимметричный последовательный фильтр для пищалок



«цыкает», но при работе с фильтром первого порядка обладает пронзительным «голосом». Очевидно, что при соответствующем выборе частоты раздела они составили бы прекрасную пару. Чувствительность пищалок оказалось практически одинаковой, а индуктивность отличалась почти на порядок. Был использован несимметричный последовательный фильтр квазивторого порядка, использующий индуктивность звуковой катушки одной из головок [105].

Конденсатор С1 определяет нижнюю границу диапазона воспроизводимых частот всей системы. Индуктивность звуковой катушки ВА1 участвует в формировании АЧХ. В области частоты раздела крутизна АЧХ близка к фильтрам 2-го порядка, хотя на большом удалении возвращается к исходному для 1-го порядка значению (6 дБ/окт). Верхняя граница диапазона для ВА1 формируется акустически. Поскольку отдача шелковой пищалки на частотах выше 11 кГц заметно снижается, вводить дополнительное затухание сигнала нет смысла. В то же время индуктивность звуковой катушки и конденсатор С2 образуют режекторный контур (фильтр-пробку) на частоту порядка 5 кГц. Подавление этой области частот устранило «пронзительное» звучание майларовой пищалки, сохранив за ней воспроизведение только высокочастотного участка диапазона. Качество звучания оказалось не в пример выше исходного (для отдельно взятых пищалок), а кроссовер в силу своей предельной простоты не представлял проблем для усилителя.

Рис. 6.13. Несимметричный последовательный фильтр для мидбасовых головок



Аналогичное решение было использовано и для двух одинаковых низкочастотных головок, работающих в разном акустическом оформлении. Одна из головок была установлена в передней двери легкового автомобиля, вторая – рядом с ней в кик-панели. Дабы сфокусировать звуковую сцену, полосу частот «дверной» головки нужно было ограничить сверху, а на головке в кик-панели – наоборот, выделить средние частоты. Решение простое и оригинальное: включить головки последовательно, «дверную» зашунтировать конденсатором емкостью 100 мкФ.

Получившийся фильтр также относится к классу последовательных фильтров. Их характерная черта – геометрическая сумма напряжений, подводимых к головкам, остается постоянной. Входной импеданс системы при этом может изменяться, что в данном случае и происходит. На низких частотах он близок к 8 Ом (работают обе головки), на средних – 4 Ом (работает головка в кик-панели). Система продемонстрировала высокое качество звучания.

Однако область применения предлагаемой методики расчета на основе простой модели динамической головки не ограничивается данными примерами. Еще один случай – улучшение звучания коаксиальных динамиков. Несмотря на повсеместное распространение АС с отдельными динамическими головками, нередко удобнее использовать коаксиальные динамики. Причин может быть много, зачастую заменить штатные коаксиалы другими динамиками вообще невозможно без кардинальной переделки посадочных мест из-за специфических размеров или особенностей конструкции. Что же делать в этом случае? Постараться выжать максимум из имеющегося «сырья».

Чаще всего коаксиальные динамики установлены в торпедо и работают в акустическом оформлении «открытый корпус». Вследствие акустического короткого замыкания воспроизведение частот ниже 200–300 Гц значительно ослаблено независимо от размера диффузора и частотной характеристики самого излучателя. Все попытки воспроизвести хоть какое-то подобие баса без доработки штатного места лишены смысла. Поэтому будем рассматривать коаксиал в торпедо исключительно как СЧ–ВЧ-излучатель и исследуем, как можно улучшить его характеристики в этой роли [110].

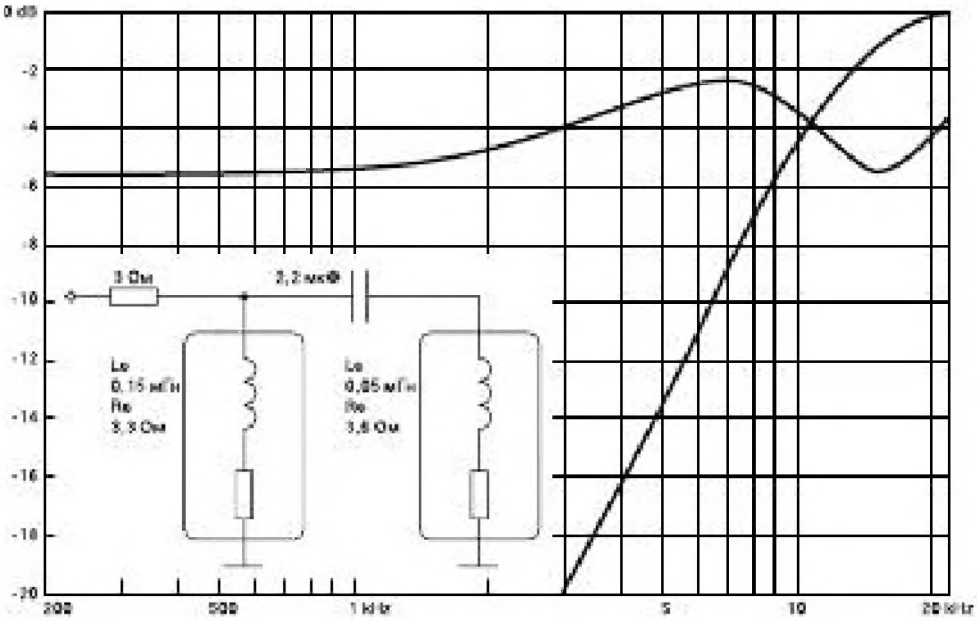
Поскольку в коаксиалах практически не используют склонные к внутренним резонансам «жесткие» диффузоры, то переход из поршневого режима работы в зонный происходит плавно. Поэтому специально формировать верхнюю границу рабочего диапазона не требуется. Большинство коаксиалов «торпедного» калибра (10–13 см) снабжены од-

ним дополнительным излучателем. Чаще всего это пищалка с текстильным или пластиковым куполом диаметром 13–18 мм, иногда металлизированным. Собственная частота резонанса таких излучателей 1,5–3 кГц. Кроссовер большинства коаксиалов работает только с пищалкой и образован единственным конденсатором емкостью 3,3–4,7 мкФ. Таким образом, это простейший фильтр первого порядка с частотой среза 6–9 кГц, поэтому подавление внеполосных сигналов недостаточное, возможна перегрузка пищалки. Следствие – «поросячий визг» и заметные резонансные призвуки.

Емкость конденсатора можно снизить вплоть до 2 мкФ, это сдвинет максимальную отдачу в область частот выше 10 кГц. Как отмечалось выше, электрический резонанс емкости фильтра с индуктивностью звуковой катушки пищалки формирует небольшой горб на АЧХ, вот его мы и «задвинем» наверх, чтобы улучшить отдачу в этом диапазоне частот. Повышение частоты раздела повысит и перегрузочную способность пищалки, это позволит без риска подводить к динамикам более высокую мощность.

Для компенсации влияния индуктивности и снижения интермодуляционных искажений последовательно с головкой включим последовательный резистор (*диссипатор*) и посмотрим, к чему это приведет.

Рис. 6.14. Доработка коаксиальной головки



На частотной характеристике основного излучателя появился плавный подъем в области 3–10 кГц величиной около 3 дБ. Величина подъема определяется индуктивностью

звуковой катушки и сопротивлением добавочного резистора. В зависимости от характеристик динамика это или компенсирует естественный спад АЧХ, или прибавит детальности звучания. Завал АЧХ выше 10 кГц – влияние режекторного контура, образованного емкостью фильтра и индуктивностью пищалки. На артефакты в области выше 15 кГц можно не обращать внимания, на этом участке еще наложится естественный спад АЧХ динамика. Таким образом, почти без усилий у нас появилось некоторое подобие кроссовера для основной головки. Благодаря индуктивности основного излучателя характеристики кроссовера пищалки тоже изменились. Несмотря на очевидный первый порядок, крутизна спада АЧХ достигает 9 дБ/окт.

Это плюсы. Теперь минусы. Следует учитывать снижение отдачи и ухудшение электрического демпфирования основного резонанса, но мы договорились не рассматривать низкочастотную область. Ухудшенное демпфирование может привести к некоторому «бубнению» в области частоты резонанса основного динамика (100–150 Гц). Но поскольку чувствительность снизилась примерно на 6 дБ, о подключении доработанного коаксиала к встроенному усилителю головного устройства, скорее всего, придется забыть. А раз так – во внешнем усилителе найдется активный кроссовер, чтобы ограничить снизу рабочую полосу частот. В конце концов, НЧ можно ограничить простейшим фильтром 1-го порядка.

Доработке были подвергнуты несколько коаксиальных динамиков разных марок: AUDAX (штатные Renault), Prology PX-1022, JBL P-452. Во всех случаях было отмечено «просветленное» звучание среднечастотного диапазона, исчезла «сиплость» пищалки при большой подводимой мощности, улучшился общий тональный баланс. Даже грубые AUDAX с тяжелыми картонными диффузорами и отвратительными пищалками – и те обрели второе дыхание.

6.1.4. Конструкция фильтров

Для уменьшения потерь катушки индуктивности, особенно последовательные, должны иметь низкое активное сопротивление – не более 0,1–0,2 Ом, что создает немало трудностей конструктору. С одной стороны, использовать в конструкции катушки ферромагнитные сердечники нежелательно. Нелинейные искажения, вызванные неизбежным намагничиванием сердечника, ухудшают качество звучания, особенно на средних частотах. С другой – использование сердечника позволяет резко снизить активное сопротивление катушки и потери в ней, что особенно актуально при применении встроенных усилителей магнитолы. Не

менее важно и то, что снижение сопротивления катушки улучшает демпфирование подвижной системы динамика. В большинстве случаев небольшой рост искажений – меньшее зло, чем недодемпфированные динамики. Так что выбор зависит от каждого конкретного случая. В промышленных конструкциях индуктивности без сердечников обычно выполняют для частот раздела выше 1–2 кГц, при более низких частотах раздела «воздушные» индуктивности используют только в самых бескомпромиссных конструкциях.

Оптимальная конструкция катушки без сердечника получится, если внутренний диаметр обмотки вдвое больше высоты катушки, а наружный диаметр – вдвое больше внутреннего [12]. При расчете задаемся индуктивностью катушки L (мкГн) и активным сопротивлением R (Ом).

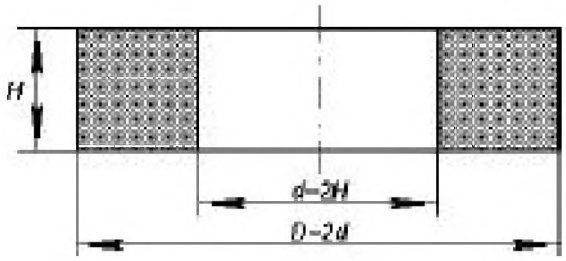


Рис. 6.15. Катушка индуктивности без сердечника

$$H = \sqrt{\frac{L}{8{,}66R}};$$

$$N = 19{,}88\sqrt{\frac{L}{H}};$$

$$d = 0{,}84\frac{H}{\sqrt{N}};$$

$$l = 0{,}1873\sqrt{LH}.$$

где H – высота катушки (мм);
N – число витков;
d – диаметр провода без изоляции (мм);
l – длина провода (м).

Диаметр провода округляется до ближайшего стандартного. Намотку нужно выполнить с небольшим запасом, окончательно индуктивность следует подогнать путем отматывания витков. Чтобы иметь возможность изменять частоты раздела, катушку можно выполнить с несколькими отводами.

Для намотки можно использовать пластмассовый каркас или применить бескаркасную намотку. В этом случае витки фиксируют клеем или компаундом. Нужно учитывать, что при работе фильтра с усилителем большой мощно-

сти катушки фильтра могут ощутимо нагреваться. Обычно в кроссоверах рассеивается 2–5% выходной мощности усилителя.

Конденсаторы фильтра должны быть неполярными с рабочим напряжением не ниже, чем пиковое напряжение сигнала при максимальной выходной мощности. К примеру, пиковое напряжение усилителя мощностью 100 Вт на нагрузке 4 Ом составляет 20 В. С учетом запаса можно использовать конденсаторы с рабочим напряжением 50 В. Неполярный конденсатор можно, в крайнем случае, заменить двумя полярными вдвое большей емкости, соединив их встречно-последовательно («плюс» к «плюсу»), но качество звучания может пострадать. Конденсаторы небольшой емкости лучше использовать бумажные или полипропиленовые.

6.2. АКТИВНЫЕ КРОССОВЕРЫ

Кроссоверы, или, по традиционной отечественной терминологии, разделительные фильтры, предназначены для формирования сигналов отдельных частотных полос. Задача фильтров – пропустить на выход частоты определенного диапазона, а внеполосные сигналы подавить. Для систем многополосного усиления применяются активные кроссоверы. Они выполнены на основе усилительных каскадов, охваченных частотно-зависимыми обратными связями, и включаются в тракт между источником сигнала и усилителем мощности соответствующей полосы.

По выполняемым функциям различают фильтры следующих типов.

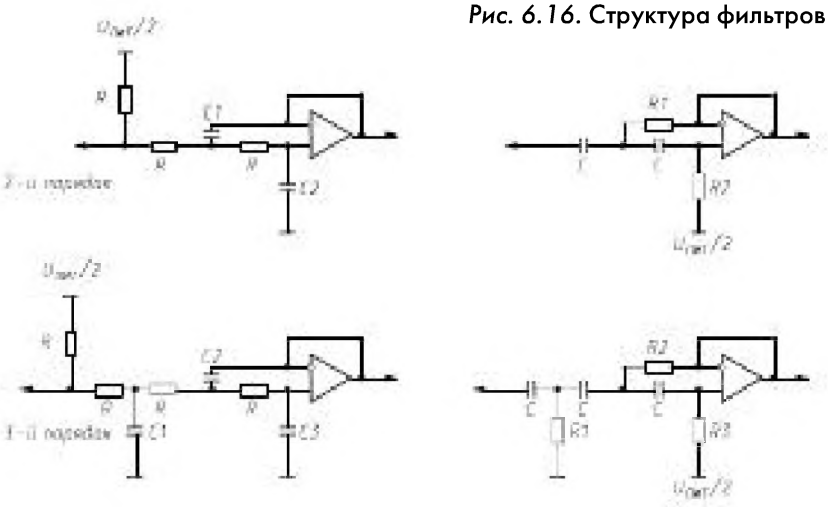
- Фильтры высоких частот (ФВЧ, High Pass) пропускают сигналы с частотой выше частоты среза.
- Фильтры низких частот (ФНЧ, Low Pass) пропускают сигналы с частотой ниже частоты среза.
- Полосовые, или полосно-пропускающие, фильтры (ПФ, Band Pass) пропускают сигналы определенной полосы частот.
- Режекторные, или полосно-заграждающие, фильтры подавляют сигналы в определенной полосе частот.

В соответствии с математической функцией, описывающей работу фильтра, различают фильтры *Бесселя, Баттерворта, Чебышева*. Основное отличие между ними состоит в поведении амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) вблизи частоты среза. За пределами полосы пропускания крутизну спада АЧХ однозначно определяет порядок (степень) этой функции. Каждый следующий порядок увеличивает крутизну на 6 дБ. Таким образом, фильтры второго порядка имеют крутизну АЧХ 12дБ/окт, третьего – 18дБ/окт и т. д.

Каждый из перечисленных типов имеет свои достоинства и недостатки. Фильтры Баттерворта, получившие наибольшее распространение, обеспечивают минимальную неравномерность АЧХ, фильтры Бесселя – линейную фазочастотную характеристику (ФЧХ). Поскольку коэффициенты Бесселя для фильтра второго порядка весьма близки, в промышленных и любительских конструкциях нередко используют *равнокомпонентные фильтры*. Они удобны в серийном производстве, поскольку для них требуются частотозадающие элементы одинаковых номиналов с допусками средней точности. Этого нельзя сказать о фильтрах Баттерворта и Бесселя, более критичных к номиналам элементов. Однако фазовая и частотная характеристики равнокомпонентных фильтров самые худшие, поэтому их используют только в бюджетных моделях усилителей и кроссоверов [70].

Схемотехника фильтров большинства конструкций разнообразием не отличается: чаще всего используются неинвертирующие фильтры (структура Саллена-Ки), в основе которых лежит повторитель или неинвертирующий усилитель с небольшим коэффициентом усиления (1,2–1,7) (рис. 6.16).

Рис. 6.16. Структура фильтров на повторителях



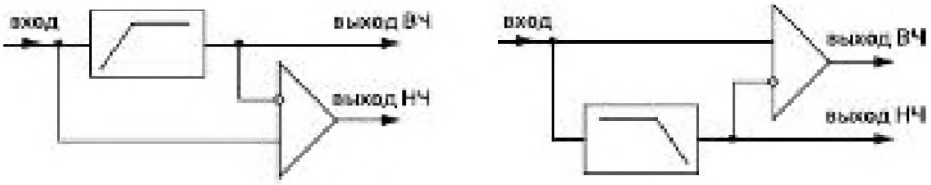
ФНЧ		$C=\frac{1}{2\pi FR}$	Порядок	ФВЧ		$R=\frac{1}{2\pi FC}$
Фильтр Бесселя	Фильтр Баттерворта	Равно-компонентный фильтр		Фильтр Бесселя	Фильтр Баттерворта	Равно-компонентный фильтр
C1=0,087*C C2=0,5*C	C1=1,414*C C2=0,707*C	C1=0,8*C C2=0,8*C	2	R1=1,5*R R2=2*R	R1=0,707*R R2=1,414*R	R1=1,2*R R2=1,2*R
C1=0,565*C C2=0,145*C C3=0,818*C	C1=1,395*C C2=3,549*C C3=0,202*C		3	R1=1,77*R R2=6,897*R R3=1,25*R	R1=0,717*R R2=0,202*R R3=4,950*R	

В качестве усилительных элементов можно использовать операционные усилители, включенные повторителями напряжения и скорректированные для единичного усиления. При однополярном питании необходимо обеспечить режим по постоянному току. Возможно использование эмиттерных или истоковых повторителей, что более удобно, так как не требует применения преобразователей напряжения [71, 72].

Любой фильтр (и активный, и пассивный) использует реактивные элементы – емкости и индуктивности, поэтому вносит в сигнал фазовые и временные искажения. Фильтры НЧ вносят запаздывание и отставание по фазе, которое можно в определенной мере скорректировать фазовращателем. При использовании фильтра Бесселя второго порядка в сочетании с фазовым корректором того же порядка можно получить фильтр с абсолютно линейной фазовой характеристикой. Что же касается ФВЧ, то они формируют фазовое опережение, которое принципиально невозможно состыковать с имеющимся ФНЧ.

Однако в этом случае можно использовать для формирования сигнала *фильтр дополнительной функции* (ФДФ). Выходной сигнал такого фильтра получается путем вычитания из входного сигнала той его части, которая прошла через ФНЧ (рис. 6.17). Очевидно, что в этом случае происходит компенсация фазовых искажений. Однако у фильтров дополнительной функции есть существенный недостаток: независимо от порядка фильтра основной полосы крутизна спада АЧХ в дополнительной полосе составляет только 6 дБ/окт, что может иногда оказаться недостаточным. Кстати говоря, по такой схеме нередко выполняют кроссоверы с синхронной регулировкой частоты раздела смежных полос. Регулируется частота среза только одной полосы, а другая изменяется за счет использования фильтра дополнительной функции.

Рис. 6.17. **Фильтр дополнительной функции**



6.2.1. Конструкция и органы управления

Активные кроссоверы автомобильных аудиосистем существуют в двух вариантах – встроенные в усилитель и внешние [70]. Некоторые внешние кроссоверы выпускаются для установки в панель приборов, в этом случае их габа-

риты соответствуют размерам магнитолы, но с уменьшенной высотой (2/3DIN или 1/2DIN). Внешние кроссоверы выполняются практически по тем же схемам, что и встроенные в усилитель, но отличаются развитой системой коммутации.

Наиболее распространены двух- и трехполосные активные кроссоверы. Двухполосные кроссоверы используются для структуры «сабвуфер + фронт», «мидбас + пищалки» или для популярного сейчас тракта «2,5 полосы». В этом случае активный кроссовер на входе усилителя разделяет полосы НЧ и общую СЧ–ВЧ, дальнейшее разделение которой производится пассивным кроссовером на выходе усилителя. Встроенные фильтры усилителя редко перестраиваются выше 120–150 Гц, поэтому внешний кроссовер обеспечивает большую гибкость настройки. Еще большие возможности предоставляют трехполосные кроссоверы. Это и классический вариант «фронт + тыл + сабвуфер», и «двухполосное усиление + сабвуфер», и «полномасштабное» трехполосное усиление.

Питание большинства кроссоверов двухполярное. Встроенные кроссоверы получают напряжение питания от усилителя, в конструкцию внешних входит преобразователь напряжения бортовой сети. Однополярное питание используется только в самых дешевых конструкциях, рассчитанных на источники сигнала с выходным напряжением не более 0,5 В.

В кроссоверах широкого применения наиболее распространены фильтры второго порядка. Для перестройки частоты среза фильтров в широком диапазоне необходимо синхронно изменять величины частотозадающих звеньев. Для этого обычно используются многосекционные переменные резисторы с хорошим согласованием характеристик. Так, для двухканального фильтра второго порядка требуются четырехсекционные резисторы. Кроме того, сопротивления секций в ряде случаев должны отличаться (например, для ФВЧ Баттерворта – в два раза). Поскольку изменение частоты среза обычно требуется только один раз при настройке системы, во многих конструкциях используются резисторные матрицы. В случае фильтров высокого порядка это не только удешевляет конструкцию, но и повышает ее надежность и точность настройки. Набор резисторов для нужной частоты среза можно приобрести вместе с усилителем (кроссовером) либо смонтировать их самостоятельно.

Пределы плавной перестройки частоты некоторых кроссоверов ограничены двумя-тремя октавами в наиболее употребительных диапазонах частот 50...800 Гц и 2...10 кГц, разбитых на отдельные поддиапазоны. Смена множителя

частоты в «многодиапазонных» конструкциях производится переключением частотозадающих конденсаторов. Если ограничить ширину поддиапазона одной-двумя октавами, то в фильтрах второго порядка можно перестраивать только одно звено. При этом добротность и форма АЧХ фильтра практически не изменяются, но в конструкции можно использовать недорогие двухсекционные переменные резисторы.

С целью снижения стоимости в последнее время в автомобильных усилителях все чаще используют фильтры переменной крутизны, состоящие из звена второго порядка с фиксированной граничной частотой среза и плавно перестраиваемого звена первого порядка. Такие фильтры нельзя отнести к какому-либо конкретному типу, потому что в процессе регулирования добротность и крутизна АЧХ изменяются, и «идеологически выдержанный» фильтр получается только в одном из положений регулятора.

Благодаря подобной структуре обеспечиваются неплохие фазовые характеристики в полосе пропускания (соответствуют фильтрам первого порядка) и хорошее подавление внеполосных сигналов (как у фильтров второго-третьего порядка). Изменение крутизны фильтра в полосе пропускания можно оценивать с разных позиций, но более гладкая фазовая характеристика по сравнению с традиционными вариантами делает фильтры переменной крутизны особенно привлекательными в том случае, когда частота раздела полос НЧ и СЧ–ВЧ лежит в области 400...900 Гц. В этом диапазоне локализация звуковых образов основана на разности фаз сигналов, поэтому для сохранения четкой звуковой картины фазовые искажения желательно минимизировать.

В трехполосных кроссоверах используются те же схемотехнические решения, что и в двухполосных. Основные отличия связаны с организацией канала средних частот. Он может быть организован как ФВЧ или как полосовой фильтр. Для расширения области применения во многих конструкциях можно отключить входящие в полосовой фильтр средних частот ФВЧ или ФНЧ. Для возможности оперативной фазировки каналов при настройке системы часто применяются дополнительные инвертирующие каскады и переключатели полярности сигнала. Встречаются и плавные регуляторы фазы. В большинстве встроенных кроссоверов предусмотрен корректор для подъема самых низких частот диапазона – бас-бустер. С этой же целью иногда используется ФВЧ с регулировкой добротности, что позволяет получить подъем АЧХ в районе частоты среза до 10 дБ. Подробное описание этих узлов приводится далее.

Многие модели кроссоверов могут быть использованы как в двухполосном, так и в трехполосном включении. В двухполосном варианте по структуре «фронт + тыл + сабвуфер» используются индивидуальные входы «фронт» и «тыл». Сигнал для сабвуфера формируется как сумма этих сигналов и не зависит от положения фейдера на головном устройстве. В трехполосном варианте для формирования сигнала сабвуфера используется отдельный вход. На выходе каналов установлены буферные усилители с регуляторами усиления. Наличие линейных выходов позволяет при необходимости организовать каскадное включение нескольких кроссоверов.

В качестве примера рассмотрим активный кроссовер Lanzar OptiX10 [70]. Этот универсальный 10-полосный кроссовер второго порядка можно использовать в различных вариантах включения. Насчет десяти полос, конечно, создатели слегка погорячились – каждый канал в стереопаре посчитали отдельно. А если считать, как у нас принято, в стереоварианте – получается пять независимых каналов: стереофонический канал низких частот/сабвуфера, два стереофонических полосовых канала СЧ и два стереоканала ВЧ. Полосовой канал и канал ВЧ организованы попарно с индивидуальным входом для каждой пары. Отдельный вход предусмотрен и для канала НЧ/сабвуфера. На входе всех каналов установлены буферные усилители, на выходе – регуляторы усиления. При необходимости можно организовать каскадное включение нескольких кроссоверов (в инструкции приведен один из вариантов), хотя необходимость этого вызывает сомнения – функциональное оснащение достаточно серьезно.

Развитая коммутация на входе позволяет использовать различные варианты подачи сигнала:

- полностью независимый по всем трем парам входов («фронт», «тыл», «сабвуфер»);
- с внутренним суммированием сигналов фронта и тыла («фронт», «тыл»);
- на один из входов «фронт» или «тыл» и отдельным входом сабвуфера;
- на единственный вход «фронт» или «тыл» с внутренним ответвлением сигнала на сабвуфер.

Рассмотрение структуры начнем с канала НЧ/сабвуфера – он выполнен в лучших традициях Lanzar и унаследовал все достижения в этой области. Помимо ФНЧ, плавно перестраиваемого от 40 до 240 Гц, в этом канале предусмотрен бас-бустер, частота настройки которого изменяется в диапазоне от 40 до 120 Гц. Максимальная степень коррекции +12 дБ.

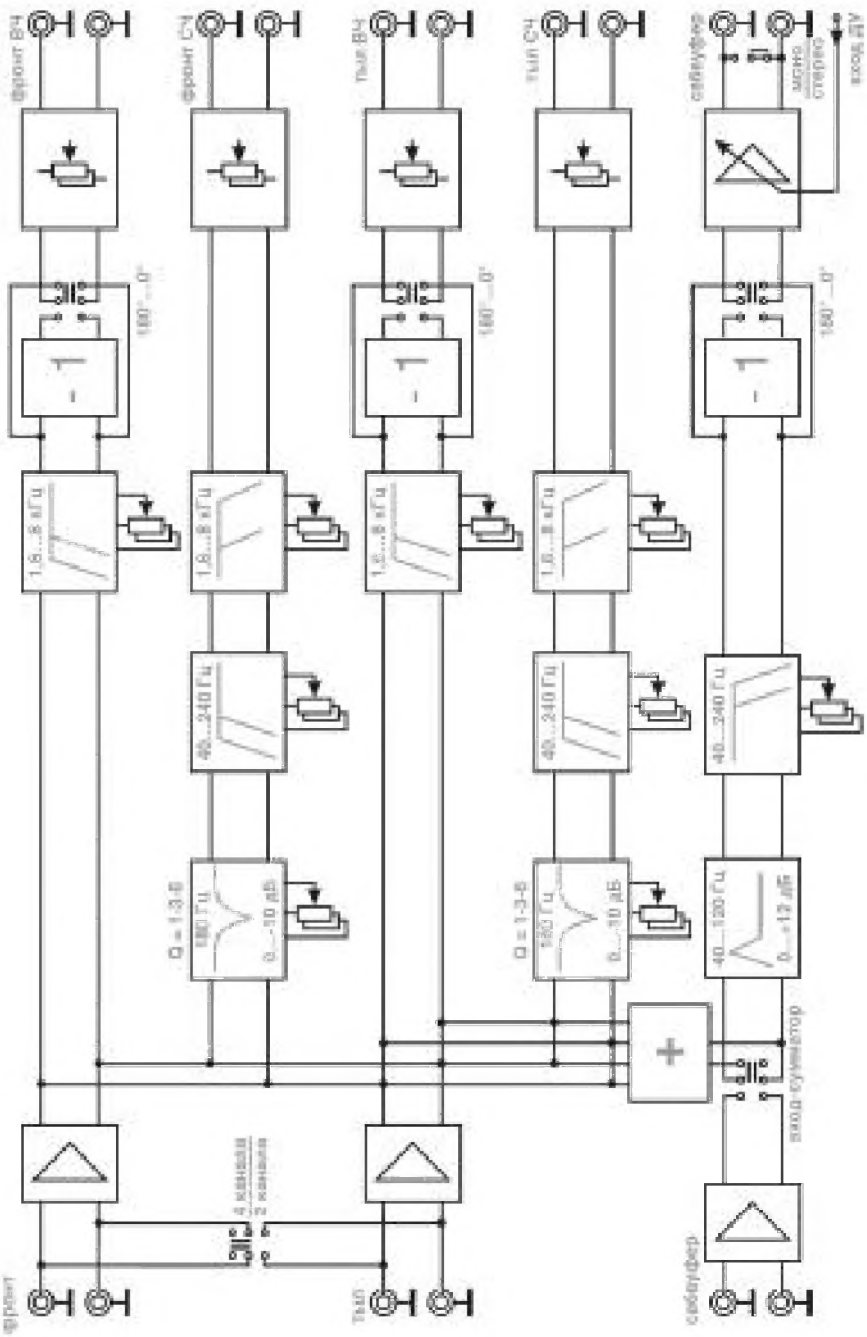


Рис. 6.18. Структура кроссовер Lanzar OptiX-10

Для возможности оперативной фазировки каналов при настройке в канале низких частот предусмотрен переключатель полярности сигнала. Если этот канал используется

для формирования сигнала сабвуфера, сигналы левого и правого стереоканалов можно объединить в монофонический сигнал. Для подачи сигнала в канал сабвуфера можно использовать как отдельный вход, так и входы «фронт» и/или «тыл». В варианте с внутренним суммированием сигнал сабвуфера не зависит от положения фейдера на головном устройстве.

Существенное удобство – возможность дистанционной регулировки уровня сабвуфера. Для этого использован специальный каскад – усилитель, управляемый напряжением (Voltage Controlled Amplifier, VCA). Разделение сигнальных и управляющих цепей позволяет вынести орган управления на расстояние нескольких метров. При подключении пульта дистанционного управления встроенный регулятор уровня блокируется.

Канал ВЧ представлен двумя независимыми парами – фронтальными и тыловыми. Организованы они без излишеств – предусмотрен только ФВЧ, перестраиваемый в диапазоне 1,6–8 кГц, регулятор уровня и переключатель полярности сигнала, необходимый для правильной фазировки каналов. Собственно, для пищалок ничего больше и не нужно.

Максимум инноваций применен в каналах СЧ, которые также представлены двумя независимыми парами («фронт» и «тыл»). ФВЧ, определяющий нижнюю границу диапазона, перестраивается от 40 до 240 Гц, а ФНЧ – от 1,6 до 8 кГц. Это позволяет получить оптимальное сопряжение с полосами НЧ/сабвуфера и пищалки (от «перекрытия» до «дырки»), что в ряде случаев помогает оптимизировать звучание, не прибегая к эквалайзеру.

Переключателя полярности сигнала здесь нет, зато предусмотрено звено параметрического эквалайзера – режекторного фильтра на частоту 180 Гц. На нем стоит остановиться подробнее. Подобный корректор (по-видимому, впервые в car audio) был применен в усилителях Macintosh для коррекции объемного резонанса салона, и назывался он ambience equalizer («эквалайзер окружения»). Предусматривалось две степени подавления (–3 и –6 дБ) с фиксированной шириной полосы режекции. Эта очень полезная (но неоправданно дорого реализованная) идея получила дальнейшее развитие в кроссовере Lanzar OptiX-10.

Главное нововведение – выбор значения добротности режекторного фильтра (то есть ширины полосы подавления) в соответствии с акустическими требованиями. Степень подавления можно плавно регулировать от нуля до максимума, определяемого выбранной величиной добротности фильтра. Предусмотрены три значения добротно-

сти – 1, 3 и 6, каждому из которых соответствует своя максимальная величина подавления. При добротности 1 она составляет 10 дБ, при 3 – 13 дБ, при 6 – 17 дБ. Такая степень коррекции, пожалуй, вряд ли когда потребуется – но чем черт не шутит? Запас никогда не помешает.

В кроссовере Lanzar OptiX-10 использована современная элементная база. Для питания применен преобразователь напряжения, что обеспечило полную развязку силовой и сигнальной земли. Металлический корпус надежно экранирует кроссовер от внешних наводок. В результате отношение сигнал/шум достигает 95 дБ.

- Диапазон рабочих частот 10 Гц – 30 кГц.
- Нелинейные искажения 0,01% (при выходном напряжении 1 В).
- Отношение сигнал/шум 95 дБ.
- Разделение стереоканалов 60 дБ.

Прежде чем перейти к рассмотрению практических схем, сделаем небольшое отступление. Регуляторы активных кроссоверов (особенно встроенных в усилитель) нередко не имеют рукояток, а оси снабжены накаткой или выведены «под шлиц». Тем не менее на всех последующих схемах они показаны переменными резисторами. С точки зрения автора (не во всем совпадающей с ГОСТом), доступные извне регуляторы, независимо от частоты их употребления и способа регулировки, нужно отображать переменными. А подстроечными – только те, которые конструктивно не приспособлены для многократной или быстрой регулировки (открытые «подковки», многооборотные резисторы) или для доступа к которым необходима разборка конструкции.

6.2.2. Схемы активных кроссоверов промышленного изготовления

Пример схемной реализации фильтров переменной крутизны – предварительный усилитель и кроссовер усилителя **Hifonics Mercury**. Данная схема с незначительными изменениями используется в ряде моделей нижней и средней ценовых категорий. На рис. 6.19 приведена упрощенная схема одного канала. Нумерация элементов условная, цепи питания не показаны [68].

На входе установлен сдвоенный регулятор уровня R2.1 и буферный усилитель с коэффициентом усиления 6 дБ, выполненный на ОУ DA1.1 в неинвертирующем включении. Другой ОУ этой микросхемы используется во втором канале усилителя. Далее сигнал поступает на фильтры. Переключатель SA1.1 позволяет подать на УМЗЧ сигнал

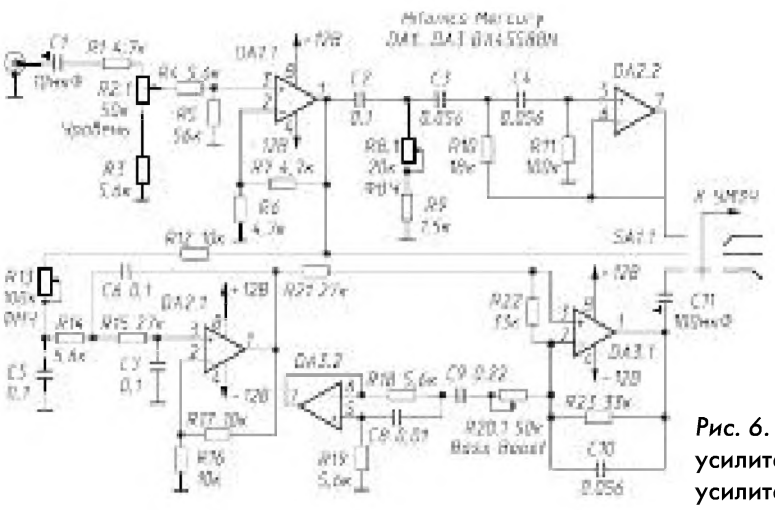


Рис. 6.19. Предварительный усилитель и кроссовер усилителя Hifonics Mercury

с выхода одного из фильтров либо непосредственно с выхода предусилителя.

Фильтр ВЧ переменной крутизны состоит из перестраиваемого звена первого порядка R8.1R9C2 и звена второго порядка с фиксированной частотой среза (80 Гц). Звено выполнено на ОУ DA2.2, включенном повторителем. Частота среза фильтра в целом изменяется от 80 Гц до 1 кГц.

Аналогичную структуру имеет и ФНЧ, частота среза которого перестраивается в диапазоне от 20 до 80 Гц. Для получения необходимой добротности фильтра коэффициент усиления ОУ DA2.1 при помощи делителя R16R17 установлен равным 6 дБ.

Кроссовер данного усилителя предназначен для работы с сабвуфером или малогабаритными мидбасовыми динамическими головками. Это обусловливает выбор диапазона перестройки фильтров. АЧХ фильтров в крайних положениях регуляторов приведена на рис. 6.20. Если частоту среза ФВЧ выбрать в пределах 150...250 Гц, за счет спада АЧХ можно в некоторой степени скомпенсировать резонанс салона (подробнее об этом рассказано далее).

Для коррекции АЧХ сабвуфера предусмотрен бас-бустер. На ОУ DA3.1 выполнен повторитель, а на ОУ DA3.2 – эквивалент резонансного контура с частотой настройки 45 Гц. Переменный резистор R20.1 регулирует степень включения контура в цепь ООС DA3.1, изменяя коэффициент усиления каскада на частоте настройки. Глубина регулировки – от 0 до + 12 дБ.

В некоторых усилителях применяется бас-бустер с фиксированным подъемом АЧХ. Упрощенная схема такого узла представлена на рис. 6.21 (усилитель **Magnat 360**). Корректор представляет собой каскад на ОУ, охваченный частотно-зависимой ООС через двойной Т-мост. Режим ОУ по

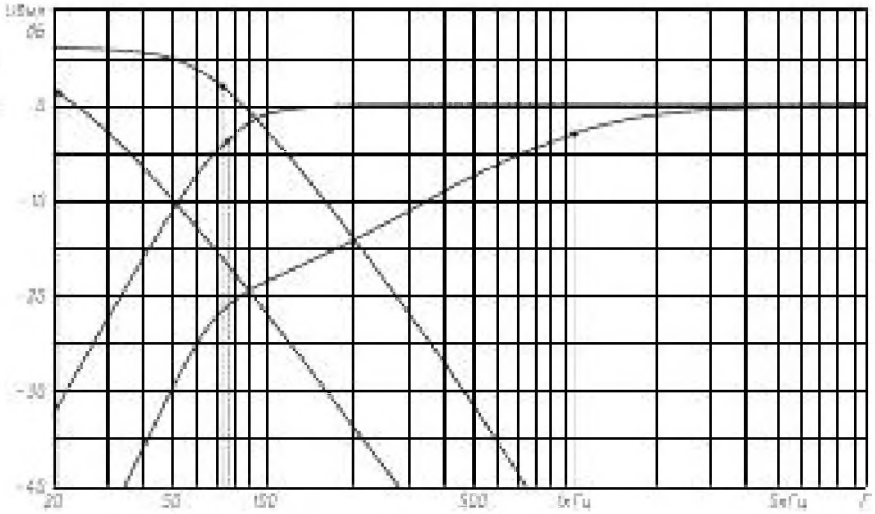


Рис. 6.20. АЧХ встроенного кроссовера усилителя Hifonics Mercury

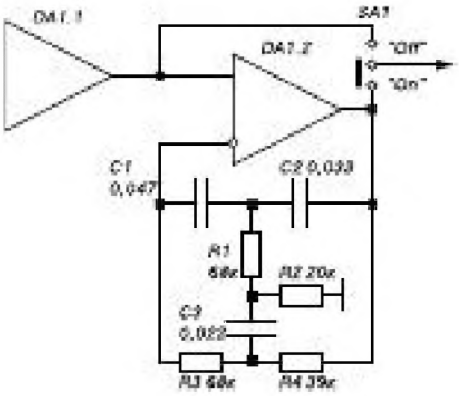


Рис. 6.21. Бас-бустер усилителя Magnat 360

постоянному току обеспечивается благодаря связи с предыдущим каскадом.

Бас-бустер традиционно и не всегда справедливо считается признаком не очень высокого класса установки – мол, по-другому не получилось, вот и включили. Однако при грамотном применении он способен действительно расширить вниз полосу воспроизводимых сабвуфером частот, необходим только соответствующий запас мощности – как усилителя, так и сабвуфера. Например, при коррекции в 10–12 дБ нужен как минимум пятикратный запас мощности.

Рассмотренные узлы в различных комбинациях характерны для двух- и четырехканальных усилителей начального и среднего уровней. Но подобные усилители могут работать с сабвуфером только в закрытом акустическом оформлении. Для таких вариантов, как фазоинвертор, пассивный излучатель и полосовой громкоговоритель высокого порядка, смещение диффузора головки ниже частоты настройки

порта ограничивается только жесткостью подвижной системы. Чтобы ограничить амплитуду колебаний, необходимо исключить из сигнала составляющие с частотами ниже 25...30 Гц. Традиционные RC-цепочки для этой цели непригодны, поскольку не обеспечивают нужной степени подавления инфранизких частот. В конструкции специализированных сабвуферных усилителей для этой цели используют активные фильтры обрезки инфранизких частот 4...6 порядков (*subsonic*). Они могут быть отключаемыми и неотключаемыми, с фиксированной частотой среза или с плавной ее перестройкой.

На рис. 6.22 приведена схема кроссовера одного из специализированных сабвуферных усилителей [68]. Сохранена нумерация элементов производителя, цепи питания не показаны.

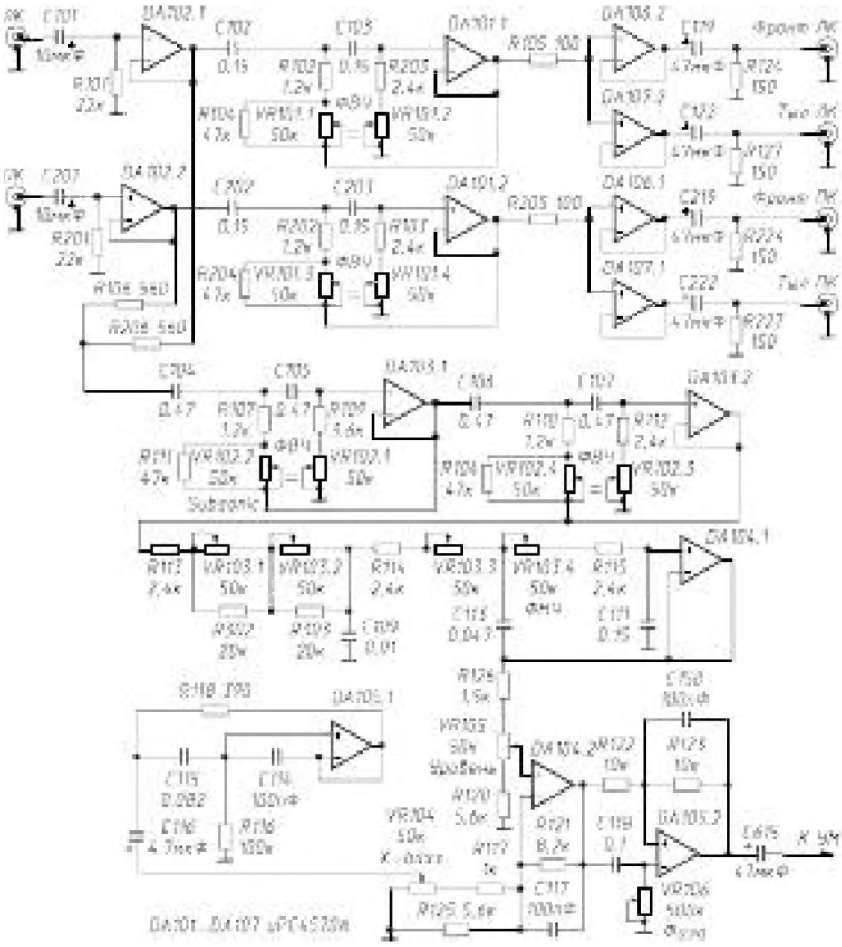


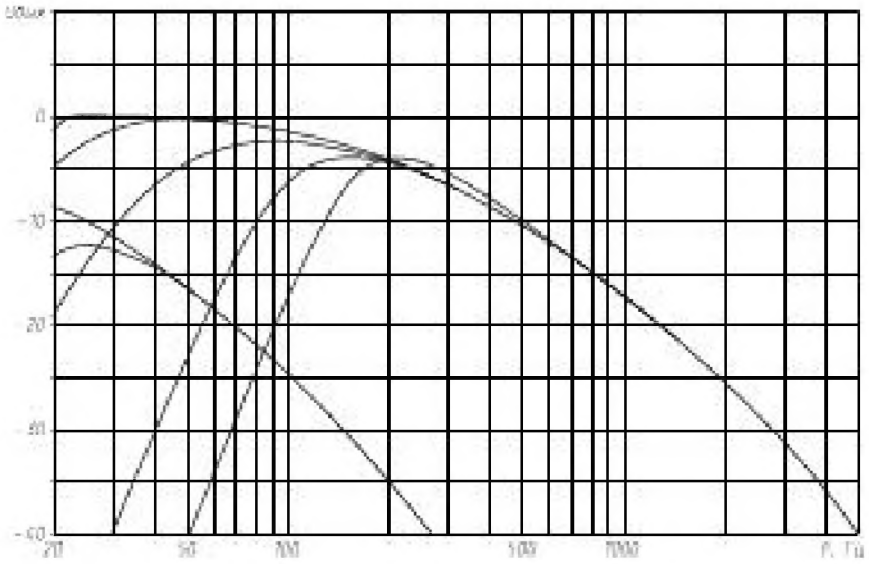
Рис. 6.22. Кроссовер усилителя для сабвуфера

Первый каскад – буферный на сдвоенном ОУ DA102. Далее сигнал поступает на ФВЧ второго порядка, выполненный на ОУ DA101. Применение фильтров позволяет ис-

ключить перегрузку малогабаритных АС нижними частотами диапазона. Частота среза ФВЧ перестраивается в диапазоне 30...600 Гц четырехсекционным переменным резистором VR101. Поскольку для ФВЧ Баттерворта сопротивление резисторов первого и второго звеньев должны отличаться в два раза, параллельно одной из секций подключены резисторы R104(R204). У такого решения есть особенность: характеристика Баттерворта сохраняется в достаточно узкой полосе перестройки (примерно до 100 Гц). Далее пропорциональность сопротивлений нарушается и к верхней границе диапазона фильтр превращается в равнокомпонентный. В отличие от фильтров Баттерворта, равнокомпонентные фильтры имеют не такой резкий перегиб АЧХ, а спад начинается достаточно далеко от частоты среза. С выхода фильтров сигнал через буферные повторители на сдвоенных ОУ DA106, DA107 поступает на линейные выходы фронтальных и тыловых каналов на внешний усилитель.

Оставшаяся часть схемы формирует сигнал для сабвуфера. С выхода буферных каскадов на DA102 сигнал через сумматор на резисторах R106R201 поступает на ФВЧ четвертого порядка (subsonic), выполненный на сдвоенном ОУ DA103. Частота среза изменяется от 10 до 130 Гц четырехсекционным переменным резистором VR102. Затем сигнал поступает на ФНЧ третьего порядка на ОУ DA104.1, частота среза которого изменяется от 20 до 200 Гц четырехсекционным резистором VR103. Выбранное сочетание частот среза позволяет получить практически любую результирующую АЧХ – вплоть до колоколообразной. Некоторые варианты АЧХ фильтров приведены на рис. 6.23.

Рис. 6.23. Варианты АЧХ усилителя

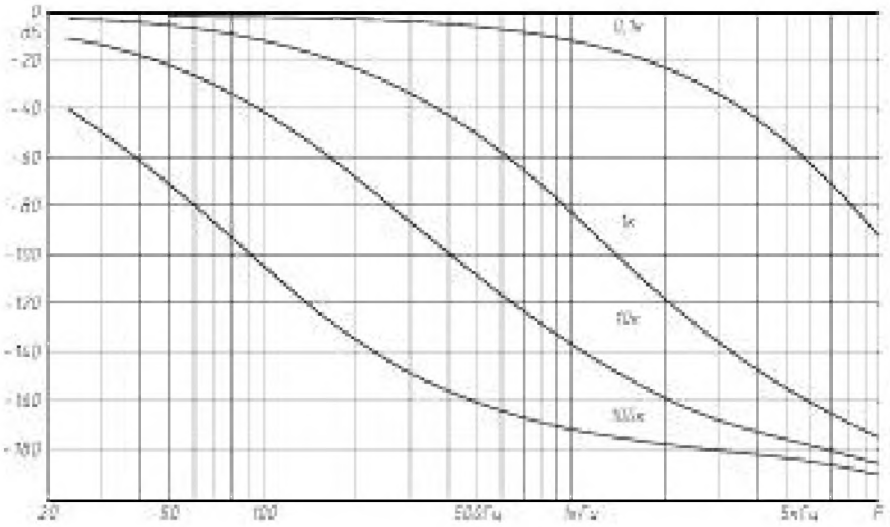


После фильтрации сигнал через регулятор уровня VR105 поступает на корректирующий усилитель (DA104.2). В цепи ООС этого каскада включен эквивалент резонансного контура – гиратор на DA105.1. Переменный резистор VR104 регулирует степень включения контура в цепь ООС, изменяя коэффициент усиления каскада на частоте 45 Гц. Глубина регулировки – от 0 до +18 дБ.

Последний каскад на ОУ DA105.2 – фазовый корректор. Необходимость его применения вызвана тем, что в фильтрах высокого порядка возникает значительный сдвиг фазы сигнала. Кроме того, поскольку в подавляющем большинстве автомобилей сабвуфер устанавливается в багажнике или задней части салона, излученный им сигнал задержан относительно сигнала фронтальной АС. Совокупное воздействие этих факторов вызывает заметное на слух «отставание» баса. Особенно заметен этот эффект, если сабвуфер воспроизводит частоты выше 70...80 Гц. В ряде случаев «состыковать» звучание удается простой сменой полярности подключения динамической головки сабвуфера, но для более точной настройки необходим фазовый корректор.

На рис. 6.24 приведены фазочастотные характеристики этого каскада для различных значений сопротивления резистора VR106. Частота, на которой вносимый данным корректором сдвиг фазы составляет 90 градусов, определяется постоянной времени цепи C118VR106. Линейный участок ФЧХ простирается примерно на одну октаву вверх и вниз от частоты настройки.

Рис. 6.24. **ФЧХ корректора фазы**



Применение фазового корректора оправдано не только для сабвуфера – введение сдвига фазы на средних частотах позволяет корректировать фокусировку звукового образа.

Поэтому аналогичный узел входит в состав некоторых усилителей и внешних кроссоверов, предназначенных для многополосного усиления [52].

Схемотехнические решения трехполосных активных кроссоверов аналогичны рассмотренным выше, но для расширения возможностей в канале средних частот есть коммутация рода работ. На рис. 6.25 приведена схема несложного трехполосного активного кроссовера производства одной из ведущих фирм. Сохранены нумерация элементов и оригинальные обозначения каскадов и органов управления. Подробный «разбор полетов» проводить не будем, ограничимся только новыми узлами.

Конденсаторы С3 и С4 на входе кроссовера фильтруют радиочастотные помехи, не оказывая влияния на передачу сигналов рабочей полосы частот. Далее сигнал через буферный усилитель DA1 распределяется по канальным фильтрам. Активные фильтры второго порядка сохраняют характеристику Баттерворта практически во всем диапазоне перестройки. Полоса частот изменяется в широких пределах:

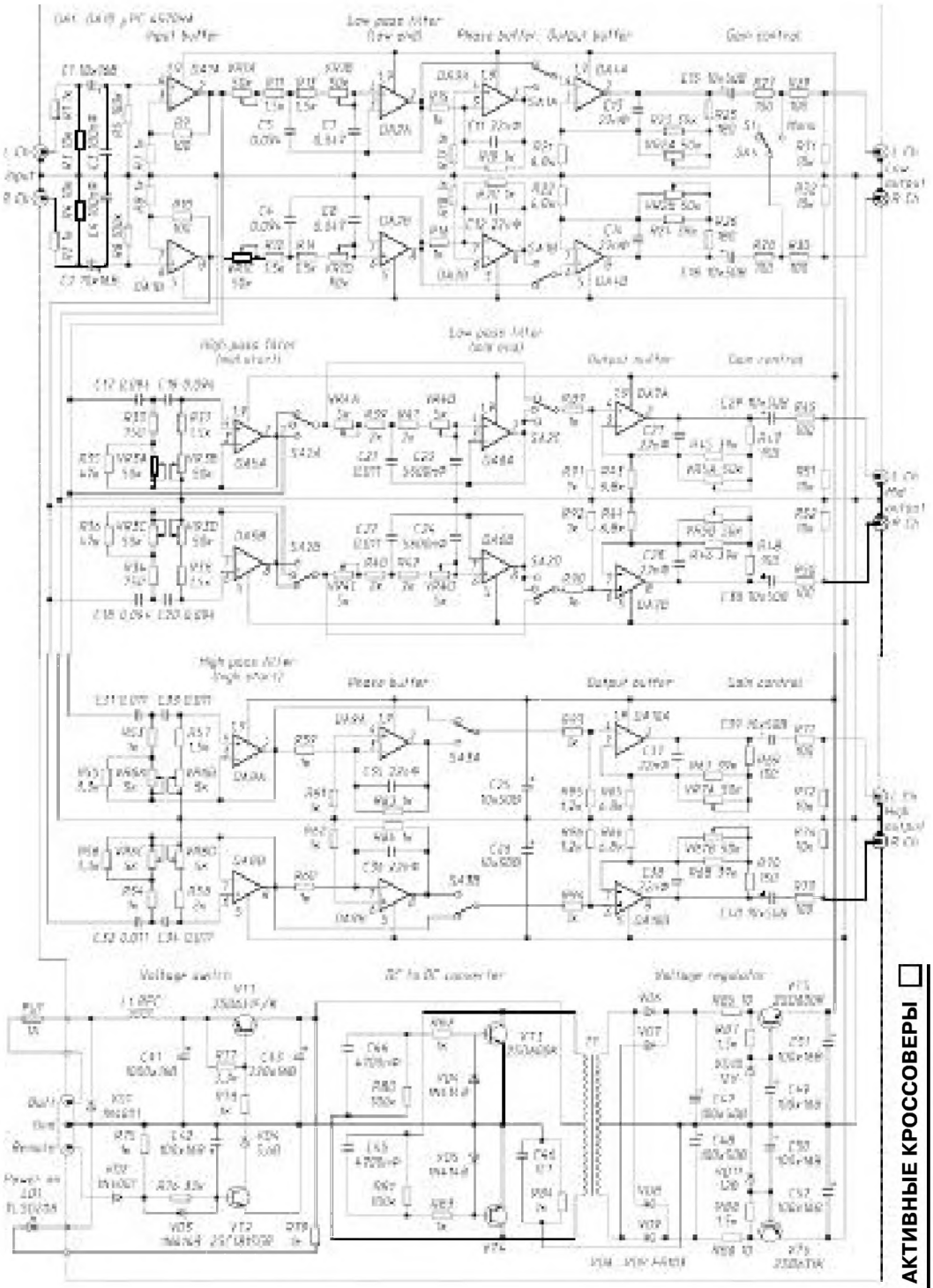
- в канале НЧ нижняя граница полосы пропускания определяется переходными емкостями и составляет несколько герц, верхняя граница перестраивается от 35 Гц до 1,6 кГц. Для возможности оперативной фазировки каналов при настройке предусмотрен переключатель полярности сигнала (DA3, SA1). Если этот канал используется для формирования сигнала сабвуфера, сигналы левого и правого стереоканалов можно объединить переключателем SA4;
- в канале СЧ нижняя граница полосы пропускания перестраивается от 35 Гц до 1,6 кГц, верхняя – от 3 до 10 кГц. Для расширения области применения переключателем SA2 можно отключить ФВЧ или ФНЧ, или все фильтры и использовать канал как линейный усилитель;
- в канале ВЧ нижняя граница полосы пропускания перестраивается от 3 до 10 кГц. Для возможности оперативной фазировки каналов при настройке предусмотрен переключатель полярности сигнала (DA9, SA3).

На выходе каналов установлены буферные усилители с регуляторами усиления. Максимальный коэффициент передачи канала НЧ приблизительно на 6 дБ выше, чем в каналах СЧ и ВЧ, что компенсирует низкую чувствительность НЧ-головок. Возможно, это реакция конструкторов на необъяснимое желание некоторых пользователей устанавливать регуляторы усиления в одно положение.

Оставшаяся часть схемы – узел управления включением и блок питания. Напряжение питания подано постоянно,

сигнал включения преобразователя формирует узел на транзисторах VT1, VT2 по сигналу remote от головного устройства. Цепь C42R76 обеспечивает задержку включения,

Рис. 6.25. Трехполосный кроссовер



а диод VD3 – быструю разрядку конденсатора C42 при выключении. Диоды VD1,VD2 защищают цепи питания при ошибочном включении в обратной полярности. Нестабилизированный преобразователь напряжения выполнен на транзисторах VT3, VT4 по трансформаторной схеме с самовозбуждением. После выпрямителя включен простейший двухполярный стабилизатор напряжения на транзисторах VT5, VT6 и стабилитронах VD10, VD11. Цепь R84C46 обеспечивает гальваническую связь общего провода первичных и вторичных цепей, разрывая при этом «токовую петлю» и снижая уровень помех. Подробнее роль этой цепи была рассмотрена в главе 5.

6.2.3. Любительские схемы для сабвуферов

Практически все автомобильные усилители оснащены кроссоверами. Особняком стоят топ-модели, рассчитанные на работу в системах с широкополосным усилением или внешними кроссоверами, и специализированные сабвуферные моноблоки с развитым оснащением. Однако в подавляющем большинстве аудиосистем используются массовые модели усилителей. Структура встроенных кроссоверов оптимизирована с учетом наиболее типичного применения, поэтому в них отсутствует ряд полезных узлов. Например, для сабвуфера в фазоинверторном корпусе крайне желателен фильтр обрезки инфранизких частот (subsonic), во многих случаях будет полезен регулятор сдвига фазы (фазовый корректор) и басовый эквалайзер. Дистанционный регулятор уровня сабвуфера пригодится в любом случае, но, к счастью, во многих современных усилителях он уже есть.

Если все перечисленные проблемы приходится решать одновременно, то лучшим решением будет специализированный усилитель для сабвуфера, в котором предусмотрены все необходимые регулировки. Но если по каким-то причинам его применение не оправдано или решить нужно только одну частную проблему, то можно воспользоваться самодельными устройствами. Далее предлагается несколько простых, но эффективных схем, проверенных на практике.

Регуляторы уровня сигнала

Самый простой вариант регулятора практически не содержит деталей и не требует доработки имеющегося усилителя. Для его реализации требуется промышленный или самодельный оптрон – обязательно на основе фоторезистора. Фотодиодные и фототранзисторные оптроны для регулирования аналоговых сигналов непригодны.

Регулятор (рис. 6.26) включается в цепь сигнала на входе усилителя и представляет собой управляемый делитель напряжения, одно плечо которого образовано фоторезистором, а второе – входным сопротивлением усилителя (10–20 кОм). Принцип действия основан на изменении сопротивления фоторезистора в зависимости от освещенности. Сопротивление затемненного фоторезистора велико – сотни килоом, поэтому сигнал на входе усилителя заметно ослаблен. При освещении фоторезистора его сопротивление снижается в десятки раз, и затухание сигнала уменьшается.

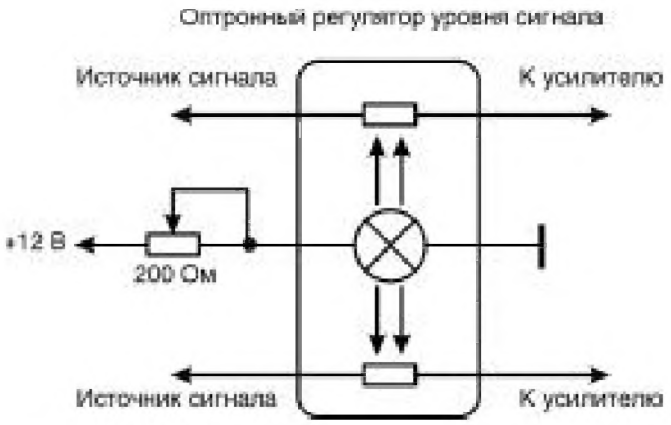


Рис. 6.26. Оптронный регулятор уровня сигнала

Недостаток конструкции в том, что даже при максимальной освещенности фоторезистора сигнал на входе усилителя все же ослаблен, поэтому усилитель должен иметь запас чувствительности. Достоинства – предельная простота и высокая помехозащищенность.

Следующий вариант подойдет тем, кого не смущает доработка усилителя. Для доработки пригодны усилители, входной каскад которых выполнен по схеме неинвертирующего усилителя, а инверсия сигнала, необходимая для работы в мостовом включении, производится в последующих каскадах или в самом усилителе мощности. Этому условию удовлетворяет большинство современных автомобильных усилителей.

Схема устройства приведена на рис. 6.27, вновь введенные детали выделены рамкой. Регулятор включается в цепь отрицательной обратной связи предварительного усилителя (на схеме приведены типичные номиналы деталей). Действие основано на изменении сопротивления канала полевого транзистора при изменении управляющего напряжения на его затворе. Другими словами, полевой транзистор играет роль управляемого напряжением переменного резистора. При увеличении положительного напряжения на затворе сопротивление канала снижается. Поскольку канал

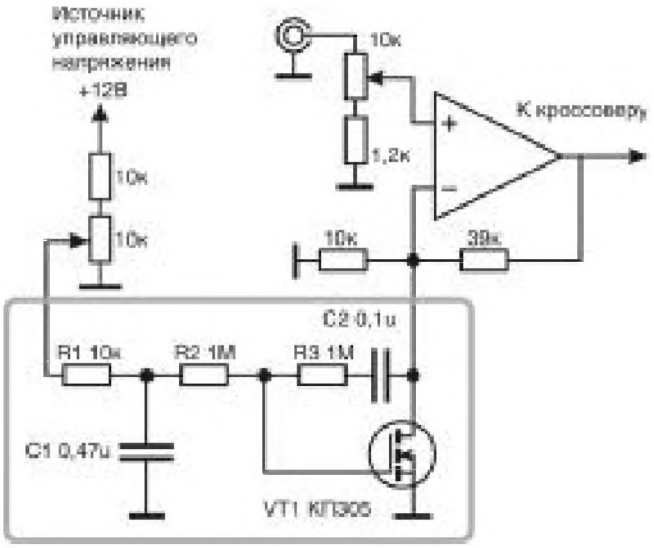


Рис. 6.27. Регулятор уровня сигнала на ПТ

транзистора подключен параллельно цепи ООС, это приводит к увеличению усиления предварительного усилителя.

Фильтр R1C1 развязывает цепи управляющего напряжения двух каналов и фильтрует наводки от бортовой сети. Цепь R3C2 вводит местную ООС в регулирующем каскаде, что снижает вносимые им искажения. Регулирующее напряжение изменяется в диапазоне 0–6 В, его можно сформировать общим для двух каналов коммутируемым делителем напряжения или потенциометром.

Недостаток конструкции – повышенный коэффициент гармоник (0,5–1,0%). Впрочем, для сабвуфера это вряд ли можно считать недостатком – его собственные искажения вблизи частоты резонанса достигают полутора десятков процентов. Достоинство – минимум деталей.

Subsonic и Bass-bust в одном флаконе

Обычно эти два узла в усилителях раздельные и попадаются чаще порознь, чем вместе. Единственное, пожалуй, исключение – усилитель Infinity Kappa 102a, в котором комбинированный фильтр-корректор носит загадочное название «динамический оптимизатор баса». Принцип действия прост – за счет регулируемой добротности фильтра ВЧ вблизи частоты среза появился горбик, а крутизна АЧХ заметно увеличена. Главное достоинство – при включении такого бас-бустера «невоспроизводимые» низкочастотные составляющие сигнала подавляются, и бас, приобретая вожделенную упругость и мясистость, не заставляет динамики стучать катушкой о магнит.

Пара слов о фильтре обрезки инфранизких частот. В серьезных конструкциях его выполняют перестраиваемым в диапазоне частот 10–50 Гц, чаще всего он четвертого по-

рядка – для надежного подавления частот вне полосы пропускания. Эти обстоятельства заметно усложняют изготовление такого фильтра своими силами – прежде всего из-за дефицитности четырехсекционных потенциометров. Если же отказаться от перестройки фильтра по частоте, то за счет небольшого отклонения от стандартной схемотехники можно добиться той же эффективности. Удобно выбрать частоту среза фильтра в области 20–30 Гц – в этом случае, с одной стороны, не страдают звуковые составляющие низкочастотного сигнала, а другой – обеспечивается достаточное подавление составляющих с частотой 10–15 Гц, вызывающих перегрузку сабвуфера.

Предлагаемая схема не повторяет схему динамического оптимизатора баса, но использует тот же принцип – повышенную добротность. Главное отличие от стандартного фильтра – усложненное звено второго порядка (рис. 6.28). Для повышения добротности фильтра цепь положительной ОС выполнена двухзвенной. В результате крутизна среза АЧХ приближается к фильтрам четвертого порядка. Дополнительное звено ФВЧ, образованное конденсатором С4 и входным сопротивлением усилителя, влияет на величину «горба» на АЧХ и степень подавления инфранизкочастотных составляющих (рис. 6.29). При повторении схемы можно использовать любой современный операционный усилитель.

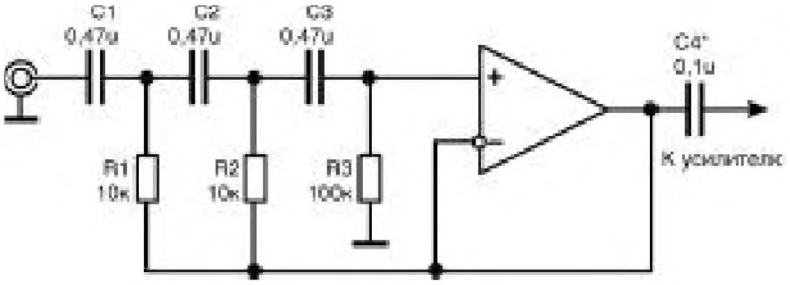


Рис. 6.28. **Фильтр обрезки инфранизких частот**

Фазовый корректор

В составе приводимых далее схем формирователей сигнала для сабвуфера имеется *фазовый корректор* (фазовращатель). Он необходим для стыковки звучания сабвуфера с фронтальной акустикой. Задержка распространения сигнала при установке сабвуфера в багажнике может быть весьма заметной, а если прибавить к этому характерную для любого сложного акустического оформления собственную задержку сигнала, то «отставание» баса может быть заметно на слух. Хорошо проявляется этот эффект при относительно высокой частоте раздела фронта и сабвуфера. Фазовый корректор позволяет в какой-то мере компенсировать

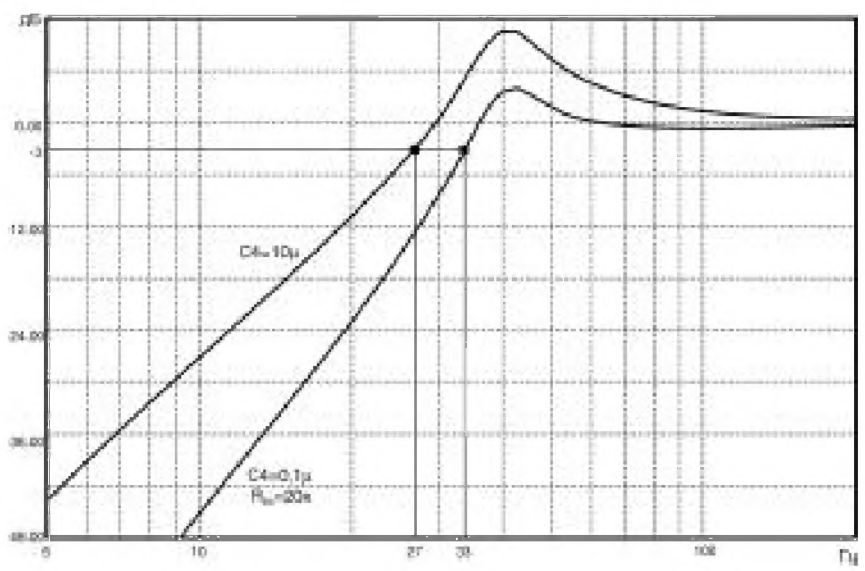
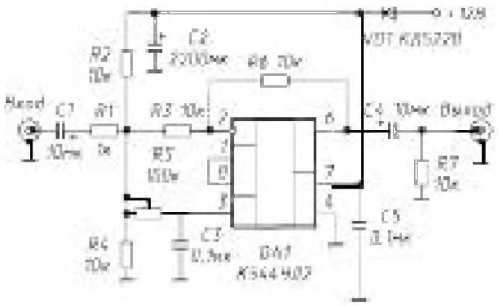


Рис. 6.29. АЧХ фильтра обрезки инфранизких частот

задержку распространения сигнала. При переднем расположении сабвуфера или низкой частоте среза (50–70 Гц) фазовращатель обычно не нужен. Согласования фазы можно добиться простой сменой полярности подключения динамической головки.

Если нужен отдельный фазовращатель, можно использовать следующую схему (рис. 6.30). Если входной сигнал превышает 1,5...2 В, сопротивление резистора R1 следует увеличить до 3...10 кОм, иначе возможно появление искажений. При встраивании каскада в усилитель лучше перейти к двуполярному питанию и использовать фрагмент схемы 6.32, подав сигнал в точку соединения конденсаторов C5, C6. Предварительные каскады при этом исключаются.

Рис. 6.30. Фазовращатель для сабвуфера



Формирователь сигнала сабвуфера на полевых транзисторах

Введение полевых транзисторов в канал сабвуфера позволяет создать относительно простую схему с хорошими характеристиками.

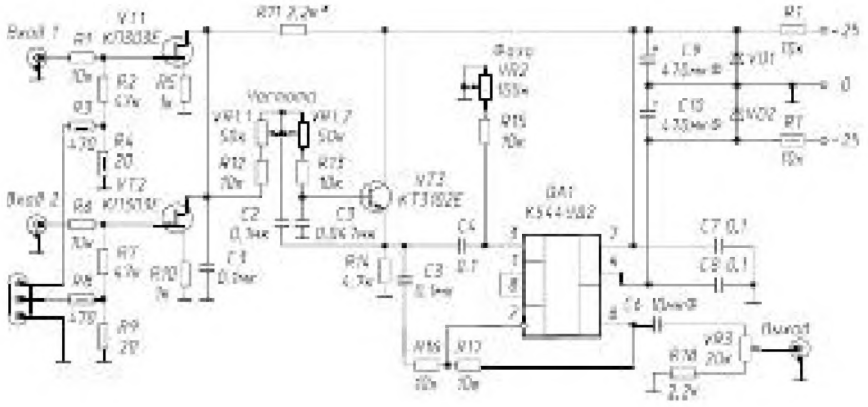


Рис. 6.31. Сумматор и активный фильтр для сабвуфера на полевых транзисторах

Делители напряжения на входе предотвращают перегрузку первого каскада. В случае использования линейных выходов с напряжением 2–4 В сопротивление резисторов R1,R2 нужно увеличить до 33–47 кОм. Для обеспечения работы с магнитолами без линейного выхода введен вход высокого уровня (*High input*). На выходе установлен регулятор усиления с пределами регулировки порядка 20 дБ. Максимальное напряжение на выходе составляет 2,0 В.

Сумматор на полевых транзисторах VT1, VT2 совмещен с однозвенным ФНЧ R11C1 с частотой среза около 150 Гц. Следующий каскад – перестраиваемый ФНЧ второго порядка с характеристикой Баттерворта. Частота среза изменяется сдвоенным переменным резистором VR1 от 40 Гц до 200 Гц. Последний каскад – фазовращатель на операционном усилителе DA1. Он перестраивается переменным резистором VR2. Конденсатор C6 образует фильтр инфранизких частот.

Для питания ОУ используется двуполярное напряжение 15 В, снимаемое с параметрического стабилизатора напряжения. Предварительные каскады питаются однополярным напряжением 15 В. Если фазовращатель не требуется, ОУ DA1 и связанные с ним элементы можно исключить, а напряжение питания – снизить до 12 В. Левый по схеме вывод конденсатора C6 в этом случае соединяют с эмиттером транзистора VT3. Налаживание сводится к подбору резистора R11 до получения на эмиттере VT3 напряжения 7...8 В при напряжении питания 15 В и 6...6,5 В – при питании 12 В.

Бас-процессор

В первом варианте схемы предусмотрены дистанционная регулировка уровня и дистанционное же переключение фазы сигнала сабвуфера (рис. 6.32). Первый каскад на DA1.1 – сумматор и ФНЧ первого порядка с частотой среза 160 Гц. Каскад на DA1.2 инвертирует фазу, остается только

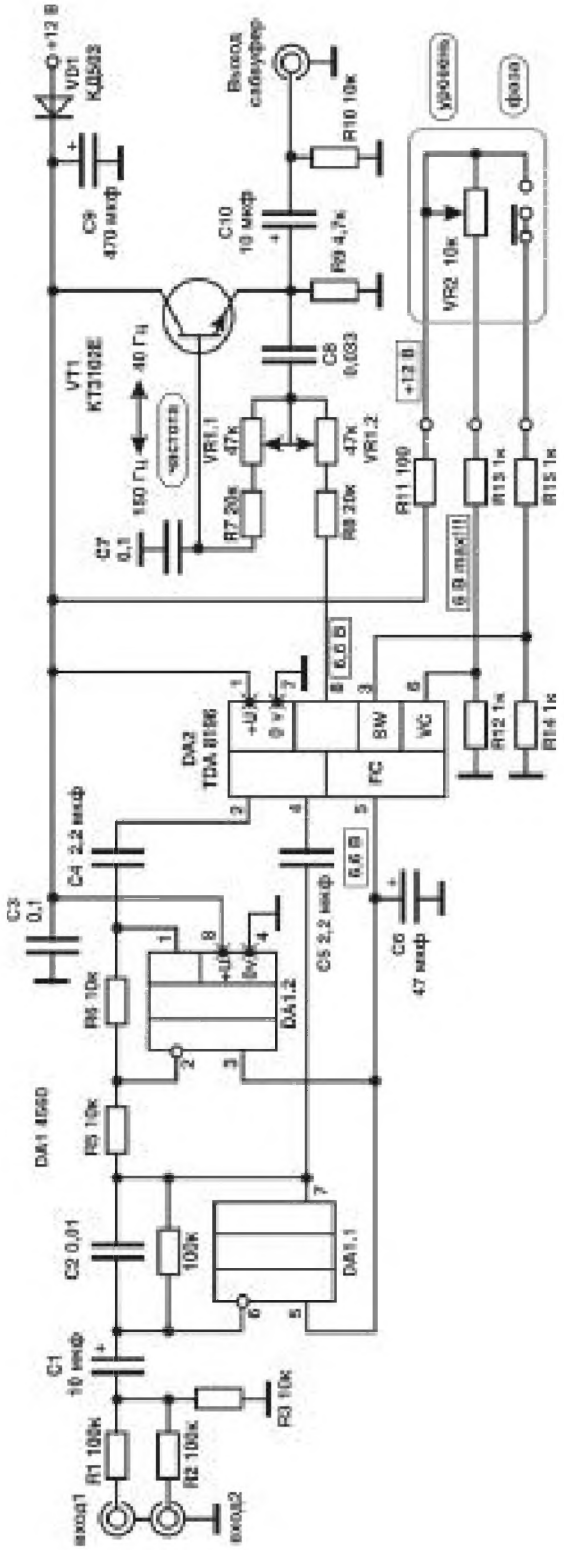


Рис. 6.32. Бас-процессор (1 вариант)

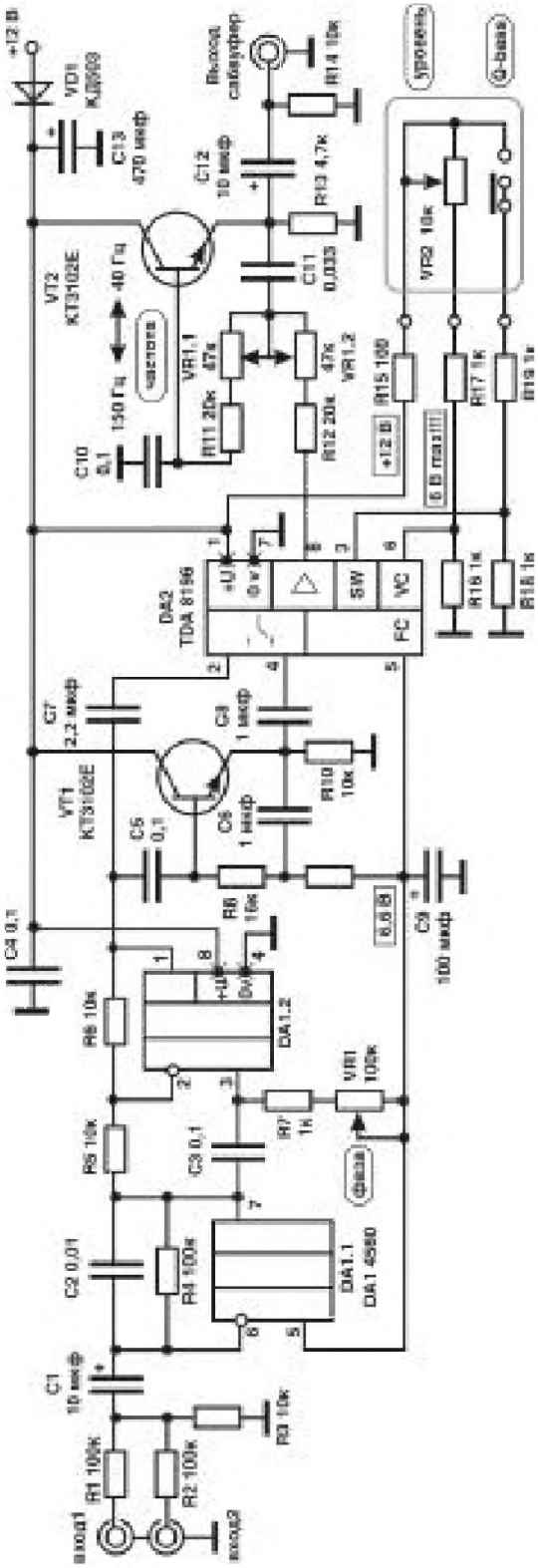


Рис. 6.33. Бас-процессор (2 вариант)

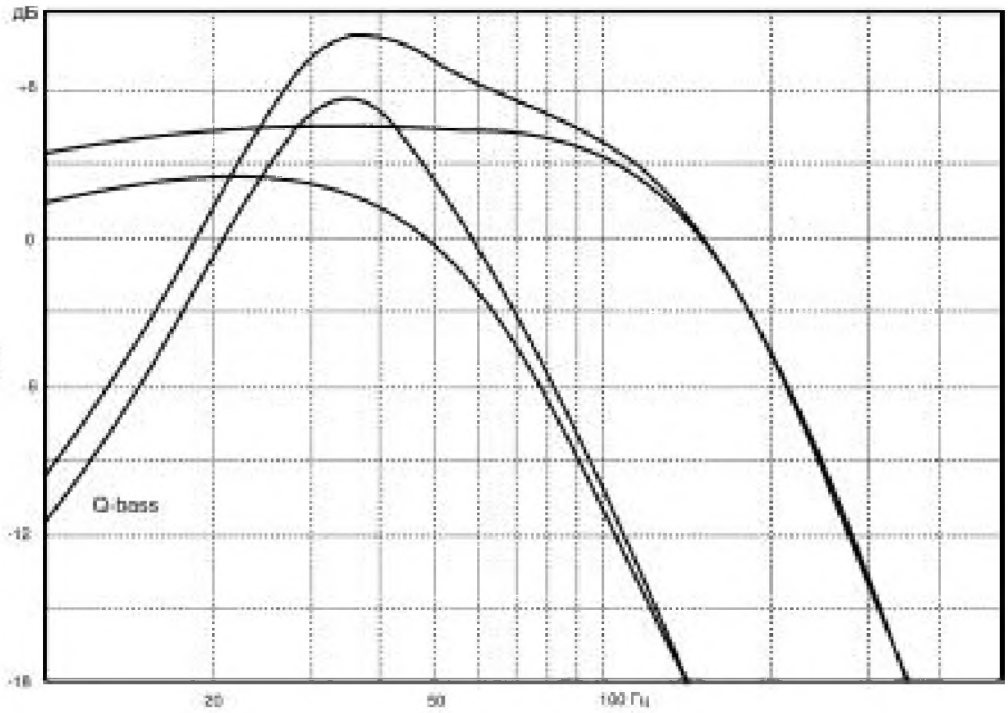
выбрать сигнал нужной полярности. На микросхеме TDA8196 выполнен коммутатор фазы сигнала и дистанционный регулятор уровня, управляемый постоянным напряжением.

Режим работы микросхемы задается внутренними цепями, с вывода 5 берется потенциал «искусственной земли» для ОУ DA1. Далее сигнал поступает на ФНЧ 2-го порядка на эмиттерном повторителе VT1. Частота среза плавно перестраивается от 40 до 150 Гц, причем добротность фильтра выбрана выше баттервортовской. В результате при максимальной частоте среза крутизна достигает 18 дБ/окт.

Во втором варианте схемы (рис. 6.33) наряду с дистанционной регулировкой уровня предусмотрена плавная регулировка фазы сигнала сабвуфера и оригинальный корректирующий каскад, сочетающий в себе бас-бустер и ФВЧ (subsonic). Принцип действия оптимизатора баса прост – за счет высокой добротности фильтра ВЧ вблизи частоты среза появился горбик, а крутизна АЧХ заметно увеличена. Аналогичное решение на ОУ было рассмотрено выше. На рис. 6.34 приведены АЧХ с включенным и выключенным оптимизаторами баса.

Конструкция некритична к типу деталей. В роли DA1 можно использовать любые ОУ со встроенной коррекцией (4558, 4560 и т. д.), не обязательно сдвоенные. Транзистор VT1 – любой n-p-n с коэффициентом передачи тока не меньше 100. Пульт управления можно вынести на расстояние до

Рис. 6.34. АЧХ оптимизатора баса



нескольких метров, при желании в него можно ввести светодиодную подсветку.

6.2.4. Любительские схемы активных фильтров

Несмотря на то что встроенные в усилители кроссоверы решают большинство задач, иногда возникает необходимость и в самоделках. Одна из причин этого – слишком большое количество операционных усилителей в тракте сигнала. Для ОУ массовых серий это может привести к снижению качества звучания (потеря «прозрачности», шумы и т. д.). Для повышения качества звучания можно использовать полевые транзисторы.

Схемы, выполненные на полевых транзисторах, обладают рядом достоинств – высокое входное сопротивление, малые искажения при предельной простоте. Каскады на полевых транзисторах придают звучанию «теплоту», характерную для вакуумных ламп, поэтому их применение особенно оправдано в широкополосных цепях.

Более широкими возможностями и существенно лучшими характеристиками обладают схемы, выполненные на полевых транзисторах [72]. Их применение позволяет получить минимальные искажения сигнала при предельной простоте схемы. Однако полевые транзисторы обладают довольно значительным разбросом характеристик. Поэтому для правильной работы приводимых ниже схем может потребоваться или предварительный отбор транзисторов, или наладка готового устройства, что делает эти схемы непригодными для серийного производства. Коэффициент передачи истокового повторителя составляет 0,9–0,95, в отличие от эмиттерного, для которого этот показатель практически равен 1. Поэтому номиналы резисторов частотозадающих цепей несколько отличаются от расчетных. Используя элементы предложенных схем, радиолюбитель может создать активный фильтр нужной конфигурации.

В тех случаях, когда фронтальная АС построена на базе малогабаритных головок, для снижения вносимых ими искажений необходимо ограничить уровень сигнала низких частот при помощи фильтра. Удобно объединить эту схему с формирователем сигнала для сабвуфера (рис. 6.35).

На входе основного канала установлены активные ФВЧ второго порядка с характеристикой Бесселя, выполненные на полевых транзисторах VT1, VT2. Выбранная структура обеспечивает минимальные фазовые искажения сигнала в основном канале. Частота среза фильтров – около 110 Гц, крутизна спада АЧХ ниже частоты среза: 10 дБ/окт.

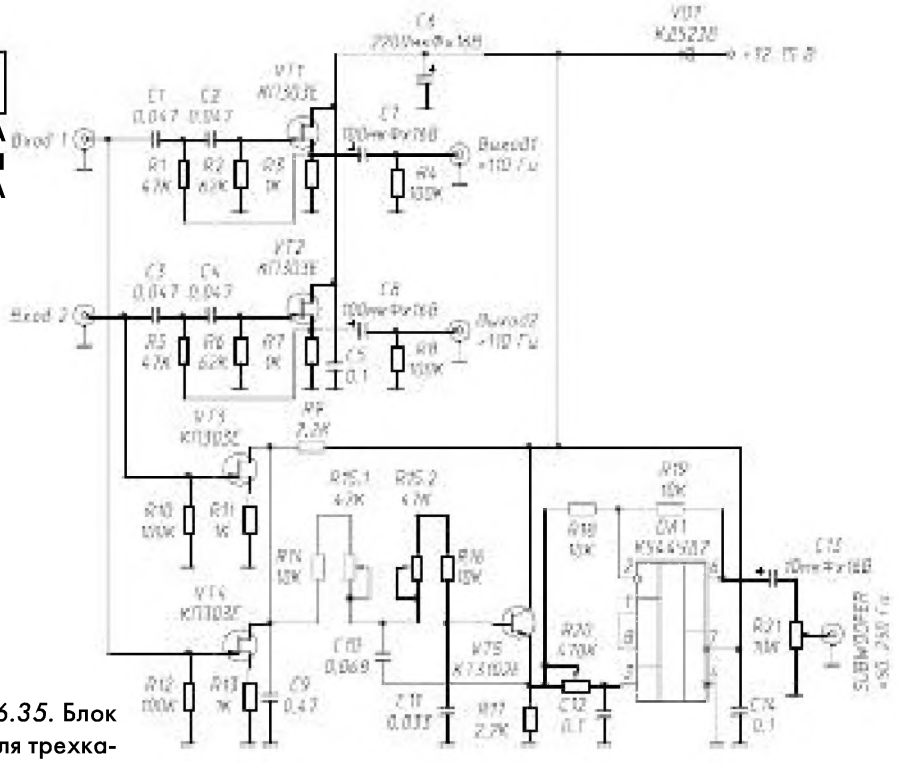


Рис. 6.35. Блок фильтров для трехканального усиления

Для изменения значения частоты среза необходимо пропорционально изменить емкости конденсаторов C1–C4. Формирователь сигнала для сабвуфера аналогичен рассмотренному ранее.

Налаживание сводится к подбору резистора R9 до получения на выводе 6 DA1 постоянного напряжения 6 В. Каскады на транзисторах VT1, VT2 обычно регулировки не требуют, необходимо только проверить постоянное напряжение на их истоках. Оно должно составлять 1,3–2,5 В. Если это не так, необходимо подобрать резисторы R3, R7.

Во избежание искажений сигнала входное напряжение не должно превышать 1,0 В. Если имеющийся источник сигнала развивает на линейном выходе существенно большее напряжение, на входе формирователя нужно установить делитель напряжения. Сопротивление резистора в нижнем плече делителя не должно превышать 10 кОм, чтобы не повлиять на АЧХ фильтров основного канала. Если фазовращатель не нужен, его можно исключить, сигнал в этом случае снимается с эмиттера транзистора VT5.

Для трехполосной системы с частотой раздела порядка 300–400 Гц можно использовать эту же схему, уменьшив номиналы конденсаторов C1–C4 до 0,01–0,015 мкФ. В этом случае на выходе будет сигнал полосы ВЧ и понадобится

формирователь сигнала полосы НЧ. Схема полосового фильтра для одного канала приведена на рис. 6.36.

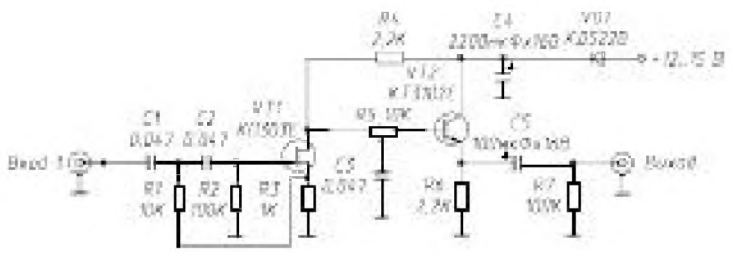
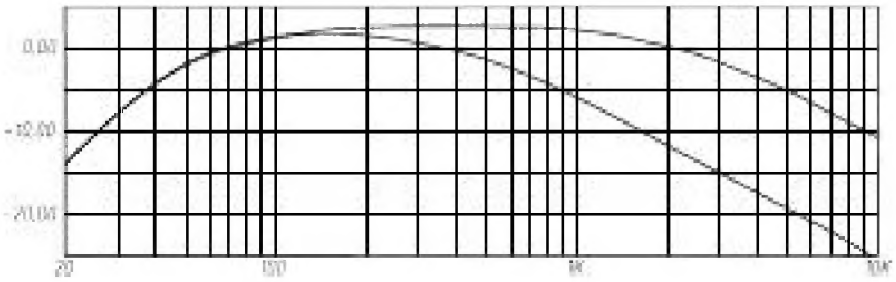


Рис. 6.36. Полосовой фильтр

Фильтр построен на основе структуры «ОИ-ОК». Первый каскад на полевом транзисторе – ФВЧ Баттерворта второго порядка с частотой среза около 55 Гц. Каскад инвертирующий, сигнал со стока поступает на пассивный ФНЧ первого порядка, частота среза которого перестраивается переменным резистором R5 от 200 Гц до 2 кГц, а с него на выходной эмиттерный повторитель. Коэффициент передачи фильтра по напряжению в рабочей полосе частот 1,5–2. На выходе устройства можно установить регулятор напряжения аналогично предыдущей схеме. АЧХ фильтра в крайних положениях регулятора приведена на рис. 6.37.

Рис. 6.37. АЧХ полосового фильтра



Если объединить описанные чудеса схемотехники, получится блок фильтров, схема которого приведена на рис. 6.38. В комментариях она не нуждается, поскольку составлена из уже рассмотренных узлов. Блок фильтров можно превратить в трехполосный с отдельным формирователем сигнала сабвуфера, для чего нужно ввести еще один полосовой фильтр и изменить граничные частоты.

Немного о примененных деталях. Керамические конденсаторы в звуковом тракте использовать нельзя из-за микрофонного эффекта, их можно ставить только в цепи питания. Из недорогих и доступных лучше всего использовать К73-17 (емкость от 0,01 до 6,8 мкФ, напряжение от 50 до 630 В, цена зависит от размера и допуска). Конденсаторы нужно подобрать в пары с минимальным разбросом (важно не точное значение емкости, а рассогласо-

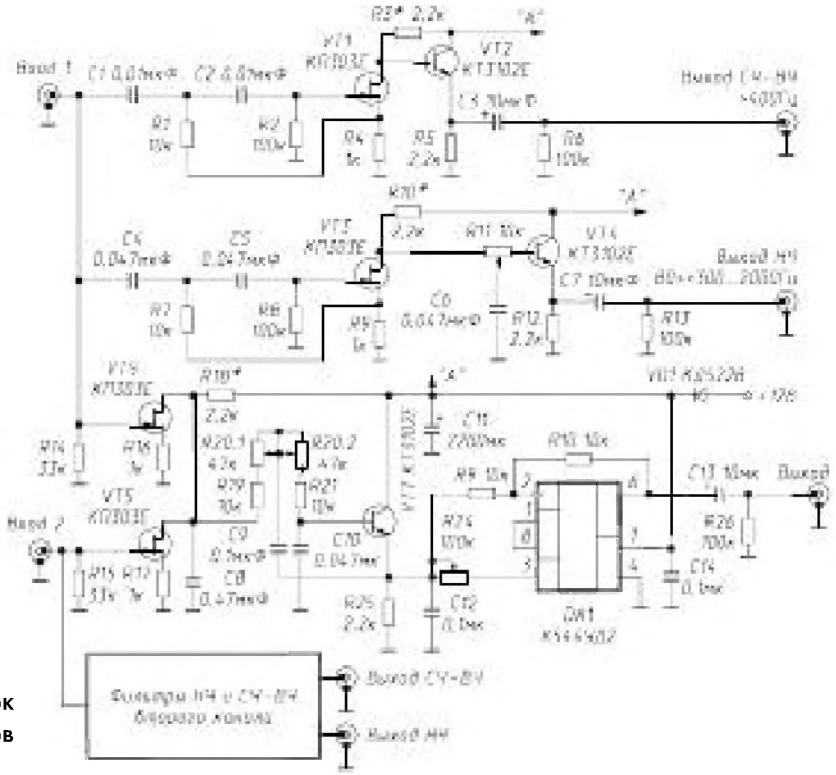


Рис. 6.38. Блок фильтров

вание по каналам). Многие современные мультиметры позволяют измерить емкость непосредственно. Если такой возможности нет, лучше использовать конденсаторы с допуском 5%.

Полевые транзисторы по каналам нужно подбирать в пары по начальному току стока и напряжению отсечки. Если такой возможности нет, лучше использовать транзисторы из одной партии – в пределах упаковки разброс параметров обычно невелик. Вместо КП303 можно использовать сборки серии КПС, там идентичность пар обеспечивается технологически. Вместо КТ3102Е можно использовать любые другие n-p-n транзисторы с коэффициентом передачи тока более 50. Словом, возможности для творчества открываются широкие...

6.3. КОРРЕКТОРЫ АЧХ

Одно из важнейших требований к аппаратуре высококачественного воспроизведения – линейность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). На ее неравномерность в рабочем диапазоне частот влияют многие факторы – источник сигнала, усилительный тракт, акустические системы. И хотя современные компоненты обладают хорошей АЧХ, на результат влияют акустические дефекты салона – локальные резонансы и области поглощения. Для их устра-

нения можно в определенных пределах перестраивать частоту раздела полос и менять относительную полярность динамических головок. Однако возможности этого метода коррекции ограничены, и в установке высокого уровня практически всегда присутствует эквалайзер, призванный скорректировать итоговую частотную характеристику.

Решение это не такое простое, как кажется на первый взгляд. Профессиональный высококачественный прибор и стоит соответственно, и настройка его – дело непростое, требующее опыта и измерительной аппаратуры. Если же использовать бюджетную модель, качество звучания вряд ли улучшится. Два-три десятка операционных усилителей общего назначения способны оставить от звука одни воспоминания. Поэтому стремление обойтись без эквалайзера понятно всем, кто работает над установкой творчески.

Для получения ровной и гладкой результирующей АЧХ можно использовать различные приемы, поэтому начнем изложение задач и методов коррекции от общих проблем к частным. Головная боль car audio – резонанс салона, проявляющийся в характерном «гудении» на некоторых басовых нотах. Замеры АЧХ показывают на частотах 120...160 Гц «горб» величиной от 3 до 8 дБ. Помимо этого, обычно присутствует «провал» на частотах 250...400 Гц и ряд мелких дефектов на других частотах [81].

Применяемые обычно в любительских системах 4–6-полосные эквалайзеры отчасти решают проблему, но широкие полосы коррекции не позволяют эффективно бороться с узкополосными дефектами АЧХ, да и схемная реализация не всегда соответствует уровню решаемых задач.

Для коррекции большого количества локальных дефектов АЧХ необходим 15-полосный (2/3-октавный) или 30-полосный (третьоктавный) *графический эквалайзер*. Поскольку взаимное влияние регулировок слишком велико, для получения гарантированного результата процесс настройки требует постоянного контроля АЧХ. Параметрические эквалайзеры находятся примерно в том же положении: крутить многочисленные ручки и переключатели «на слух» – неблагодарное занятие. Поэтому на сегодняшний день в любительских установках многополосные эквалайзеры широкого распространения не получили, это прерогатива профессионалов.

Если вспомнить о том, что основные погрешности АЧХ, вызванные размерами и формой салона автомобиля, сосредоточены на низких частотах, то задачу можно существенно упростить. Если не увлекаться «ловлей блох» в высокочастотной области (где потенциально нет и не может быть серьезных погрешностей АЧХ), то количество полос регули-

рования там можно сократить – результат будет не хуже, а конструкция упростится. Этот принцип давно используется при разработке эквалайзеров, встраиваемых в приборную панель, но там результат далек от идеала по вполне понятной причине – невысокое качество комплектующих. В изделиях бюджетной группы нередко используются микросхемы высокой степени интеграции, разработанные много лет назад для переносных магнитол и музыкальных центров, а они не всегда соответствуют современным требованиям к качеству звучания.

Некоторые магнитолы и CD-ресиверы высокого класса имеют в своем составе электронный *эквалайзер с анализатором спектра* и в состоянии автоматически скорректировать большинство погрешностей АЧХ по входящему в комплект измерительному микрофону. Это идеальное решение для меломана, не имеющего измерительной аппаратуры. Однако широкого распространения оно не получило, да и стоимость достаточно высокая.

В тех счастливых случаях, когда коррекция требуется только в трех-четырех полосах, удобен *параметрический эквалайзер*, который позволит выбрать центральную частоту и ширину полосы регулирования (добротность) для каждого регулятора. Это позволит произвести регулировку только в необходимых частотных полосах, не затрагивая «безгрешных» участков, что снизит искажения сигнала.

С точки зрения минимального вмешательства в сигнал параметрические эквалайзеры вне конкуренции. Однако широкого распространения они пока не получили, поскольку также требуют объективного контроля результатов настройки. Параметрические эквалайзеры, особенно с регулируемой добротностью, достаточно сложны по конструкции. Эквалайзеры с фиксированной добротностью заметно проще.

6.3.1. Параметрическая коррекция АЧХ

Допустим невероятное – что все дефекты АЧХ побеждены выбранными компонентами и тщательной установкой и остался только неистребимый резонанс. Даже при использовании самых высококачественных компонентов устранить его непросто [81].

Первый и самый очевидный способ – разнести частоты раздела полос сабвуфера и остальной акустики. В этом случае сабвуфер воспроизводит частоты ниже 120 Гц, а остальная акустика – выше 180 Гц. Эти цифры приблизительные и зависят от размеров салона и особенностей конкретной установки. Поскольку в серьезных установках используются кроссоверы высокого порядка, спады частотной характеристики получаются достаточно крутыми, а разнос полос –

относительно небольшим, но сабвуферу приходится воспроизводить широкую полосу частот, и во всей красе встает проблема «заднего» баса. Хвост вытащили, грива увязла...

Выход нашелся там, где его не искали. Чтобы усилители бюджетных серий не отставали по оснащению от «старших братьев», конструкторы перешли от фиксированной частоты среза встроенного кроссовера к плавной ее перестройке. Отличие только в одном – на переменных резисторах здесь экономят. Для перестройки фильтра второго порядка в стереофоническом варианте нужен четырехсекционный переменный резистор с хорошим согласованием сопротивлений, а в некоторых случаях – еще и с различным сопротивлением секций. Вещь если не заказная, то, как минимум, не ширпотребовская. Поэтому стали применять обычные двухсекционные, соответственно переработав схему фильтров. Так на арену вышли фильтры переменной крутизны, в которых перестраивается только одно его звено. Вслед за бюджетными усилителями такие фильтры появились и в моделях среднего класса.

В отличие от классического варианта фильтра здесь при изменении частоты среза меняется и форма АЧХ. На первый взгляд – недостаток, отступление от канонов. Но если подойти диалектически – достоинства есть продолжение недостатков. Если выбрать частоту среза фронтальных каналов порядка 200 Гц, то за счет плавного спада АЧХ ФВЧ на результирующей АЧХ появится провал нужной величины в интересующей нас области около 150 Гц.

Полоса частот сабвуфера при этом остается в разумных границах (80–90 Гц) и о «заднем» басе беспокоиться не нужно. Если посмотреть в результаты тестов различных изданий, подобные АЧХ можно обнаружить у большинства современных кроссоверов и усилителей нижней и средней ценовых категорий. Вывод однозначен даже без вскрытия: в их конструкции использованы фильтры переменной крутизны. Вот пример того, как упрощение конструкции повысило ее качественные показатели и расширило область применения. Однако возможности данного метода коррекции ограничены, поэтому говорить о вымирании эквалайзеров пока рано.

6.3.2. Коррекция при помощи режекторного фильтра

Ставить целый эквалайзер ради одного «горба» – все равно, что стрелять из пушки по воробьям. Вместо эквалайзера в таком случае лучше использовать режекторный фильтр, настроенный на частоту резонанса салона (140...160 Гц). Подобные корректоры встречаются в некоторых кроссоверах и

усилителях верхней ценовой категории (Lanzar, MacIntosh). Каскад представляет собой плавно или дискретно регулируемый режекторный фильтр, настроенный на частоту резонанса салона. Иногда частоту настройки можно изменять. Для обозначения таких корректоров используют термин *эквалайзер окружения (ambience equalizer)*, подчеркивая тем самым его назначение – коррекцию АЧХ автомобильного салона [72, 81].

Схема несложного активного фильтра приведена на рис. 6.39 (для одного канала). Фильтр включается между линейным выходом источника и входом усилителя.

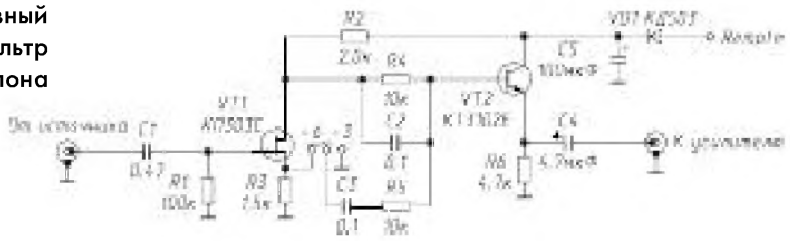


Рис. 6.39. **Активный режекторный фильтр резонанса салона**

Первый каскад – усилитель с разделенной нагрузкой. Его задача – создать противофазные напряжения для питания фильтрующего звена C2C3R4R5. В правом по схеме положении переключателя это обычный пассивный фильтр с затуханием около 3 дБ. В левом положении переключателя на фильтр поступают противофазные напряжения, и затухание на частоте настройки увеличивается до 5...6 дБ. Точное значение затухания зависит от характеристик транзистора и соотношения сопротивлений резисторов R2 и R3. Если сделать их равными, затухание будет максимальным (8 дБ), но сигнал на выходе будет ослаблен относительно входного на 3...4 дБ. На схеме показан оптимальный вариант номиналов. АЧХ фильтра приведена на рис. 6.40.

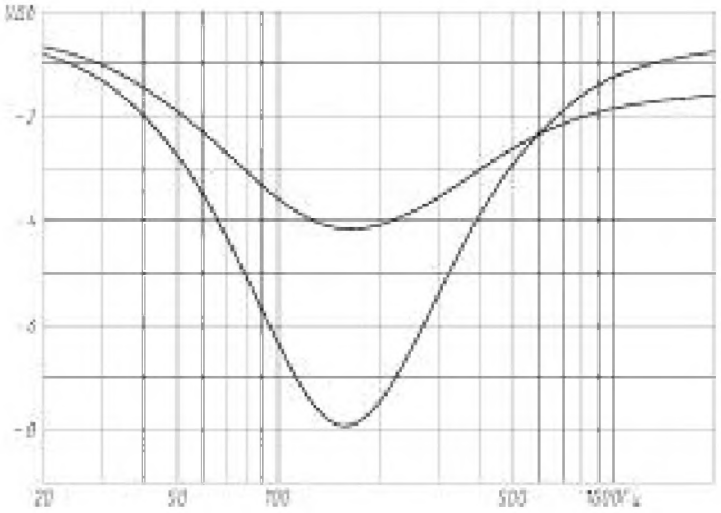


Рис. 6.40. **АЧХ активного режекторного фильтра**

Выходной каскад – обычный эмиттерный повторитель. Его задача – исключить влияние нагрузки на характеристики фильтра. Конденсатор C5 и диод VD1 – фильтр питания, общий для двух каналов. Питается фильтр непосредственно от выхода remote головного устройства, поскольку ток, потребляемый по двум каналам, не превышает 10 мА.

Помимо указанных на схеме, можно применить транзисторы КП303В (VT1), КТ3102 с любой буквой (VT2). Диод VD1 можно использовать любой маломощный кремниевый. Электролитические конденсаторы должны быть на рабочее напряжение не ниже 16 В. Тип остальных деталей не критичен. Корпус должен быть металлическим, в противном случае придется снабдить его внутри экраном из медной фольги и соединить его с общим проводом. Можно также вмонтировать устройство непосредственно в источник сигнала.

Налаживание схемы несложно. После проверки монтажа нужно подать питание и замерить постоянное напряжение на эмиттере транзистора VT2 относительно общего провода. Оно должно составлять от 50 до 70% напряжения питания и по возможности быть близким в обоих каналах. Если это не так – нужно подобрать сопротивление резистора R3 в пределах 1,2...1,8 кОм. Сопротивление этих резисторов в обоих каналах должно быть одинаковым, это более важное условие, чем равенство постоянных напряжений на выходе.

Входное сопротивление фильтра – около 100 кОм, входное напряжение не должно превышать 1,5 В, иначе возможно появление искажений. Если напряжение на линейном выходе источника больше, на входе фильтра придется добавить делитель напряжения (резистор сопротивлением 100 кОм последовательно с конденсатором C1). Потери сигнала в этом случае придется компенсировать регулировкой чувствительности усилителя. Поскольку входное сопротивление весьма высокое, устанавливать фильтр лучше вблизи источника сигнала, чтобы избежать наводок на вход. Выходное сопротивление фильтра – около 50 Ом, что намного меньше аналогичного параметра большинства головных устройств. Это позволит заметно снизить влияние емкости соединительного кабеля на качество звучания, так что фильтр попутно выполняет и функции согласующего устройства.

6.3.3. Кроссовер-эквалайзер

Основной недостаток традиционного эквалайзера при включении в широкополосный тракт состоит в том, что процесс регулировки затрагивает и те полосы частот, где регу-

лировка не требуется. Например, при частоте раздела полос 400 Гц подъем усиления на частоте 300 Гц затрагивает и полосу СЧ, фактически меняя ее частоту среза. Для устранения этого недостатка можно установить отдельные эквалайзеры после активного кроссовера, что иногда практикуется в дорогих установках. Однако часть полос регулирования при этом остается «не у дел». Гораздо рациональнее было бы разделить эквалайзер на две части, что и сделано в некоторых профессиональных моделях. Так, пятиполосный параметрический эквалайзер фирмы XTANT содержит независимые двухполосную и трехполосную секции. При работе в составе широкополосного тракта они включаются параллельно.

Если пойти по этому пути дальше, можно конструктивно объединить эквалайзер с активным кроссовером, оставив только необходимые полосы регулирования. Кроме того, для предотвращения перегрузки мидбасовых головок самыми низкими частотами желательно их ограничить. Некоторые каскады вполне могут быть комбинированными и выполнять несколько функций одновременно. Так, увеличение добротности фильтра позволяет получить вблизи частоты среза узкополосный «горб» величиной до 10...12 дБ.

С учетом сказанного структура трехполосной системы на основе универсального *кроссовера-эквалайзера* приобретает вид, показанный на рис. 6.41 [92]:

- звено для мидбаса с перестраиваемой полосой. Нижняя граница формируется фильтром третьего порядка с переключаемой частотой среза – 45/80 Гц. Первое значение используется для работы с «полноразмерными» НЧ-головками, второе – для малогабаритных головок. Это исключит перегрузку мидбаса низкими частотами. Верхняя граница частоты среза формируется фильтром первого порядка в диапазоне 150 Гц – 1 кГц. Для регулировок в «проблемной» области необходимы два звена эквалайзера со средними частотами 150 Гц и 300 Гц;
- звено СЧ/ВЧ с нижней границей, перестраиваемой в диапазоне 300 Гц – 1,5 кГц. По сочетанию переходных характеристик и подавлению нерабочей полосы частот оптимален фильтр второго порядка. Плавная перестройка в этом диапазоне не обязательна, можно использовать набор фиксированных частот среза, выбираемых переключателем или резисторными матрицами. Для регулировки АЧХ в этой зоне достаточно использовать один-два относительно широкополосных звена;

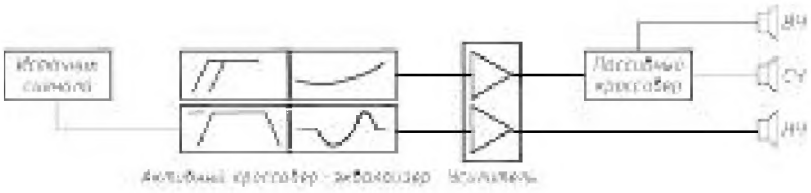


Рис. 6.41. Структурная схема кроссовера-эквалайзера

- сабвуферное звено (на схеме не показано) с сумматором и регулятором верхней частоты среза 50–180 Гц. Для обеспечения возможности работы с другими видами акустического оформления, кроме закрытого, необходим *фильтр обрезки инфранизких частот* (subsonic filter) на частоту 20–25 Гц, его можно сделать неотключаемым.

При формировании полос удобно использовать *фильтры переменной крутизны*, имеющие первый порядок для формирования рабочей полосы частот, и более высокий – за ее пределами. Подобные фильтры более музыкальны, чем традиционные. Это объясняется тем, что в зоне перегиба АЧХ не возникает значительных фазовых искажений, переходная характеристика намного лучше. Получить такую структуру можно последовательным включением двух фильтров. Применительно к диффузорным СЧ-головкам это может быть ФВЧ второго порядка на 200 Гц для надежного подавления механического резонанса головки (~110 Гц), а в рабочей полосе частот (выше 300 Гц) перестраиваемый фильтр первого порядка.

Распространение универсальных кроссоверов-эквалайзеров, предназначенных для работы с любым усилителем (либо встроенных в усилитель), может решить ряд проблем при построении автомобильной аудиосистемы, использующей минимальное количество дополнительных компонентов. Эта задача легко решается при использовании цифровых методов обработки сигнала [35], но для радиолюбителей пока более удобны аналоговые методы. На рис. 6.42 приведена схема любительского двухполосного кроссовера-эквалайзера, разработанного в соответствии с изложенными выше принципами.

В канале СЧ–ВЧ использован ФВЧ с фазовым корректором, в канале НЧ – режекторный фильтр резонанса салона, ФНЧ первого порядка и фильтр обрезки инфранизких частот. Комбинированные фильтры выполнены на основе структур «ОИ-ОК», рассмотренных в этой главе.

На полевом транзисторе VT1 выполнен ФВЧ второго порядка для канала СЧ–ВЧ. Частота среза (250 или 500 Гц) выбирается переключателем SA1. Этот же каскад используется для получения двух противофазных напряжений, необходимых для работы простейшего фазового корректора

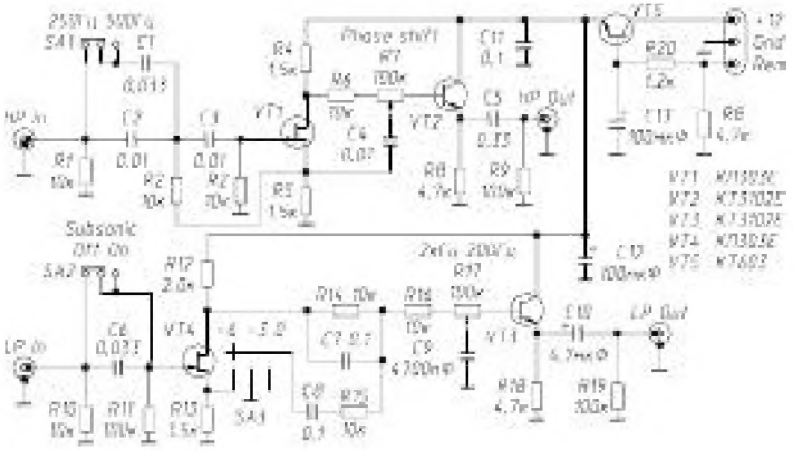


Рис. 6.42. Принципиальная схема кроссовера-эквалайзера

(цепь R6R7C4). Выходной сигнал снимается с эмитттера транзистора VT2.

На полевом транзисторе VT3 выполнен ФВЧ первого порядка для канала НЧ с частотой среза 50 Гц. При работе с «полноразмерными» НЧ-головками фильтр можно отключить переключателем SA2. Этот же каскад используется для получения двух противофазных напряжений, необходимых для работы режекторного фильтра (цепь R14R15C7C8). Схема этого узла аналогична рассмотренной ранее. Глубина режекции изменяется переключателем SA3. Далее сигнал через перестраиваемый ФНЧ первого порядка поступает на эмиттерный повторитель VT4.

Общий для двух каналов каскад на транзисторе VT5 – электронный ключ и фильтр питания «в одном лице». Формирователь сигнала сабвуфера можно выполнить по одной из схем, рассмотренных ранее. Для коррекции сигнала в полосе СЧ можно использовать элементы схемы 6.46.

6.3.4. Коррекция при помощи эквалайзера

С точки зрения схемотехники эквалайзеры можно разделить на два класса [12, 117]:

- фильтровые эквалайзеры (с разделением спектра);
- эквалайзеры с частотно-зависимыми обратными связями.

В фильтровых эквалайзерах спектр сигнала разделяется на несколько частотных полос фильтрами Z1...Zn (рис. 6.43). Уровень каждой полосы регулируется отдельно, после чего сигналы через смеситель поступают на выход устройства. Фильтры могут быть любыми – активными или пассивными. Если разделить полосы на группы с отдельными смесителями для каждой группы, то такой эквалайзер может одновременно выполнять и функции кроссовера.

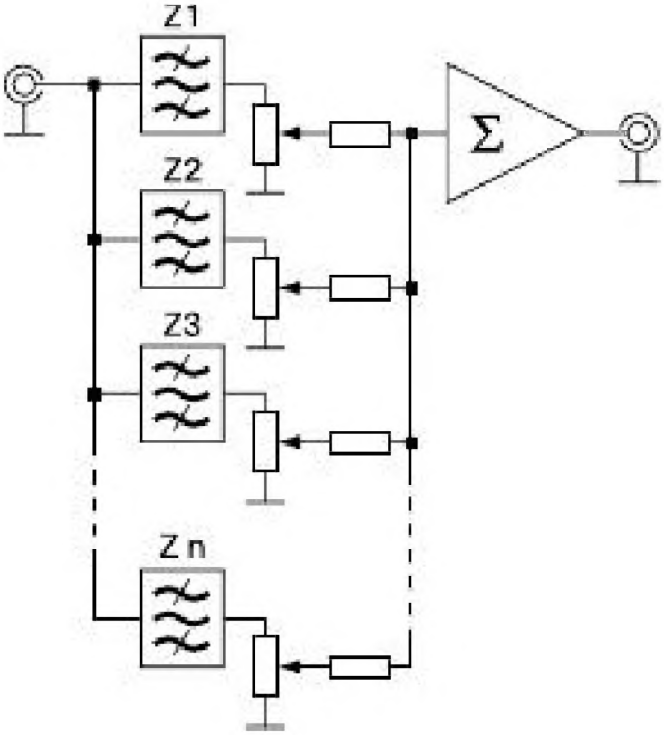


Рис. 6.43. Фильтровый эквалайзер

Основной недостаток устройств такого типа состоит в том, что при установке регуляторов в положение, соответствующее линейной АЧХ, результирующая АЧХ имеет небольшую неравномерность (волнистость). С другой стороны, достоинство этих эквалайзеров – хорошая фазочастотная характеристика (ФЧХ). В силу простоты эта структура широко применялась в прошлом, но в настоящее время так выполнены только ламповые студийные эквалайзеры и некоторые любительские конструкции.

В остальных современных эквалайзерах использованы частотно-зависимымые делители и частотно-зависимые обратные связи (рис. 6.44). И параметрические, и многополосные (графические) эквалайзеры используют одну и ту же структуру на основе операционного усилителя (ОУ), отличие только в схемотехнике фильтров.

В левом по схеме положении движков соответствующие фильтры образуют с резистором R1 частотно-зависимый делитель, поэтому сигнал в полосе пропускания фильтра «стекает на землю» и подавляется. В правом по схеме положении движков образуется аналогичный делитель, но с резистором R2. Сигнал отрицательной обратной связи ослабляется, поэтому в соответствующей полосе усиление возрастает. В промежуточных положениях усиление или ослабление зависит от соотношения прямого сигнала и сигнала ООС. В среднем положении движков фильтры не ока-

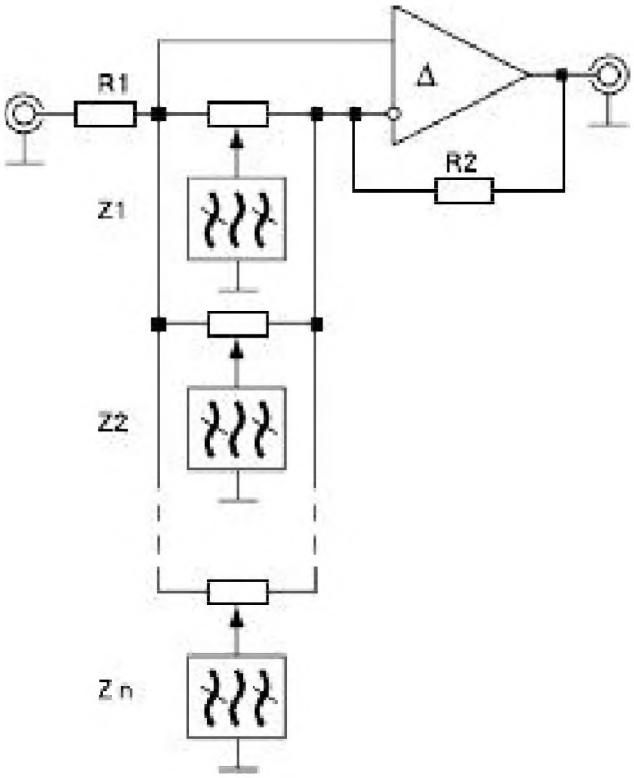


Рис. 6.44. Эквалайзер с частотно-зависимыми обратными связями

зывают никакого влияния на сигнал, поэтому получается линейная АЧХ.

Конструктивное исполнение фильтров может быть различным. Первоначально в эквалайзерах применялись катушки индуктивности, однако LC-фильтрам свойственны определенные недостатки. Катушки подвержены наводкам и взаимной индукции, обладают заметным разбросом характеристики, имеют большие габариты и нетехнологичны. Поэтому к серийному производству такие системы практически не пригодны. Это удел бескомпромиссного хайэнда и особо продвинутых любителей.

В современных конструкциях вместо катушек применяют гираторы – аналоги индуктивности, выполненные на основе ОУ (рис. 6.45). Гираторы применяются также в басбустерах, рассмотренных ранее.

Основное достоинство гиратора – возможность настройки эквивалентной индуктивности, а следовательно, и частоты получившегося контура. К сожалению, в данной схеме добротность и частота настройки эквивалентного контура взаимосвязаны. Поэтому гиратор такой конструкции применяется в эквалайзерах с фиксированными полосами или в «полупараметрических» с нерегулируемой добротностью. Тем, что добротность в процессе регулирования частоты настройки немного изменяется, обычно пренебрегают. В некоторых случаях вместо плавной перестройки

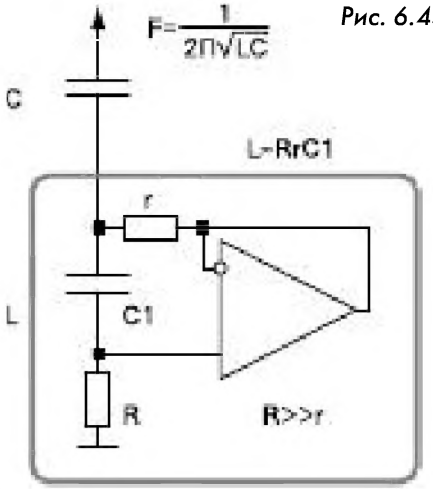


Рис. 6.45. Гиратор

частоты используется ступенчатая. Это позволяет за счет коммутации дополнительных элементов поддерживать выбранную добротность [117]. Так, пятиполосный параметрический эквалайзер Lanzar E540p выполнен на специализированных микросхемах M5227P, центральная частота каждой полосы выбирается переключателем из четырех возможных значений. Диапазон перестройки в каждой полосе – одна октава:

- 35–50–65–80 Гц;
- 150–200–260–320 Гц;
- 600–800–1000–1200 Гц;
- 2,1–2,8–3,5–4,2 кГц;
- 7–9,5–12–15 кГц.

Параметрические эквалайзеры с регулируемой добротностью («полные параметрики») достаточно сложны по конструкции. Чтобы обеспечить независимую регулировку частоты настройки и добротности, каждый фильтр содержит 4 ОУ и большое количество резисторов и конденсаторов [12]. Эквалайзеры с нерегулируемой добротностью заметно проще, схема несложной любительской конструкции приведена на рис. 6.46.

Основа устройства – ОУ DA1.2, охваченный частотнозависимыми обратными связями. АЧХ цепей обратной связи формируется эквивалентами последовательных LC-контуров. Недостаток упрощенной схемы – уменьшение добротности фильтров при увеличении частоты настройки. Добротность звеньев изначально невысокая, что в данном случае даже к лучшему – переходные характеристики остаются хорошими. Переключатель SA1 изменяет тип фильтра нижней полосы. В разомкнутом состоянии это полосовой регулятор, в замкнутом – обычный интегральный регулятор с изменяемой частотой перегиба. Переключатель SA2

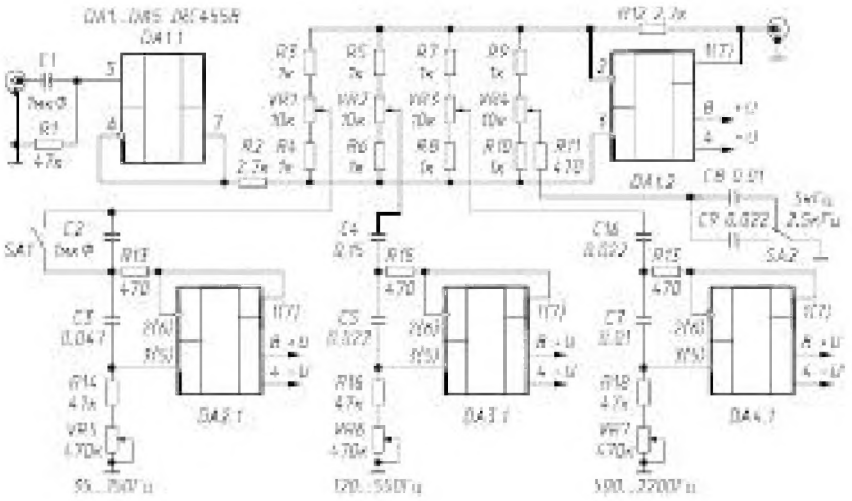


Рис. 6.46. Простой параметрический эквалайзер

изменяет частоту перегиба регулятора ВЧ, эта часть схемы подобна классическому регулятору тембра.

Такова предельно упрощенная любительская конструкция, со всеми свойственными минимализму недостатками. Что же предлагает нам промышленность? Эквалайзеры различных типов выпускают практически все крупные фирмы, специализирующиеся в области car audio. От рассмотренного они отличаются главным образом дополнительными функциями, а иногда и встроенным усилителем небольшой мощности (как в магнитоле). Впрочем, эквалайзеры с усилителем (бустеры) уже несколько лет как исчезли из проспектов крупных фирм.

В конструкции многополосных эквалайзеров чаще всего используют потенциометры с линейным перемещением. Положение регуляторов в этом случае наглядно отображает установленную АЧХ. Такие эквалайзеры обычно называют графическими, хотя это, скорее, вопрос оформления, а не схемотехники. В то же время в эквалайзерах с небольшим числом полос обычно применяют поворотные регуляторы. В этом случае переднюю панель можно выполнить высотой 1/2 DIN, что удобно при установке эквалайзера рядом с головным устройством в панель приборов (in-dash).

Помимо регулировки частотной характеристики, промышленные эквалайзеры предоставляют ряд дополнительных возможностей. В моделях для монтажа в панель обычно предусмотрены два переключаемых линейных входа с подстройкой чувствительности, две пары линейных выходов (front/rear) и фейдер, а также формирователь сигнала сабвуфера. Уровень сигнала на выходе сабвуфера не зависит от положения фейдера. В некоторых моделях есть кнопка Defeat, отключающая все регулировки. Эта функция может оказаться полезной при работе с различными источни-

ками сигнала. Предусмотрен и общий регулятор громкости, что расширяет область применения. Вполне возможно, например, построить систему на основе чейнджера с контроллером, не используя головное устройство.

Рис. 6.47. Эквалайзер

6.3.5. Корректор в канале сабвуфера

Получить глубокий бас с нижней граничной частотой от 15–20 Гц, сохранив при этом малый объем корпуса сабвуфера, довольно проблематично. Не помогает и передаточная характеристика салона. Теоретически достаточно «срастить» частоту среза сабвуфера в закрытом корпусе с граничной частотой салона, но это только теоретически. На практике конечная жесткость панелей кузова и различные утечки приводят к тому, что в большинстве автомобилей заметный спад АЧХ наблюдается уже на частотах 35–40 Гц.

Для преодоления этого недостатка достаточно опустить частоту среза сабвуфера до 25–30 Гц. Но большинство доступных (и даже не очень доступных) динамических головок калибром 10–12 дюймов в компактном закрытом корпусе не позволяют получить столь низкую частоту среза, а пятнадцати- и восемнадцатидюймовые головки не всегда можно разместить в машине. Другие виды акустического оформления (фазоинвертор, бандпасс) требуют еще больше места, чем закрытый корпус.

Для решения проблемы можно ввести дополнительную коррекцию сигнала (преэмфазис), компенсирующую снижение отдачи динамика. При правильной настройке корректирующей цепи спад на низких частотах динамика полностью компенсируется и результирующая АЧХ получается линейной. Главное – правильный выбор характеристики коррекции.

Давно используемые в автомобильных усилителях басбустеры решают эту проблему лишь отчасти – частота настройки в большинстве случаев фиксированная и слишком высока – 40–50 Гц. Ход АЧХ и ФЧХ далек от желаемого – и это понятно: усилитель – изделие универсальное, а для максимального эффекта коррекция должна быть индивидуальной для выбранного варианта акустического оформления.

Необходимую коррекцию можно получить с помощью простой и остроумной схемы, предложенный Зигфридом Линквитцем (Siegfried Linkwitz). Она так и называется – корректор Линквитца (Linkwitz transform). Применение специального корректора с «зеркальной» относительно АЧХ громкоговорителя характеристикой позволяет не только расширить диапазон частот в области НЧ, но и скорректировать ФЧХ, что благоприятно сказывается на верности воспроизведения звука. Эквивалентная добротность акустической системы (АС) становится близкой к оптимальной, равной 0,7. Корректор Линквитца наилучшим образом исправляет АЧХ закрытого корпуса, АЧХ которого на частотах ниже рабочего диапазона спадает с крутизной 12 дБ/окт. Но, как известно, именно закрытый корпус обеспечивает наиболее «четкий» бас, поэтому аудиофилам – все карты в руки. Кроме того, появляется возможность корректировать резонансный «горб» и снижать результирующую добротность акустических систем недостаточного объема (а доступный для динамика объем – это в car audio главная причина мучительного поиска «того самого» динамика).

Плата за расширение частотного диапазона вниз на 2–3 октавы – мощность, именно она является ограничивающим фактором. Усилитель должен иметь соответствующий запас мощности (как мы увидим дальше – в несколько раз превышающей номинальную), а динамик должен быть в состоянии эту мощность «переварить». Иначе или султан помрет, или ишак сдохнет...

Насколько же реально возрастет общая подводимая мощность при использовании корректора Линквитца? Нужно учесть, что для музыки и кинотеатральных эффектов спектр низких частот различен. С учетом спектрального распределения мощности сигнала перегрузка составит 4–5 раз для музыки и 11–15 для кино. Если же исходить из того, что «театральные» звуки кратковременные, постоянно в программе не присутствуют и допускают больший уровень нелинейных искажений, чем музыкальные, то вполне можно остановиться на шестикратном запасе мощности. В этом случае даже для распространенных сабвуферов с максимальной подводимой мощностью 250–300 Вт «некорректированная» мощность будет порядка 50 Вт, а это именно то значение, с которым и работает большинство аудиосистем. Использование усилителя на 300 Вт – не такая большая плата за расширение диапазона до 15 Гц. Снизить риск перегрузки (или запас мощности) можно, если ввести в тракт усиления фильтр инфранизких частот (subsonic), настроенный на 25–30 Гц (он есть во многих усилителях).

Принципиальная схема корректора Линквитца приведена на рис. 6.48. Детали одинакового номинала отмечены одинаковыми индексами. Корректор представляет собой инвертирующий усилитель, охваченный частотно-зависимой ООС с помощью двух неполных Т-мостов – на входе и в цепи ОС. Входной Т-мост (R2C2R1C1) настраивается на частоту среза сабвуфера в заданном акустическом оформлении Fc, мост в цепи ОС (R3C3R1C1) – на частоту (0,25...0,5) Fc. Поскольку на высоких частотах импеданс входной и выходной цепи одинаков, корректор в этом диапазоне превращается в инвертирующий повторитель (коэффициент передачи равен –1). Это нужно учитывать при подключении нагрузки к усилителю. Прежде чем приступить к расчету корректора, необходимо измерить или, на худой конец, вычислить частоту среза и добротность сабвуфера в выбранном акустическом оформлении. Для расчета можно воспользоваться программами моделирования электрических цепей.

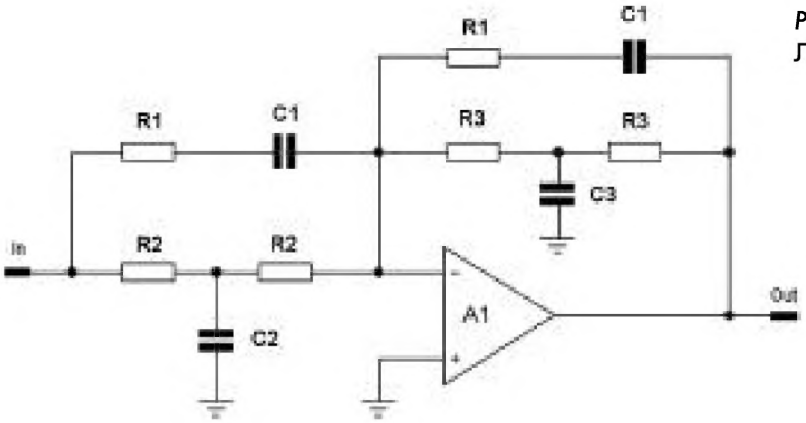


Рис. 6.48. Корректор Линквитца

6.4. ЗВУКОВЫЕ ПРОЦЕССОРЫ

В настоящее время двухканальная стереофония стала уже классическим способом передачи и воспроизведения звука. Целью стереофонического звуковоспроизведения является максимально точная передача звукового образа. Локализация звука при этом является не целью, а средством, позволяющим получить более богатое и естественное звучание. Однако передача пространственной информации существующими двухканальными системами не лишена недостатков. Это побуждает конструкторов к созданию различных систем объемного звучания. За сорок с лишним лет были испробованы разнообразные (порой весьма сложные) методы обработки сигнала на стадии воспроизведения. Ситуация упростилась только с появлением

цифровых носителей, допускающих использование многоканальной записи. В современном формате 5.1 используется шестиканальная запись: пять широкополосных каналов (два фронтальных, два тыловых, центральный) и один канал звуковых эффектов (канал сабвуфера), и это еще не предел.

Какими бы техническими характеристиками мы ни оперировали – их явно недостаточно для описания требований к идеальному тракту звуковоспроизведения. Огромную роль в оценке качества звучания играют музыкальные вкусы, опыт, возраст (как мера состояния органов слуха) и многое другое. Парадокс заключен в том, что недостатки реальных звуковых трактов очевидны даже не самым искушенным слушателям, но выразить их словами не так-то легко. В любом случае, до идеала очень далеко. И очень дорого.

Осознали этот факт как производители музыкальных записей, так и производители аппаратуры. Это привело к появлению различных устройств обработки сигнала, призванных улучшить выразительность звучания. Первоначально они применялись лишь в студийной практике, но по мере удешевления технологий стали доступны и потребителям – как в составе аппаратуры, так и в виде отдельных устройств. Они, собственно, и породили класс звуковых процессоров – устройств, принцип действия которых неочевиден (а то и засекречен), но результат заметен сразу. Классический «черный ящик»!

История «улучшайзеров» началась давно – еще в начале 80-х в студийной практике стали использовать эксайтеры (гармонайзеры), обогащающие сигнал высшими гармониками. Голоса исполнителей (даже вовсе безголосых) приобрели насыщенность и объем. Процесс пошел...

Пожалуй, одной из самых полезных оказалась технология BBE (British Broadcast Equalization), примененная BBC в радиовещании для коррекции временн**ы**х искажений, возникающих при распространении радиосигнала. Процесс представлял собой фазовую коррекцию отдельных участков звукового спектра. Впоследствии выяснилось, что такая обработка улучшает звучание музыкальных записей не только в радиовещании, но и в обычных трактах, поэтому в 90-х годах процессоры BBE широко использовались не только в бытовой аппаратуре, но и некоторых изделиях car audio высокого класса. Была даже разработана специализированная микросхема BA3884 (Rohm).

Существовали и другие методы обработки сигнала на этапе воспроизведения – например, расширение стереобазы в носимой аппаратуре. В 90-х были популярны системы динамической коррекции баса (автоматическая тонкомпен-

сация, в том числе и с применением измерительного микрофона), и ряд других методов, прочно забытых в наши дни. Все эти методы объединяло одно – обработка сигналов была аналоговой и проводилась по жесткому аппаратному алгоритму. В домашнем аудио это уже пройденный этап, но кто в наши дни будет отрицать пользу дополнительной обработки сигналов в автомобиле – изначально не приспособленном для нужд меломана?

Разработанные первоначально для систем «домашнего театра» цифровые процессоры объемного звучания в последнее время начали активно использоваться в автомобильных аудиосистемах. Их применение позволяет значительно улучшить звучание технически совершенных комплексов не только в бытовом помещении, но и в салоне автомобиля. Развитие цифровых методов обработки сигнала привело к созданию *цифровых звуковых процессоров* (Digital Sound Processor, DSP). Они выпускаются как в виде отдельных DSP-устройств, так и входят в состав относительно недорогих магнитол. Настройки процессоров позволяют выбрать наиболее оптимальные параметры для выбранного места прослушивания [104].

В наш век цифровых носителей, цифровых звуковых процессоров и прочих «улучшайзеров» немыслимой технической сложности аналоговые методы обработки звуковых сигналов прочно забыты. Да в car audio они, собственно говоря, никогда по-настоящему и не применялись – в эпоху их расцвета автомобильная аппаратура делала только первые робкие шаги, и такая «крутизна» считалась чрезмерной. Сегодня в car audio применяются исключительно цифровые методы обработки сигнала, алгоритм работы цифрового звукового процессора (DSP) обеспечивается программой и позволяет в рамках одного прибора реализовать целую группу функций – фильтрацию, частотную и временную коррекции, гармонический синтез, имитацию помещения прослушивания.

6.4.1. Особенности пространственного слухового восприятия

Слушатель, находящийся в концертном зале, воспринимает не только прямой звук, исходящий от отдельных инструментов оркестра, но и отраженный от стен и потолка помещения *диффузный* (рассеянный) звук, который создает эффект пространства и дорисовывает общее впечатление. Основная энергия диффузного сигнала сосредоточена в области частот 300–3000 Гц. Запаздывание, с которым диффузный звук достигает ушей слушателя, зависит от размера помещения. При двухканальной передаче эта информация

в значительной степени теряется, а в случае студийной записи может отсутствовать изначально.

Необходимо отметить, что лучшие записи электронных инструментов в студиях 60-х годов проводились именно с использованием микрофонной техники, что объясняет «живой» характер звучания. Исходный сигнал имел естественное соотношение между прямым и диффузным сигналами. Внедрение многоканальной пультовой (без использования микрофонов) записи инструментов с последующим сведением, облегчив работу звукорежиссера, одновременно уничтожило атмосферу зала. В последующем этот факт стал учитываться при проведении студийных записей, хотя полного возврата к микрофонной технике не произошло.

При использовании двухканальной схемы воспроизведения основная зона эффективного расположения кажущихся источников звука (КИЗ) находится спереди от слушателя. В зависимости от взаимного расположения слушателя и АС эта зона покрывает пространство порядка 120–180 градусов в горизонтальной плоскости. Два фронтальных канала не в состоянии адекватно воспроизвести звуки, источники которых в реальности расположены сзади или в вертикальной плоскости, если нет поддержки в виде дополнительных сигналов. Поэтому в системах объемного воспроизведения присутствуют дополнительные тыловые каналы.

Человеческое ухо лучше всего локализует источники звука в горизонтальной плоскости. Звуки, приходящие сзади или сверху, при отсутствии дополнительной информации локализуются хуже. Зрение, в том числе и периферийное, является основным чувством определения местоположения объектов, поэтому без зрительной информации возможность оценки положения источника звука позади и в вертикальной плоскости слаба и достаточно индивидуальна. Отчасти это можно объяснить индивидуальными анатомическими особенностями ушных раковин. Из-за их экранирующего действия спектр звуковых сигналов, приходящих спереди и сзади, отличается, что и позволяет различать направление «вперед-назад».

В системах домашнего театра «зрительная поддержка» значительно усиливает эффект локализации источников звука (попробуйте закрыть глаза во время просмотра перестрелки, и звуковая картина станет более «плоской»). При воспроизведении обычной аудиозаписи зрительная информация отсутствует, поэтому любая звуковая технология для массового рынка, претендующая на «объемное звучание», вынуждена создавать нечто усредненное и заведомо компромиссное.

В «войне стандартов» квадрофонических систем 70-х годов победителей не было, идея благополучно скончалась, принципы позабылись, а термин остался. Поэтому сейчас мало кого смущает тот факт, что «нечто», имеющее четыре канала усиления и четыре колонки, гордо именуется «квадрофонической системой». Однако это в корне неправильно. Источник сигнала остается двухканальным, сигналы фронтальных и тыловых каналов при таком построении системы отличаются друг от друга только уровнем, то есть используется принцип панорамирования.

Панорамирование при производстве стереозаписей широко применялось уже с середины 50-х годов для расположения монофонических звуковых сигналов «слева – справа – в середине» звукового поля. При панорамировании не оказывается никакого воздействия на частоту и фазу, изменяется только уровень монофонического сигнала, подводимого к каждому из стереоканалов. Панорамирование на несколько каналов (в случае многоканальных записей) осуществляется аналогично. Однако при определении направления на источник звука наш слуховой аппарат использует не только разность интенсивности звуковых сигналов, но и фазовый сдвиг между ними. Влияние фазового сдвига на точность локализации источника звука наиболее ярко выражено в области частот приблизительно от 500 Гц до 3000 Гц. (Опять диапазон частот диффузного звука.) Поэтому простое панорамирование не обеспечивает нужной достоверности звучания. Стереоэффекты первых записей: «бегающий звук», привязка звука «слева-справа» и др. – достаточно быстро приелись, поскольку их искусственный характер был слишком заметен.

Применение тыловых акустических систем в сочетании с панорамированием звука хорошо справляется с расположением источников спереди и сзади от слушателя и слабее – с боковым расположением. Но само по себе панорамирование звука без введения частотной и фазовой обработок сигнала никогда не сможет обеспечить приемлемое позиционирование кажущихся источников в вертикальной плоскости. В тот момент, когда создавались первые системы объемного звучания, эти факты еще не были известны, что и привело к провалу всех квадрофонических систем.

6.4.2. Аналоговые системы объемного звучания

Для воссоздания «эффекта зала» можно использовать несколько способов. Еще в середине 50-х годов фирмами Philips, Grundig, Telefunken были опробованы системы трех-

мерного воспроизведения 3D и Raumton. Передача звука была монофонической. Впечатление большого пространства за счет отраженного от стен и потолка звука создавали дополнительные громкоговорители (обычно встроенные, реже – выносные), излучающие сигнал вбок или вверх. Поскольку задержка эхо-сигнала в бытовых помещениях достаточно мала, для ее увеличения позднее использовались пружинные ревербераторы в канале усиления дополнительных сигналов. Эти системы ввиду значительной для того времени технической сложности и дороговизны продержались на рынке недолго и быстро сошли со сцены [22].

В дальнейшем для передачи диффузного звука были разработаны амбиофонические системы, нашедшие применение главным образом в кино. Дополнительный канал (или каналы) в таких системах имеют меньшую мощность, чем основные, а их частотный диапазон соответствует полосе частот диффузного сигнала. Излучение дополнительных динамиков должно быть рассеянным, для чего они направлены на стены или потолок помещения прослушивания.

Сложность стандартизации и технические проблемы с записью и передачей сигналов трех, четырех и более каналов привели к тому, что основной системой записи и передачи звука на долгие годы стала двухканальная стереофония. Но попытки создания систем объемного звучания не прекращались [15, 16]. Развитием амбиофонии стала квадрофония (четырехканальное звуковоспроизведение), пик популярности которой пришелся на первую половину 70-х годов. В отличие от амбиофонической системы здесь все каналы воспроизведения звука оборудованы равноценно, и слушатель расположен на одинаковом удалении от акустических систем.

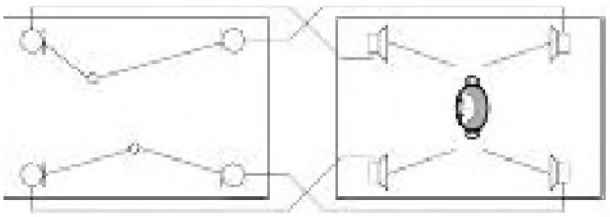


Рис. 6.49. Дискретная квадрафоническая система воспроизведения

Дискретная (полная) квадрофония, обеспечивавшая максимальный эффект присутствия, требует четырех каналов передачи звука. В силу этого она оказалась абсолютно несовместимой с существовавшими в тот момент двухканальными средствами звукозаписи и радиовещания. Разработанная применительно к грамзаписи система CD-4 (с кодированием сигнала тыловых каналов) требовала рас-

ширения полосы частот до 45 кГц и соответствующей воспроизводящей аппаратуры. Износ грампластинки резко увеличивал уровень шума тыловых каналов уже после нескольких проигрываний.

Для преодоления недостатков и улучшения совместимости с существующими стереофоническими системами были созданы системы матричной квадрафонии SQ и QS (по терминологии того времени – квазиквадрофонии). В них исходные сигналы четырех каналов матрицировались для передачи по двум, а при воспроизведении исходные сигналы восстанавливались путем суммарно-разностных преобразований. Без декодера можно было воспроизводить обычный стереосигнал.

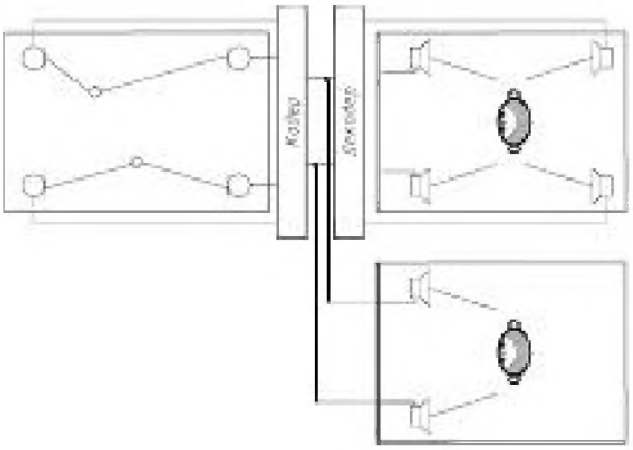


Рис. 6.50. Матричная квадрофоническая система воспроизведения

Поскольку эти системы не были полноценно квадрофоническими и полностью совместимыми с двухканальной стереофонией из-за малых переходных затуханий, они достаточно быстро сошли со сцены. Пик популярности квадрофонических систем пришелся на первую половину 70-х годов, и популярность их была, скорее, данью моде. Основным недостатком всех систем того времени было то, что локализация КИЗ обеспечивалась только в пределах ограниченных участков стереобазы (рис. 6.51).

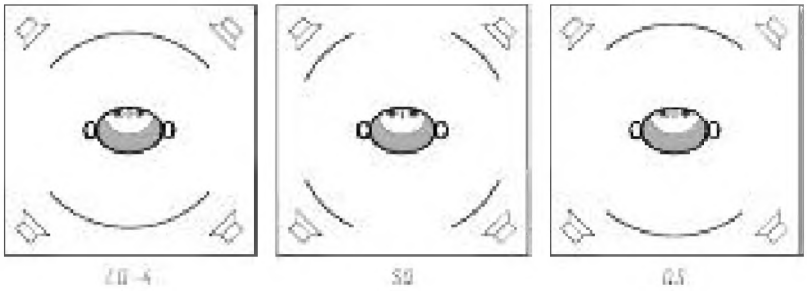


Рис. 6.51. Зона пространственного звучания для разных квадрофонических систем

Причиной провала квадрофонических систем было то, что при их разработке не учитывались особенности пространственного слухового восприятия. Однако в ходе работы с матричными системами было выяснено, что значительная часть пространственной информации содержится в разностном сигнале (сигнале стереоинформации). Его можно подать на громкоговорители тыловых каналов или в чистом виде, или с некоторой долей фронтальных сигналов [16].

Рис. 6.52. Схема Хаффлера

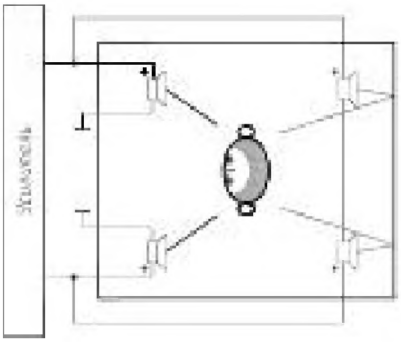
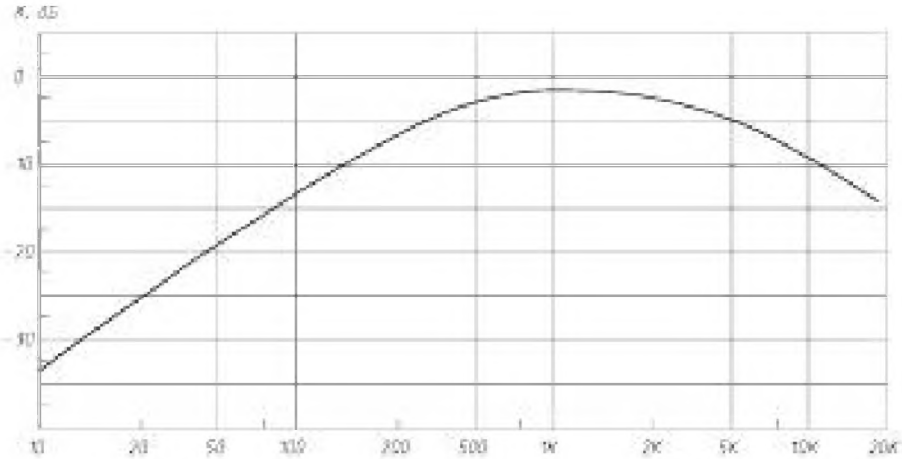


Рис. 6.53. АЧХ тыловых каналов



В простейшем случае для этого даже не нужны дополнительные каналы усиления, а матрицирование сигналов можно провести на выходе усилителя (схема Хаффлера). Дополнительные динамические головки в этом случае подключаются *противофазно между выходами* основных усилительных каналов непосредственно, или через простейший фильтр, ограничивающий полосу воспроизводимых ими частот (для синтеза звуковой картины спектр сигнала, воспроизводимого тыловыми громкоговорителями, должен соответствовать спектру диффузного сигнала).

В простейшем случае для формирования АЧХ используется пассивный полосовой фильтр первого порядка (LC-

цепочка последовательно с головками). Простота этой схемы делает ее особенно привлекательной для начинающих, поскольку в этом случае не требуется применение отдельного усилителя [26].

Так на свет появились несколько псевдоквадрофонических систем, полностью вытеснивших «истинных арийцев» с рынка к середине 70-х. Подобные системы не являются квадрофоническими, но не уступают им в качестве звучания, поскольку при их разработке были учтены прежние ошибки. Одним из вариантов была отечественная система АВС, обеспечивавшая достаточно широкую зону стереопанорамы [15]. Помимо основной зоны стереоэффекта, есть еще две дополнительные между левыми и правыми громкоговорителями. Обратите внимание на рисунок – именно такие зоны стереоэффекта нужны в автомобиле. Сигналы левого и правого стереоканалов подавались непосредственно во фронтальные, а тыловые каналы получали сигнал только после разностного преобразования.

$$R_R = R - 0{,}7L; \qquad L_R = L - 0{,}7R.$$

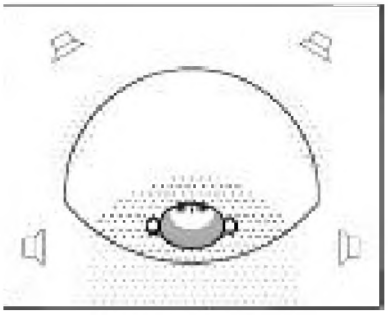


Рис. 6.54. Зона пространственного звучания для системы АВС. Штриховкой обозначены зоны максимального стереоэффекта

Триумф этих систем был недолгим, что объяснялось недостатками носителя сигнала – винилового диска и магнитной ленты. Некоррелированные шумы левого и правого каналов не вычитались. В сочетании с относительно невысоким уровнем разностного сигнала это сильно ухудшало отношение сигнал/шум в тыловых каналах.

Другой, не менее существенный недостаток подобных систем – отсутствие зависимости уровня тылового сигнала от характера фонограммы. При малом уровне тылового сигнала пространственный эффект мало заметен. При увеличении уровня появляются разрыв звуковой сцены и перемещение ее фрагментов назад (эффект «окружения оркестром», не соответствующий действительности). При воспроизведении «живых» записей, имеющих естественное распределение суммарных, разностных и фазовых составляющих, этот недостаток проявлялся незначительно. Одна-

ко на большинстве студийных фонограмм тыловые каналы вносили значительные ошибки в положение КИЗ. Для устранения этого явления требовалось выполнение определенных правил сведения сигналов при студийной записи, что препятствовало широкому распространению подобных систем.

Для возможности использования обычных фонограмм в ранних системах объемного звучания пытались применить автоматическое панорамирование. Управляющие сигналы получали из уровня пространственной информации. Возрастание разностных сигналов приводило к увеличению усиления в тыловых каналах. Однако принятая модель панорамирования была очень грубой, ошибки регулирования экспандера приводили к хаотическому изменению уровня тыловых сигналов (эффект «тяжелого дыхания»). Введение систем логического управления при уровне развития электроники тех лет приводило к значительному усложнению аппаратуры. Поэтому системы объемного звучания были забыты почти на двадцать лет.

Интерес к матричным псевдоквадрофоническим системам вновь возник с появлением цифровых носителей информации. Уровень их собственных шумов пренебрежимо мал, и даже аналоговая обработка сигнала практически не ухудшит динамического диапазона. В основе современных аналоговых систем пространственного звучания (Dolby Surround, Dolby Pro-Logic, Q-Sound, Curcle Surround и др.) лежит все та же идея суммарно-разностного преобразования, дополненная «фирменными» методами обработки сигналов (как аналоговыми, так и цифровыми). Часто их объединяют общим названием «3D-системы» (второе рождение термина сорокалетней давности).

Как уже отмечалось, с переходом на цифровые источники звукового сигнала проблема шумов отпала, но схема Хаффлера (так же как и первые версии Dolby Surround) имеет очень существенный недостаток: она чувствительна к уровню разностного сигнала. При его малом уровне эффект присутствия незаметен, при большом – доминирует. Первое потрясение быстро проходит, и становится заметным неестественное расположение инструментов. Тем же недостатком обладают и более сложные системы, использующие отдельные усилительные каналы с формирователями разностного сигнала. В радиолюбительской литературе было опубликовано немало подобных конструкций для домашних аудиокомплексов. Единственное их преимущество: возможность оперативно регулировать уровень сигнала тылового канала – в автомобиле несущественно. Для этой цели можно воспользоваться фейдером магнитолы.

Для устранения «окружения оркестром» уровнем тылового сигнала необходимо управлять в зависимости не только от уровня (Dolby Pro-Logic), но и от спектра разностного сигнала (Curcle Surround). Последний принцип использован фирмой Roctron в аналоговом автомобильном процессоре объемного звучания CSA12. Система оценивает уровень сигнала в разных частотных полосах и управляет уровнем сигнала тылового канала. В тыловом канале имеются регулятор степени обработки сигнала, регуляторы тембра по высшим и средним частотам и разработанный фирмой динамический шумоподавитель HASH, используемый при работе с аналоговыми источниками сигнала (тюнер, магнитофон). Кроме сигнала тыловых каналов, процессор формирует сигналы центрального канала и сабвуфера. Однако дальнейшего развития аналоговые методы обработки не получили ввиду малой гибкости и сложности, да и стоимость таких процессоров значительна [69].

6.4.3. Цифровые системы объемного звучания

Прежде чем рассматривать принципы, используемые при обработке звуковых сигналов в цифровых системах объемного звучания, необходимо вкратце напомнить типичный процесс создания современной цифровой студийной записи. Сначала производится запись, имеющая много индивидуальных каналов: инструменты, голоса, звуковые эффекты и т. д. Во время микширования для каждой звуковой дорожки контролируется уровень громкости и расположение источника звука. В случае стереозаписи результатом микширования являются два канала, для surround-систем число каналов больше (например, 6 каналов для цифрового формата 5.1 Dolby Digital/AC-3). В любом случае, каждый канал состоит из сигналов, которые предназначены для направления при прослушивании в отдельные акустические системы. Каждый сигнал представляет собой результат сложного микширования сигналов исходных источников. Преобразование звука в цифровых 3D-системах включает в звуковой поток дополнительную информацию об амплитуде и разности фаз или задержке между выходными каналами. Обычно степень обработки зависит от частоты сигнала, хотя некоторые эффекты создаются с использованием задержек во времени.

Далее происходит процесс кодирования каналов, полученных после микширования. В результате получается один цифровой поток (Bitstream). При проигрывании декодер обрабатывает его, разделяя на индивидуальные каналы

и передавая их для воспроизведения на акустические системы. Для многоканальных (дискретных) систем объемного звучания при этом возможен режим имитации реально отсутствующих акустических систем (Phantom mode).

Какие методы используются для обработки звукового сигнала? В первую очередь это *расширение стереобазы* (Stereo Expansion), которое производится путем воздействия на разностный стереосигнал фронтальных каналов. Этот метод можно считать классическим. Он применяется прежде всего к обычным стереозаписям. Обработка сигнала может быть как аналоговой, так и цифровой. Во-вторых, Positional 3D Audio (локализуемый 3D-звук). Этот метод оперирует множеством отдельных звуковых каналов и пытается индивидуально определить местоположение каждого КИЗ в пространстве путем воздействия на амплитуду и фазу сигнала. В-третьих, Virtual Surround (виртуальный окружающий звук) – метод воспроизведения многоканальной записи с использованием ограниченного числа источников звука. Очевидно, что два последних метода применимы только к многоканальным звуковым носителям (записи в формате DVD, AC-3).

Замыкают список различные методы искусственной *реверберации*. Когда звук распространяется в пространстве, он может отражаться или поглощаться различными объектами. Отраженные звуки в большом пространстве могут создавать ясно различимое эхо, но в ограниченном пространстве происходит совмещение множества звуков. Мы слышим их как единую последовательность, которая идет за исходным звуком и затухает, причем степень затухания различна для разных частот и напрямую зависит от свойств окружающего пространства. В цифровых звуковых процессорах используется обобщенная модель реверберации, что сводит управление процессом к заданию ключевых параметров подпрограммы обработки (время задержки, количество отражений, скорость затухания, изменение спектрального состава отраженных сигналов). Таким образом реализуются режимы Hall, Live, Stadium и др. Имитация получается достаточно реалистичной. Конечно, изложить особенности строения всех существующих систем объемного звучания трудно, но их работа основана на рассмотренных принципах. Различие состоит только в деталях алгоритмов и наборе режимов (предустановок).

В качестве примера можно привести универсальный декодер многоканального звука Prology ADSP-2351. Он может обрабатывать обычный стереосигнал, формируя сигналы всех дополнительных каналов по методу Dolby Pro Logic II, причем не только для цифровых источников

сигнала, но и для аналоговых. В аудиотракте предусмотрена регулировка громкости, тембра по низким и высоким частотам, а также калибровка чувствительности для всех пяти входов.

Цифровых входов два (оптический и коаксиальный), разрешение 24 бит, поддерживаются стандартные частоты дискретизации 32 кГц, 44,1 кГц, 48 кГц и 96 кГц. Сигнал с аналоговых входов для обработки в процессоре предварительно преобразуется в цифровую форму. Аналого-цифровой преобразователь работает с частотой дискретизации 48 кГц, разрешение 24 бит. Чтобы сохранить характеристики аналогового сигнала и не ухудшить отношения «сигнал/шум», передача аудиосигнала от входа до АЦП производится по внутренним симметричным (балансным) линиям связи.

Затем все сигналы, приведенные «к общему знаменателю», поступают в сердце системы – звуковой процессор от Yamaha. Процесссор использует специально оптимизированные программы обработки сигнала для получения нескольких эффектов объемного звучания. Выбор нужного режима производится кнопкой **EFFECT** на передней панели или на пульте ДУ. Режимы переключаются «по кольцу» в следующем порядке:

- *PASS THR* (эффекты отключены);
- *HALL* (эффект присутствия в концертном зале);
- *JAZZ* (эффект для прослушивания джазовой музыки);
- *STADIUM* (эффект присутствия на стадионе);
- *LIVE* (эффект присутствия на «живом» концерте);
- *CHURCH* (эффект присутствия в церкви);
- *THEATER* (эффект присутствия в театре);
- *DISCO* (эффект для прослушивания диско-музыки);
- *PRO LOG2* (включен декодер Dolby Pro Logic II).

Остальные настройки декодера доступны через меню (кнопка **MENU/SET** на передней панели или на пульте ДУ). Для центрального канала и канала сабвуфера предусмотрены отключение сигнала и управление временем задержки: 0–5 мс для центрального канала и 0–15 мс для канала сабвуфера. При отключении центрального канала (диалогов) его сигнал равномерно подмешивается в сигналы левого и правого фронтальных каналов. При отключении сабвуфера его сигнал равномерно подмешивается во фронтальные и тыловые каналы.

Для декодера Dolby Pro Logic II предусмотрен выбор режимов работы:

- **MOVIE**: рекомендуется при просмотре кинофильмов;
- **MUSIC**: рекомендуется для прослушивания музыки;
- **LOGIC**: звуковое сопровождение записано в формате Dolby Pro Logic.

После всех обработок сигнал поступает на цифроаналоговые преобразователи. После ЦАП сигнал поступает на линейные выходы. Для сигналов фронтальных и тыловых каналов предусмотрена аналоговая регулировка тембра по низким и высоким частотам, глубина регулировки ±12 дБ.

Аудиотракт обладает высокими характеристиками: динамический диапазон и отношение сигнал/шум превышают 104 дБ, глубина разделения каналов не хуже 110 дБ, а частотный диапазон составляет 20 Гц – 20 кГц (при неравномерности ±1 дБ). Коэффициент нелинейных искажений 0,004%, максимальный выходной уровень 2 В RMS.

6.4.4. Психоакустические процессоры

Воспринимаемая нами звуковая картина далеко не всегда соответствует истинному положению вещей, поскольку складывается она уже в мозгу в результате обработки всей поступающей информации. Используя принципы психоакустики, мозг можно «обмануть».

Так, еще в конце 90-х годов компания SRS Labs предложила аналоговый психоакустический процессор, формировавший высокую звуковую сцену при низко установленных динамиках. Теперь метод перенесен на цифровую платформу, благо для DSP никаких преград нет – был бы алгоритм обработки. Обработка основана на корректировке спектра сигнала в области средних частот. Принцип прост – высоту кажущегося источника сигнала наш мозг определяет на основании его спектра. А зависимость спектра одного и того же источника от высоты определяется формой ушной раковины, ее «улитки». Поэтому мозг можно обмануть, внеся в сигнал соответствующие частотные предискажения, и звуковая сцена поднимется на уровень глаз. Единственное условие – спектр исходного сигнала (или сходного с ним) должен быть заранее «прописан» в слуховой памяти человека, поэтому для «космических» и прочих искусственных звуков с бедным спектром эффект выражен не столь явно. Данная технология под названием Focus уже несколько лет успешно применяется в головных устройствах Panasonic.

Еще одна задача, решенная методами психоакустики, – воспроизведение нижних частот малогабаритными акустическими системами. Спектр сигнала модифицируется таким образом, что его суммарная мощность не изменяется, но субъективное восприятие баса улучшается. После спектрального анализа для каждой частотной составляющей синтезируется набор обертонов определенной амплитуды, а основной тон ослабляется. Низкочастотные составляющие сигнала, которые вызывают перегрузку динамических

головок, в выходном сигнале заменены гармониками. Меняя соотношение исходного и обработанного сигналов, можно воздействовать на глубину эффекта. Фонограмма, подвергнутая такой обработке, воспринимается более «плотной» и динамичной, несмотря на относительно небольшой ход диффузора динамика. Физически колебания самых низких частот отсутствуют, поэтому динамики не перегружаются, да и от усилителя не требуется запредельной мощности.

Виртуальный бас

История моего знакомства с этой системой не совсем обычная. Наткнувшись в журнале Car audio and electronics на краткое описание очередного «улучшайзера», я, естественно, не поверил рекламным фразам (все выглядело слишком хорошо, чтобы быть правдой), но был весьма заинтригован. Захотелось разобраться всерьез.

Тема оказалась настолько интересной, что пришлось провести настоящее детективное расследование с углублением в историю и физику вопроса. В ход пошло все – даже собственный музыкальный опыт. Но этим дело не закончилось – в конце концов, проделав длинный путь из Америки, на мой стол попал и сам прибор MaxxBass 103. Сказать, что результат прослушивания меня поразил, – значит ничего не сказать...

Основная причина «нехватки баса» – снижение отдачи динамика на низких частотах, вызванное несовершенством его конструкции или неподобающим акустическим оформлением. До недавнего времени проблему решали «в лоб» – компенсировали снижение отдачи динамика при помощи коррекции АЧХ в низкочастотной области (бас-буст). Но для того, чтобы это привело к желаемому результату, необходимо, чтобы динамик имел большой линейный ход диффузора, а усилитель обладал соответствующим запасом мощности (каждые 3 дБ коррекции – это двукратное увеличение мощности, и потребности растут, как лавина). Невыполнение любого из этих условий приводит к резкому росту искажений, поэтому эффективность такого решения весьма условна, даже если отвлечься от цены вопроса. Получается парадокс: бас-буст ничем не поможет малогабаритным динамикам (ради которых он и придуман), а солидным он уже не нужен.

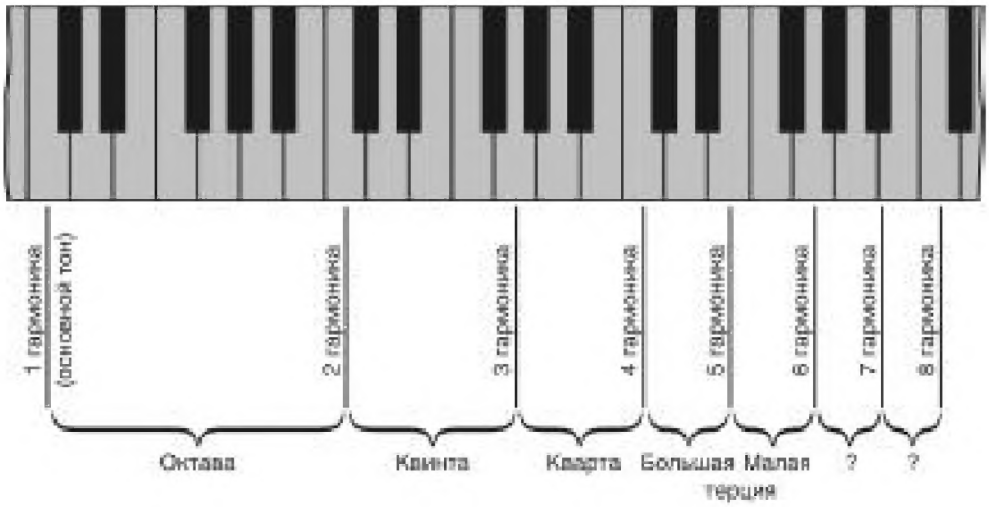
Совершенно иной подход предложила израильская компания Waves, специализирующаяся на разработке профессионального оборудования для студий звукозаписи. Запатентованный ей психоакустический метод обработки сигнала MaxxBass оказался настолько удобным для автомо-

бильной аудиотехники, что уже несколько компаний (Orion, Pricision Power и др.) производят приборы, использующие новую технологию.

Акустикам и музыкантам давно, еще со времен первых духовых органов, известен психоакустический эффект «фантомного основного тона». Если одновременно воспроизвести два сигнала, отличающиеся по частоте в полтора раза (F и 1,5F), то мы услышим еще и фантомный сигнал с частотой 0,5F, то есть на октаву ниже самого нижнего тона F. Но ведь такой частоты в исходном сигнале не было! Откуда она взялась?

Любой музыкальный звук, помимо основного тона, содержит множество обертонов (целых гармоник), расположенных на известных музыкальных интервалах, их определили еще эллины. Так, интервал между первой и второй гармониками составляет октаву (2:1), между второй и третьей – квинту (3:2), между третьей и четвертой – кварту (4:3), между четвертой и пятой – большую терцию (5:4), между пятой и шестой – малую терцию (6:5). Набор обертонов определенной интенсивности создает индивидуальную тембровую окраску звука, что и обеспечивает его «узнавание». Седьмой гармонике, кстати, «не повезло» – она не образует с «соседями» гармонических интервалов и при большом уровне дает диссонирующий призвук.

Рис. 6.56. АЧХ тыловых каналов



Механизм восприятия музыкальных звуков человеком детально изучал Гельмгольц и доказал, что мы воспринимаем их не как независимые составляющие, а «одним куском» – как совокупность обертонов. Причем интенсивность и даже само наличие основного тона не играют в этом процессе особой роли. Если, сохранив набор гармоник и определенное соотношение их амплитуд, ослабить или даже

полностью исключить основной тон, наш слух «домыслит» его – ведь дерева без корней и дома без фундамента не бывает.

Этот принцип с начала XVIII века с успехом использовали создатели духовых органов, заменяя одну большую трубу набором регистровых труб меньшего размера. Стены такой звук не сотрясает, но создает полное ощущение глубокого баса. С появлением электроорганов этот метод синтеза низкочастотных звуков возродился на новом уровне. Так, выпускавшийся с 1972 по 1990 год отечественный одноголосный электроорган ФАЭМИ был оснащен системой «искусственный бас», что позволяло весьма убедительно имитировать воспроизведение низких частот при помощи малогабаритного динамика мощностью всего 0,5 Вт.

Простейшие методы гармонического синтеза неплохо справлялись с поставленной задачей в электроорганах, но для обработки широкополосных сигналов подходили мало. Психофизиологические особенности слуха при этом не учитывались, соотношение амплитуд гармоник сохранялось постоянным во всем диапазоне частот и уровней сигнала. Кроме того, для обработки сложного сигнала требуется предварительно провести его спектральный анализ. Для этого нужен и соответствующий математический аппарат, и материальная часть.

Наконец, в 1995 году Меер Сашуа, сотрудник компании Waves, создал модель, точно описывающую комбинации акустических гармоник для эффекта «фантомного баса». Технология запатентована в 1999 году как метод создания «низкочастотного психоакустического восприятия», или звуковой иллюзии баса, которого в действительности нет.

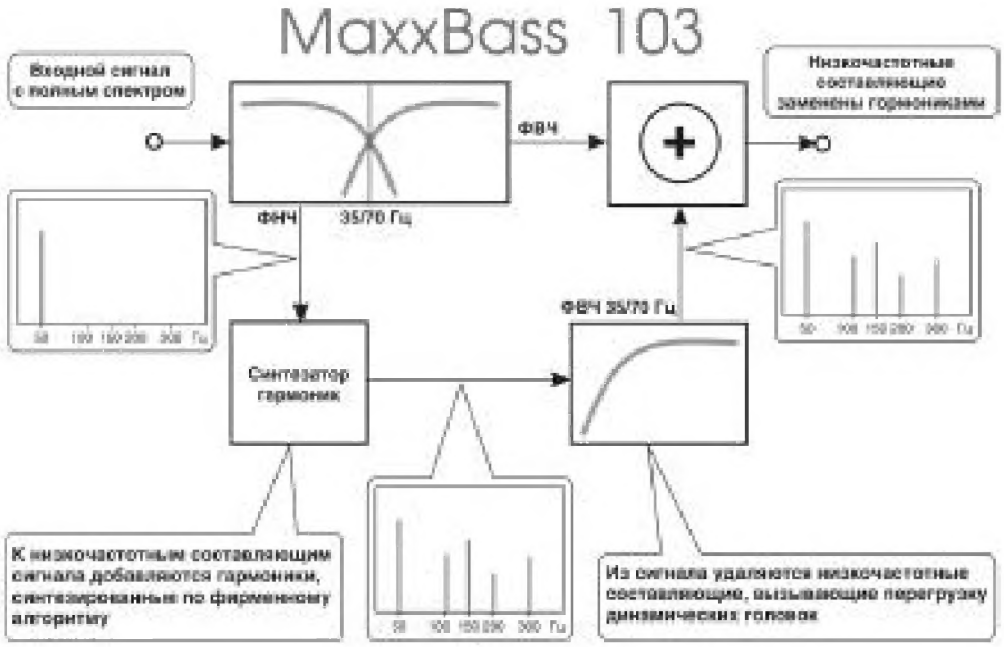
Первоначально программа обработки, названная MaxxBass, работала исключительно на компьютере. Затем в конце 2001 года была создана относительно недорогая интегральная микросхема MX3000AS MaxxBass ASIC, в которой была сосредоточена основная обработка сигнала. В результате появились профессиональные приборы MaxxBass 101 и MaxxBass 102, ставшие уже стандартным оборудованием звукозаписывающих студий. Однако слушателей гораздо больше, чем музыкантов, и компания Waves пошла дальше, предложив включить новую технологию обработки сигнала непосредственно в тракт воспроизведения. Так появился прибор MaxxBass 103, специально предназначенный для использования в автомобиле.

После краткого изложения психоакустических принципов работы MaxxBass пора перейти к принципам схемотехническим, а потом и к «железу». Спектр сигнала, поступающего на вход прибора, разделяется на две части. Частота

раздела F_x имеет два фиксированных значения: 70 Гц для дверных динамиков, 35 Гц для сабвуферов. Все преобразования затрагивают только низкочастотную часть сигнала, а составляющие, частота которых выше частоты раздела, проходят на выход устройства без изменений.

После спектрального анализа для каждой частотной составляющей по фирменному алгоритму синтезируется набор обертонов определенной амплитуды и добавляется к основному тону. Обработка сигнала занимает от 10 до 50 микросекунд, поэтому совершенно незаметна на слух. Затем фильтр ВЧ удаляет из синтезированного сигнала составляющие, частота которых ниже F_x. Полученный сигнал смешивается с исходным сигналом, прошедшим ФВЧ. Таким образом, низкочастотные составляющие сигнала, которые вызывают перегрузку динамических головок, в выходном сигнале заменены гармониками. Меняя соотношение исходного и обработанного сигналов, можно воздействовать на глубину эффекта.

Рис. 6.56. Принцип работы MaxBass



Возможности прибора расширяет установленный на входе ФНЧ 4-го порядка с частотой среза 120 Гц. Он пригодится, если источник сигнала не формирует отдельный сигнал сабвуфера. Кстати, формировать полосу частот сабвуфера нужно именно до обработки, а не после – иначе результат попадет псу под хвост (то есть фильтру под срез). Поэтому полоса частот усилителя сабвуфера должна быть

никак не уже 200 Гц, а встроенный в него ФНЧ нужно отключить или установить в режим максимально широкой полосы.

Прослушивание MaxxBass 103 проводилось на разнообразном музыкальном материале, от классики и джаза до рока и рэпа. Использовались как домашние АС различного типа, так и автомобильные динамики размером 5,25 и 6 × 9 дюймов. Самое удивительное, что степень улучшения звучания обратно пропорциональна возможностям используемой акустики. На домашней системе высокого качества эффект был заметен лишь слегка, а при большой глубине обработки звучание становилось искусственным. После этого теста (в полном соответствии с известным анекдотом про японскую пилораму) к усилителю были подключены уникальные раритетные картонно-пластмассовые чудо-колонки системы «Аккорд» (работать ниже 200 Гц не способны даже в сказке). Чуда, конечно, не произошло – суббас не появился, но верхний бас прорезался вполне отчетливо, с атакой и рельефом, и даже без слышимых нелинейных искажений. Окончательное тестирование, проведенное на автомобильных динамиках в «боевой обстановке», показало: обработка сигнала существенно улучшает звучание автомобильной аудиосистемы. Но описывать это словами – неблагодарная задача. Двенадцатидюймовый активный сабвуфер в хоралах Баха просто брал за душу...

MaxxBass 103 позволяет виртуально расширить диапазон эффективно воспроизводимых частот примерно на октаву-полторы вниз. Эффект очень интересный, это не похоже ни на коррекцию при помощи эквалайзера, ни даже на динамическую коррекцию BBE. Наилучшим образом эффект проявляется при обработке инструментов с небогатым исходным спектром (электронный бас и ударные, синтезаторы, бас-гитара в «электрической» записи). Для классических басовых инструментов (ударные, контрабас, орган, бас-гитара в микрофонной записи) эффект заметен в меньшей степени, но приятен на слух. Бас после обработки становится плотным и собранным, в то же время никакой «отсебятины» прибор не вносит. Звучание при этом сохраняет естественность и заданный звукорежиссером тональный баланс. Кроме того, малогабаритные динамики не перегружаются, а к усилителю не предъявляется повышенных требований.

Процессор MaxxBass 103 – идеальное средство для решения сразу нескольких задач. Во-первых, это улучшение звучания малогабаритных динамиков в штатных местах (не секрет, что многие автовладельцы по тем или иным причинам желают сохранить заводской дизайн автомобиля). Кро-

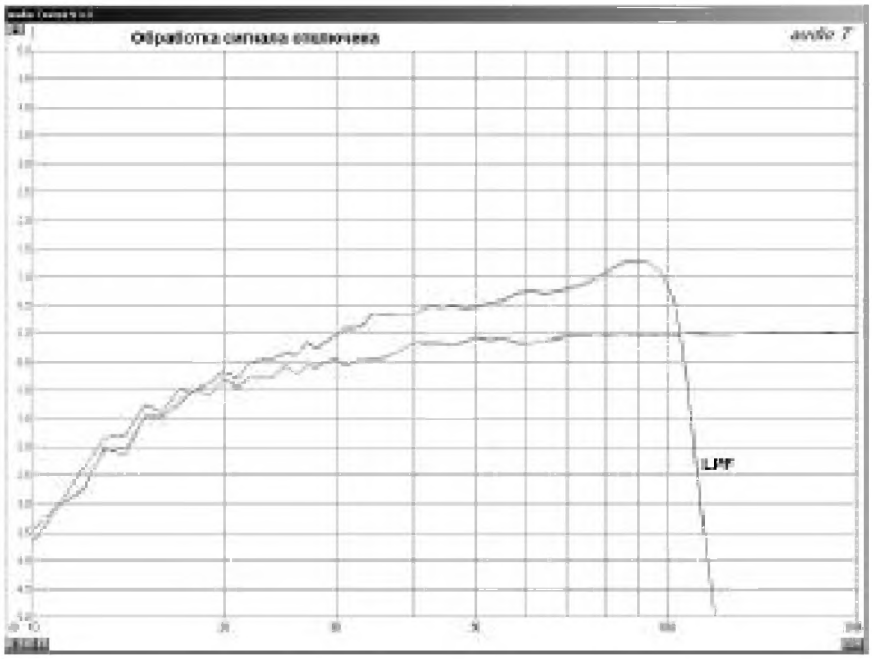


Рис. 6.57. Спектр сигнала MaxBass (обработка выключена)

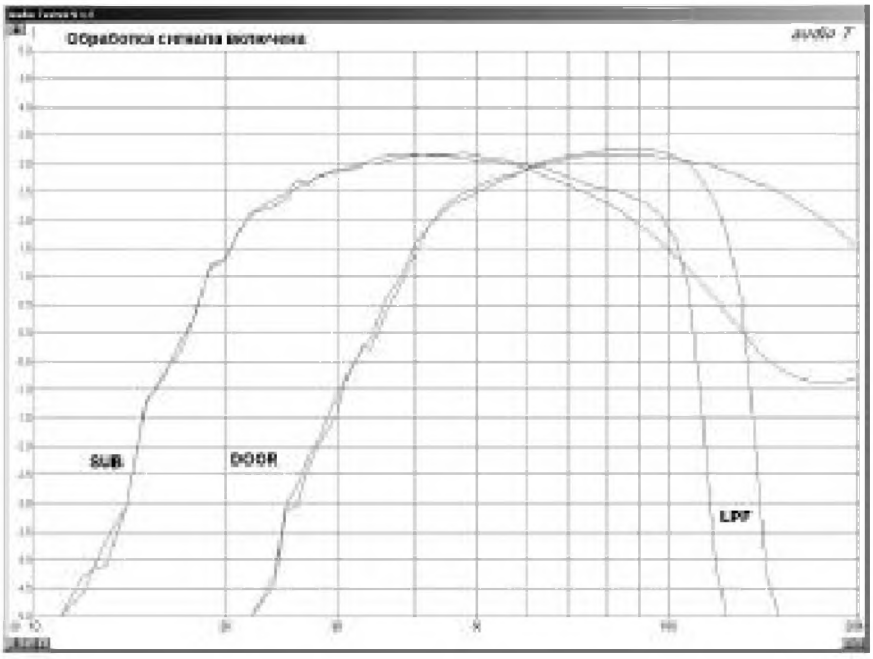


Рис. 6.58. Спектр сигнала MaxBass (обработка включена)

ме того, полномасштабная акустическая подготовка двери или торпедо несопоставима по затратам с установкой маленькой коробочки. Единственное условие – в системе должен быть внешний усилитель.

Во-вторых, MaxxBass 103 с динамиками калибра 6,5 дюйма радикальным образом решает проблему переднего баса – мечты всех (не побоюсь этого слова) аудиоманьяков. Удачно сформулировал этот тезис журнал Truckin: «передний бас – это святой Грааль для всех, кто свихнулся на басе» (*Up-front bass that's the holy grail of just about every bass-head*).

В-третьих, даже скромный сабвуфер на слух станет очень внушительным. А большой просто станет гигантом.

Рис. 6.59. Процессор MaxBass 103

Процессор звукового поля

Расширение стереобазы было, пожалуй, самым первым методом обработки стереосигнала. Его опробовали еще на заре стереофонии, в эпоху микрофонной записи. Наряду с записью при помощи двух одинаковых микрофонов по системе AB или XY (рис. 6.60) тогда широко применялась запись по системе *MS*, в которой использовались два принципиально разных микрофона:

- однонаправленный микрофон для монофонического сигнала середины (нем. *Mitte*) с кардиоидной характеристикой;

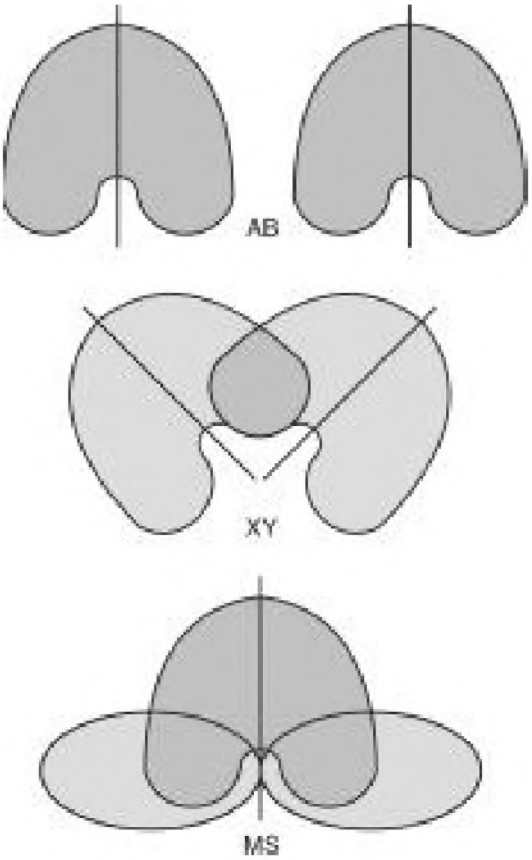


Рис. 6.60. Системы записи (AB, XY, MS)

- двунаправленный микрофон для сигнала направления (нем. *Seite* – сторона) с «восьмерочной» характеристикой.

Переход от сигналов *MS* к двухканальной системе сигналов производился при помощи суммирующих трансформаторов:

$$2A = M - S;$$
$$2B = M + S.$$

Попутно обнаружилось, что, изменяя соотношение между сигналами, можно воздействовать на кажущуюся ширину стереопанорамы. Действительно, когда $S = 0$, сигнал монофонический (отсутствует информация о направлении), а при $M = 0$ – широчайшая стереопанорама (отсутствует сигнал середины). Получившие впоследствии распространение в портативной (да и не только) аппаратуре регуляторы стереобазы использовали практически тот же метод. Сначала из сигналов левого и правого каналов формировался разностный сигнал $S = A - B$, а затем он использовался для регулировки:

$$A' = A + kS = (k + 1)A - kB;$$
$$B' = B - kS = (k + 1)B - kA.$$

Изменяя масштабный коэффициент от 0 до 1, можно было воздействовать на ширину стереобазы. В примитивных вариантах расширителей стереобазы (в носимой аппаратуре) масштабный коэффициент обычно имел фиксированную величину в пределах 0,3–0,6, а соотношения были еще проще:

$$A' = A - kB;$$
$$B' = B - kA.$$

Однако всем простым системам расширения стереобазы свойственно заметное изменение тембровой окраски звучания, вызванное компенсацией низкочастотных составляющих сигнала при противофазном суммировании. Попытки ограничить «снизу» частотный диапазон разностного сигнала ни к чему хорошему не привели – «провал баса» сменился «выпячиванием середины». Наконец, для большинства студийных записей, выполненных по полимикрофонной или безмикрофонной технологии, звучание становилось неестественным, поскольку разностный сигнал не имел ничего общего с расположением источников звука. Поэтому различные системы расширения стереобазы постепенно сошли со сцены.

Однако интерес к этим системам все же не угас, и в середине 90-х годов Toshiba предложила систему Sound Field Reproduction (воссоздание звукового поля). В системе использован тот же принцип, что и в популярных некогда расширителях стереобазы, но с одним существенным дополнением: ограниченный по спектру разностный сигнал не просто подмешивается в исходные сигналы стереоканалов, а предварительно обрабатывается четырехкаскадным фазовращателем (он дает сдвиг фазы на 360 градусов, то есть на период сигнала). Хотя вносимая задержка ничтожна (в области средних частот период сигнала порядка миллисекунды), это кардинальным образом влияет на результат суммирования. При разумном уровне разностного сигнала тембровая окраска выходного сигнала на слух не изменяется, а звучание приобретает объем и выразительность.

Простой математикой этот эффект не объяснить, это уже область психоакустики. Изменение интенсивности и спектра сигналов со всей очевидностью вытекает из формул суммирования, но никаких заметных на слух изменений тонального баланса не наблюдается! К тому же задержка сигнала слишком мала, чтобы сформировать «настоящие» эхо-сигналы, ассоциирующиеся с объемностью звучания. Объяснение одно – в этом случае действует эффект Хааса («эффект предварения», как называли его в нашей литературе в пору борьбы с космополитами). Сущность его в том,

что серия однотипных звуков воспринимается человеком «членораздельно» только в том случае, если пауза между ними превышает примерно 40 миллисекунд. В противном случае воспринимается только первый звук, последующие звуки игнорируются (при разумной интенсивности, естественно) или воспринимаются «вторым планом». Эта способность концентрировать внимание на первом звуке и отсекать избыточные эхо-сигналы выработалась у человека в процессе эволюции.

Таким образом, незначительная задержка разностного сигнала во времени позволяет сохранить тональный баланс (хотя акустические измерения, конечно, зафиксируют изменение спектра). Причем при умеренном применении эффекта проявляется не столько расширение стереобазы, сколько глубина и «живость» стереокартины. Наибольший эффект от применения Sound Field Reproduction заметен именно для записей, выполненных по студийным технологиям (где, как известно, пространственное распределение кажущихся источников сигнала весьма схематично). А на «живых» записях, даже невысокого качества, наблюдается эффект присутствия.

Для обработки сигнала по этому методу фирма Toshiba разработала микросхему TA8173. Нет смысла подробно разбирать ее устройство – интересующихся отсылаю к фирменному описанию. Однако повторение типовой схемы выявило ряд недостатков. Прежде всего рекомендованный коэффициент суммирования для автомобиля оказался чрезмерно велик – на некоторых записях появлялся разрыв звуковой картины, особенно заметный при несимметричном расположении слушателей (типичный «автомобильный» случай). Не самым удачным (по крайней мере, для прослушивания в ближнем поле) оказался и выбор частот настройки фазовращателей. В результате оптимальные для автомобиля характеристики элементов пришлось подбирать опытным путем.

На рис. 6.61 приведена принципиальная схема устройства, которая отличается от типовой лишь номиналами элементов. Резистор R8 нормирует степень обработки сигнала, это единственное дополнение к стандартной схеме включения. Простейшие фильтры первого порядка после регулятора уровня сигнала сабвуфера имеют частоту среза около 300 Гц, их назначение – исключить влияние соединительного кабеля и обратное воздействие канала сабвуфера на основной выход. Для лучшей развязки можно было бы установить буферные усилители, но и без них оказалось отлично.

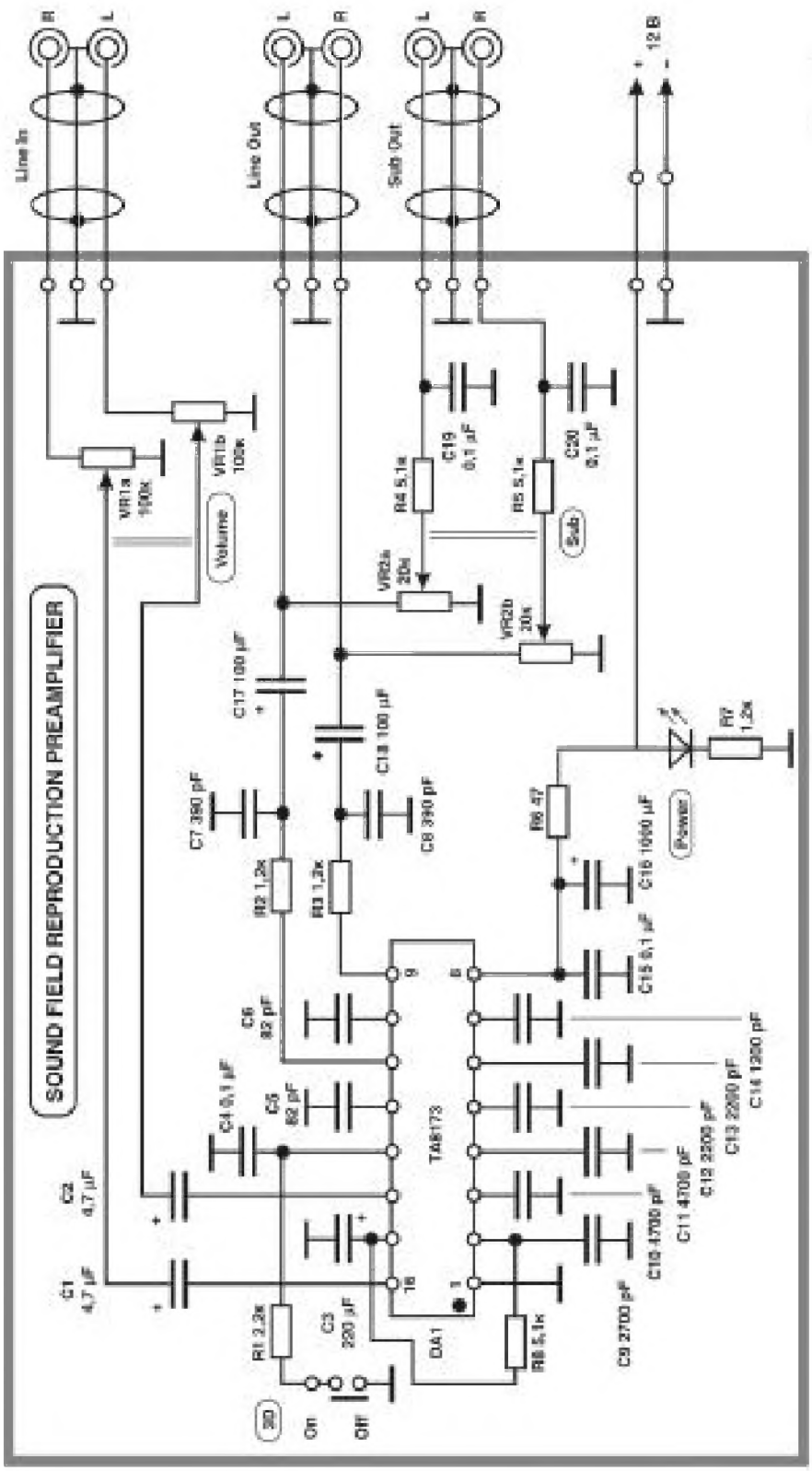


Рис. 6.61. Процессор звукового поля

7. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

В этой главе рассматриваются дополнительные устройства, которые не имеют непосредственного отношения к процессу воспроизведения и качеству звучания, но вносят свой вклад в удобство и безопасность эксплуатации системы или имеют эстетическое значение. Необходимость их применения решается в каждом конкретном случае.

7.1. АНТЕННЫ

Чтобы закрыть тему телевизионного и радиоприема, уделим немного внимания антеннам. Для начала вспомним действующее сегодня распределение частот в диапазонах аналогового радио и телевизионного вещания:

- длинные волны (ДВ, LW) – частоты в диапазоне 148–285 кГц (лет 20 назад границы диапазона были шире – 140–450 кГц). Сетка частот не стандартизована. Используется только в Европе и России. В ближайшие 15 лет планируется полностью освободить этот диапазон от радиовещания;
- средние волны (СВ, AM). Границы диапазона несколько отличаются: 520–1620 кГц с шагом 10 кГц в США и Тихоокеанском регионе, 522–1611 кГц с шагом 9 кГц в остальных странах. Дальность распространения в дневное время до 500 км над сушей и до 1000 км над морем, в ночное время – до 4000 км;
- короткие волны (КВ, SW). Частоты в диапазоне примерно 2,5–30 МГц. Четких границ нет – в каждом регионе свои стандарты. Шаг сетки частот – 5 кГц. Радиовещание ведется в основном на отдельных узких участках диапазона, остальные отведены для служебной связи. Особые участки отведены радиолюбителям – в признание заслуг в освоении этого диапазона.

В дневное время дальнее прохождение волн наблюдается на частотах 15–30 МГц, в ночное – на частотах 3–10 МГц;

- ультракороткие (УКВ, FM, телевещание). Прием возможен только в зоне прямой видимости. Для вещания выделены следующие поддиапазоны частот:
  - 65–74 МГц с шагом 30 кГц – Россия и страны Восточной Европы;
  - 87,5–108 МГц – Западная Европа (с шагом 50 кГц), Россия (с шагом 100 кГц);
  - 88–104 МГц с шагом 200 кГц – США;
  - 76–90 МГц с шагом 50 кГц – Япония и некоторые страны Тихоокеанского региона. Этот диапазон также выводится из употребления;
- метровый 48,5–100 МГц (1–5 каналы телевизионного вещания);
- метровый 174–230 МГц (6–12 каналы телевизионного вещания);
- дециметровый 470–862 МГц (21–69 каналы телевизионного вещания).

Расстояние прямой видимости рассчитывается по следующей формуле:

$$R, \text{км} = 4{,}1(\sqrt{H_1, \text{м}} + \sqrt{H_2, \text{м}}),$$

где H_1, H_2 – высота передающей и приемной антенн.

Для цифрового наземного вещания DVB-T (телевидение) и T-DAB (радио) рекомендован диапазон 790–862 МГц. Совместимое цифровое радиовещание в формате HD Radio (по стандарту IBOC) ведется в США в диапазоне 88–104 МГц.

7.1.1. Основные определения

Длина волны – ее основная характеристика наряду с частотой. На практике удобнее всего применять формулу:

$$\lambda, \text{м} = 300 / F, \text{МГц}.$$

Поляризация – характеристика электромагнитной волны, показывающая направление вектора электрического поля. Различают волны с линейной (вертикальной, горизонтальной и наклонной) и эллиптической (круговой) поляризацией. В последнем случае вектор электрического поля совершает вращение по ходу распространения волны. При отражении радиоволн от предметов и рассеянии на атмосферных аномалиях вектор поляризации может измениться.

Приемная антенна – устройство, предназначенное для приема радиоволн. Ее назначение – преобразовывать

энергию электромагнитного поля в электрический ток. Усиление и детектирование сигнала выполняет радиоприемник.

Диаграмма направленности – зависимость уровня сигнала, наведенного в антенне, от направления прихода волны. Различают диаграмму направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Направленные антенны позволяют улучшить качество приема, но использовать их можно только в стационарных условиях (пример – телевизионная антенна). На подвижных объектах (автомобилях, катерах, самолетах) обычно применяют слабо направленные или ненаправленные антенны.

Магнитная антенна воспринимает магнитную составляющую электромагнитного поля. Конструкция представляет собой катушку с ферритовым стержнем или рамку с обмоткой. Антенны этого типа обладают ярко выраженной направленностью (вспомните фильмы про разведчиков и машину-пеленгатор). Эффективность магнитных антенн невелика и падает с ростом частоты сигнала и уменьшением периметра рамки. В силу этих причин в автомобиле магнитные антенны не применяются. Однако антенны этого типа обладают очень важным достоинством: качество их работы практически не зависит от окружающих предметов.

Электрическая антенна воспринимает электрическую составляющую электромагнитного поля. Конструкция представляет собой одиночный проводник или систему проводников. Для максимальной эффективности направление проводников должно соответствовать поляризации волны. Простейшая электрическая антенна – штырь или провод. Антенны этого типа просты по конструкции, дешевы и удобны в эксплуатации, но уровень сигнала на выходе и характеристика направленности сильно зависят от близко расположенных предметов.

Пассивная антенна работает непосредственно с приемником и не нуждается в электрическом питании.

Активная антенна работает совместно с усилителем, входящим в ее конструкцию. Для усилителя требуется питание.

Условие согласования антенны – выходное сопротивление антенны и входное сопротивление приемника (усилителя) должны быть одинаковыми.

Любая антенна представляет собой резонансную систему с распределенной емкостью и индуктивностью и характеризуется определенной частотой настройки. Выходное сопротивление антенны на частоте настройки носит активный характер. Для широкополосных антенн выходное сопротивление изменяется в широких пределах, и условие со-

гласования выполняется только в определенном диапазоне частот. Нарушение согласования снижает эффективность антенны, но для приемных антенн это условие в большинстве случаев некритично, поскольку снижение отдачи можно скомпенсировать усилением в приемнике. Для телевизионных антенн согласование необходимо, особенно при использовании длинного кабеля.

Характерный размер антенны (электрическая длина) определяется длиной принимаемой волны. Для максимальной эффективности длина антенны должна быть кратна 1/4 длины волны. Под характерным размером следует понимать именно линейный размер антенны, а не длину проводников, из которых она изготовлена. Если длина антенны меньше 1/4 длины волны, антенна является *укороченной*. Ее выходное сопротивление в этом случае носит емкостный характер. Катушки индуктивности (*«удлиняющие» катушки*), используемые для согласования укороченных антенн с входом приемника, не увеличивают ее электрическую длину и не улучшают остальных показателей.

7.1.2. Типы автомобильных антенн

Из всего многообразия антенн в автомобиле чаще всего применяются следующие конструкции:

- симметричный полуволновой вибратор;
- укороченный симметричный вибратор;
- свернутый симметричный вибратор;
- несимметричный вибратор (четвертьволновый штырь);
- укороченный несимметричный вибратор;
- спиральная антенна.

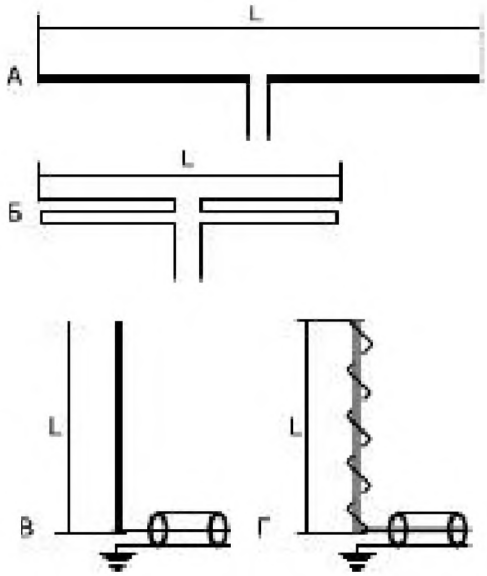
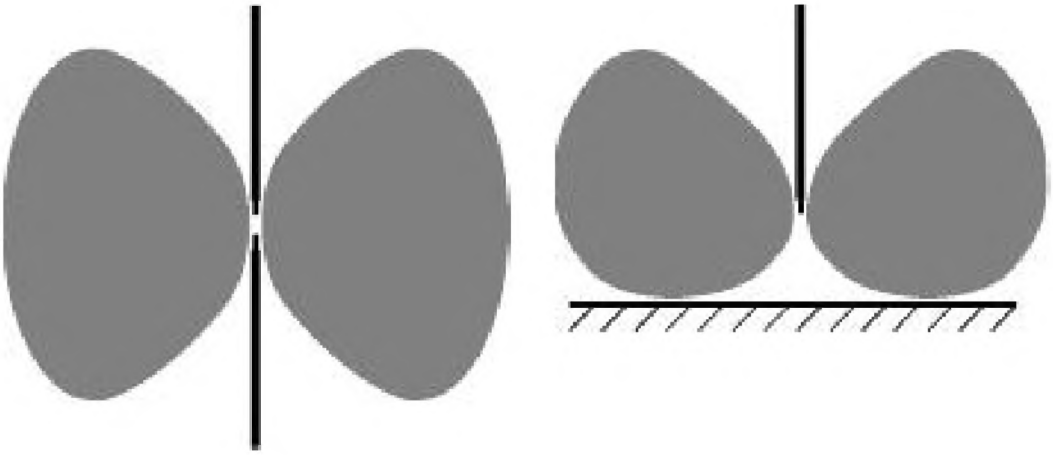


Рис. 7.1. Типы автомобильных антенн

Электрическая длина *симметричного вибратора* для максимальной его эффективности должна составлять половину длины волны (отсюда и название – полуволновой). Это антенна с симметричным выходом, и для ее подключения к несимметричному входу приемника необходимо согласующее устройство. Поскольку длина волны даже в «верхнем» диапазоне УКВ составляет около 3 м, полноразмерный полуволновой вибратор используется исключительно в роли телевизионной антенны – в этом случае его достоинства перевешивают неудобства в эксплуатации.

Для радиоприема обычно используют *укороченный симметричный вибратор* с «удлиняющими» катушками или *свернутый симметричный вибратор*. В последнем варианте сосредоточенная индуктивность этих катушек заменяется распределенной индуктивностью антенны. Наиболее распространенные в настоящее время внутрисалонные активные радиоантенны – «таблетки» и антенны «под центральное зеркало» относятся как раз к этим типам. В некоторых автомобилях в качестве вибраторов радиоантенны используются проводники обогревателя заднего стекла.

Рис. 7.2. Диаграмма направленности симметричного и несимметричного вибраторов в вертикальной плоскости



Несимметричный вибратор получается из симметричного, если одну из его половин заменить *заземлением* или *противовесом*. В автомобиле роль противовеса играет корпус. Электрическая длина несимметричного вибратора для его наибольшей эффективности должна составлять приблизительно четверть волны: 75–80 см для диапазона 88–108 МГц и 100–110 см для диапазона 66–74 МГц. Поэтому четвертьволновые вибраторы использовать не очень удобно, особенно в «неубираемом» варианте. Впрочем, по эффективности им нет равных, и такая антенна всегда составляет предмет законной гордости ее владельца. Антенны по-

добного типа (штыревые и телескопические) чаще всего используются в заводской комплектации автомобиля.

Для многих автовладельцев компактность антенны важнее ее приемных качеств, поэтому определенное распространение получил *укороченный несимметричный вибратор*. Вариантов конструктивного исполнения немало, но суть у всех одна – штырь длиной 30–50 см, иногда снабженный катушкой для лучшего согласования с приемником. Остальные отличия носят декоративный характер. Разновидность укороченного несимметричного вибратора – *спиральная антенна*. Она представляет собой гибкий стержень из диэлектрического материала, на который с достаточно большим шагом намотано несколько десятков витков провода. Сверху конструкция покрыта слоем диэлектрика. В этом варианте сосредоточенная индуктивность согласующей катушки заменена распределенной индуктивностью антенны.

Поскольку уровень сигнала укороченных и внутрисалонных антенн значительно ниже «полноразмерных», для повышения эффективности используется дополнительный антенный усилитель. В этом случае антенна становится активной.

7.1.3. Активные антенны

По месту установки антенны подразделяются на внутрисалонные и наружные. Низкая эффективность малогабаритных антенн при установке внутри салона дополнительно снижается из-за экранирующего действия кузова. Поэтому все внутрисалонные антенны и некоторые наружные выполняются активными, со встроенным или выносным усилителем. Однако на этом пути есть серьезные проблемы. Автомобильные антенны не отличаются избирательными свойствами и одинаково хорошо воспринимают как полезный сигнал, так и различные помехи. При последующем усилении вместе с сигналом будут усилены и они, более того – любой усилитель вносит в усиливаемый сигнал свои собственные шумы и продукты искажений. При сильном сигнале доля шумов невелика и не влияет на качество приема, но слабый сигнал может «утонуть» в шумах усилителя. Уровень шумов определяет нижнюю границу *динамического диапазона* усилителя.

Прием сильных сигналов сопровождается искажениями, вызванными перегрузкой входных каскадов усилителя или приемника (*забитие*) и действием во входных цепях нескольких сигналов одновременно (*перекрестные искажения*). Эти факторы определяют верхнюю границу динамического диапазона. Роль приемника в этом случае может оказаться решающей (подробно об этом далее).

Способов расширения динамического диапазона принимаемых сигналов не так много:

- применение полосового усилителя взамен широкополосного;
- повышение линейности усилителя;
- ручное переключение чувствительности (*«город/трасса»*);
- применение системы автоматической регулировки усиления (*АРУ*).

Сужение полосы пропускания антенного усилителя уменьшает влияние внеполосных шумов и помех. Конструктивно это могут быть независимые усилители для каждого диапазона частот с последующей коммутацией или смешиванием сигналов либо один усилитель с полосовыми фильтрами для каждого диапазона. Каждый вариант имеет свои достоинства и недостатки. Применение отдельных полосовых усилителей позволяет использовать оптимальные для данного диапазона схемотехнические решения, но увеличивает число деталей. Общий усилитель с раздельными полосовыми фильтрами, как и все универсальные решения, не оптимален, но дешевле в производстве.

Наиболее действенный способ повышения линейности антенного усилителя – использование во входных каскадах полевых транзисторов. Первые конструкции такого типа были созданы радиолюбителями, но сейчас они применяются во многих промышленных изделиях. Кстати, большинство интересных технических решений в области радио нашли энтузиасты, а лавры пожинает промышленность. Нет на свете справедливости...

Системы ручной или автоматической регулировки усиления уменьшают вероятность перегрузки усилителя и первых каскадов приемника сильным входным сигналом. Автоматическая регулировка усиления удобна при поездках в черте города, но используется не так широко, как хотелось бы. Конструкторы антенн полагаются на уже имеющуюся в приемнике АРУ, хотя ее эффективность в условиях сильных помех может оказаться недостаточной. В этом случае прямой смысл оценивать характеристики выбранной активной антенны именно «в связке» с конкретным приемником, но такая возможность предоставляется редко. Если приемник не обладает высокой перегрузочной способностью (что характерно для большинства современных магнитол, приемник которых выполнен на одной микросхеме), лучшим выбором может оказаться активная антенна с ручным переключением чувствительности. Это позволит ограничить усиление сигналов большого уровня и избежать перегрузки первых каскадов приемника.

7.1.4. Разнесенные антенные системы

На особенностях телевизионного приема в автомобиле стоит остановиться подробнее. Основная проблема при приеме изображения в движущемся автомобиле – непостоянство уровня сигнала, отраженные сигналы и помехи. Интерференция прямых и отраженных волн приводит к снижению уровня сигнала в локальной точке, при совсем слабом сигнале происходит срыв синхронизации развертки, изображение «мелькает». В результате возникает парадоксальная ситуация, когда на МКАД телеприем устойчивее, чем возле телецентра Останкино.

Для поддержания постоянного уровня принятого сигнала используется быстродействующая автоматическая регулировка усиления (АРУ), но бороться с интерференцией ей не по силам. Поэтому искажения «картинки», вызванные приемом отраженных или задержанных сигналов, подавить крайне сложно. Чтобы исключить прием отраженных сигналов в стационарных условиях, применяют узконаправленные антенны, а что делать в движущемся автомобиле, где антенна по определению должна быть ненаправленной?

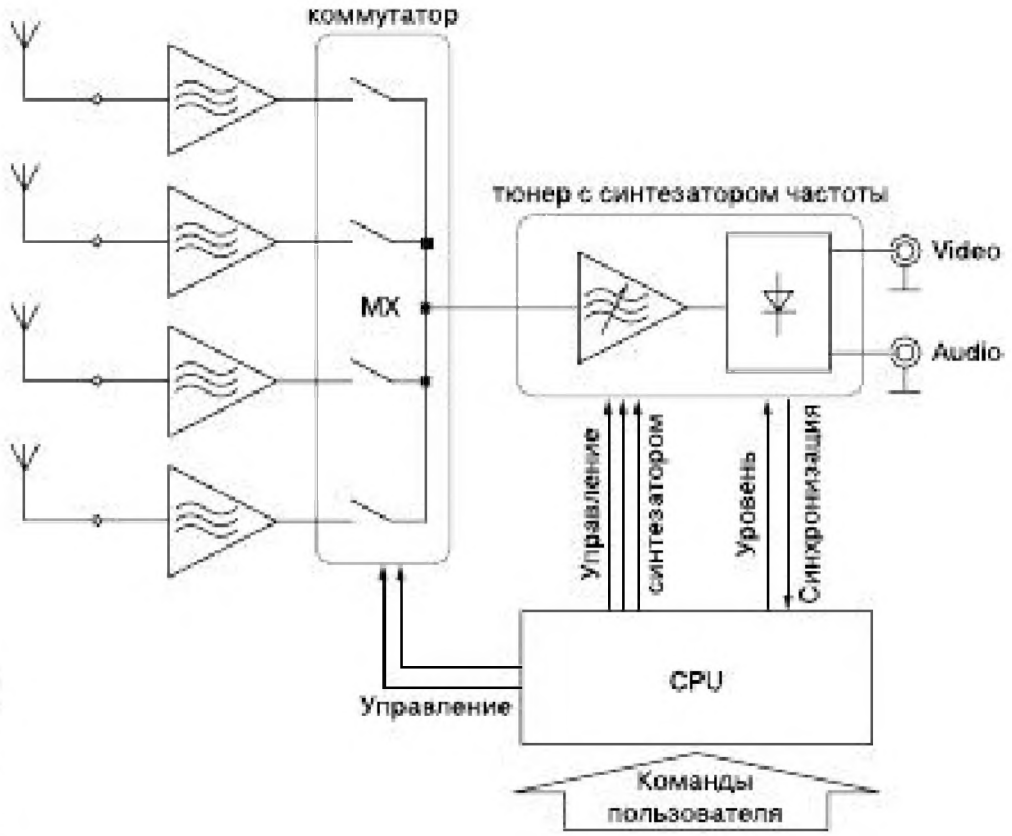
Все модели переносных телевизоров, обычно используемые в автомобилях, снабжены встроенной штыревой антенной. Однако она хороша лишь для пикников. Попытки добиться не то что бы качественного телевизионного приема, а хотя бы устойчивой «картинки» обречены на провал даже в неподвижной машине. В движении – и подавно. Причина проста – экранирующее действие металлического кузова автомобиля плюс многократные переотражения сигнала, пробившегося внутрь через стекла (нередко тонированные). Можно, конечно, ничтоже сумняшеся, использовать штатную автомобильную штыревую радиоантенну (не смейтесь, попытки и результаты сам видел), но качество приема возрастет незначительно, и только в черте города – пока сигнал достаточно сильный. Причина кроется в низкой эффективности традиционного штыря в не свойственной ему роли. В большинстве стран мира (кроме Англии) в телевещании принята горизонтальная поляризация волны, а штырь, как правило, расположен почти вертикально. Да и размеры его редко соответствуют длине волны. Поэтому специализированная внешняя антенна телевизору совершенно необходима.

При отсутствии отраженных сигналов (стоянка, движение по трассе) неплохие результаты обеспечивают традиционные симметричные вибраторы, однако наилучшее качество приема в городских условиях (отраженные сигналы, помехи) может обеспечить только разнесенная антенная

система. Причем просто суммировать сигнал с разнесенных антенн бессмысленно – на метровых диапазонах расстояние между ними сопоставимо с длиной волны, а на дециметровых на этом промежутке и вовсе укладывается несколько волн. В результате получим ту же интерференцию сигналов, но уже с заранее известным результатом...

Поэтому система разнесенных антенн вынуждена обладать определенным интеллектом. В ее составе должно быть как минимум две (лучше четыре) антенны, коммутатор и логический блок, выбирающий из всех сигналов самый сильный. Кроме того, в составе «умной» антенны необходим тюнер, выделяющий сигнал интересующего нас канала. Ведь оценивать нужно именно его, а не все сигналы, принятые антенной (сигналы других каналов – в этом случае только помеха). Наконец, коней на переправе не меняют, поэтому переключение антенн не должно происходить в середине кадра. Для этой процедуры больше походит межкадровый интервал, а для определения этого момента телевизионный сигнал необходимо выделить и усилить. Само собой, для управления этим хозяйством примитивной логикой не обойтись, необходим микроконтроллер. Упрощенная блок-схема разнесенной антенной системы изображена на рис. 7.3 [37].

Рис. 7.3. Интеллектуальный TV-тюнер



Практический пример такой конструкции – интеллектуальный тюнер Prology TVT200S, разработанный компанией Saturn High-Tech, Inc. Помимо указанных на блок-схеме узлов, в состав тюнера входят также AV-коммутатор для оперативного выбора источников сигнала и ряд сервисных схем. Сердцем прибора является усовершенствованный модуль тюнера **TAPC-G702P**, разработанный **LG Electronics**. Он обеспечивает прием телевизионных передач цветного изображения в системах ПАЛ B/G или СЕКАМ D/K на любом из 12 каналов (1...12) диапазона метровых волн (МВ) и 40 каналов (21...60) дециметровых волн (ДМВ). К тюнеру подключаются две симметричные антенны, но для каждого «уса» предусмотрен свой коммутируемый широкополосный усилитель. Интеллектуальное управление антеннами и тюнером осуществляет микропроцессор. Предусмотрены два независимых банка памяти настроек. Это весьма удобно для тех, кто постоянно перемещается между двумя регионами с разным распределением программ по телевизионным каналам.

7.1.5. Выбор антенны

Сравнивать между собой антенны различных типов «напрямую» непросто – прежде всего нужно знать, каковы условия приема в данной местности (уровень сигнала, отражения, помехи) и на каком диапазоне предполагается преимущественная работа.

Уровень сигнала УКВ-передатчиков невелик, а прием сигнала возможен только в зоне прямой видимости: с учетом высоты передающих антенн это расстояние редко превышает 50–60 км от передатчика. Зона уверенного приема сигналов телевещания заметно у́же – 15–20 км. Прием в городе обычно сопровождается значительным изменением уровня и поляризации сигнала из-за отражений и экранирующего действия зданий («*мертвые зоны*»). Правда, действие помех в звуковом тракте ослаблено благодаря особенностям модуляции – частотный детектор не реагирует на изменение амплитуды сигнала. Зато страдает изображение.

Коротковолновые диапазоны обеспечивают большую дальность связи (вплоть до кругосветной), но прохождение радиоволн на этом диапазоне прогнозируется с трудом, поскольку зависит от состояния ионосферы, а оно определяется солнечной активностью и временем суток («Есть забава на Руси – слушать ночью Би-би-си...»). Качество сигнала при дальнем прохождении неудовлетворительное даже при использовании хороших стационарных антенн. Поэтому эти диапазоны в Европе используют в основном для местного вещания. Магнитолы и приемники с коротковолновыми диа-

пазонами в России распространения не получили, и, по имеющимся данным, их поставки полностью прекращены.

Передатчики длинно- и средневолнового диапазона обладают большой мощностью, а зона уверенного приема составляет сотни и даже тысячи километров. Местный прием всегда стабилен, дальнее прохождение средних волн наблюдается вскоре после захода Солнца. Поэтому эти диапазоны становятся единственно доступными для радиовещания на большие расстояния. Однако качество звучания в силу технических особенностей амплитудной модуляции заметно хуже, чем на диапазоне УКВ. Сказывается также влияние помех. В США ведется дальнее стереофоническое радиовещание на средних волнах с использованием однополосной модуляции, но нам это не грозит. К тому моменту, когда появятся отечественные разработки, аналоговое радиовещание уступит место цифровому...

Какую же антенну выбрать? Из изложенного выше ясно, что лучшим решением было бы использовать отдельную антенну для каждого диапазона, но это слишком хорошо для всеобщего применения. Раздельные штатные антенны встречаются на некоторых автомобилях (главным образом японского производства), но и штатная магнитола имеет при этом два антенных входа... Универсальную же всеволновую антенну можно оптимизировать только для какого-то одного диапазона. Выбор при разработке обычно делается в пользу диапазона УКВ – качество вещания на остальных диапазонах настолько хуже, что их обычно игнорируют или используют от безысходности, на большом удалении от УКВ-передатчика. Неспроста в последнее время появляется все больше «городских» магнитол, в которых диапазоны АМ отсутствуют «как класс».

Для поездок только в черте города или на небольшом удалении от него можно использовать любой тип антенны – при достаточно сильном сигнале их характеристики в диапазоне УКВ примерно одинаковы. Это вопрос личных пристрастий. Для дальних поездок «полноразмерные» пассивные антенны предпочтительнее – в этом случае качество приема слабых сигналов выше за счет исключения шумов усилителя, а уровень помех за городом минимален. Качество приема сигналов в диапазонах длинных и средних волн на пассивную антенну в этом случае также будет выше.

Среди телевизионных антенн заслуженной популярностью пользуются антенны для внешнего монтажа на боковое стекло. Их главное достоинство – возможность быстрого снятия. Основание антенны снабжено обрезиненной П-образной скобой, которая надевается на приоткрытое боковое стекло таким образом, чтобы изогнутые «рога» про-

стирались над крышей машины. В концы «рогов» ввинчиваются телескопические штыри-удлинители. Полутораметровое рогатое чудище не только обеспечивает уверенный прием телесигналов, но и придает автомобилю определенный антураж.

При выборе антенны следует обращать внимание также на качество кабеля. Многие недорогие активные антенны вместо экранированного кабеля в целях экономии снабжены обычным ленточным, по которому подается и сигнал, и питающее напряжение. Это неудачное решение: неэкранированный участок провода сам становится антенной, принятые антенной и наведенные в проводе токи могут частично компенсировать друг друга. Предсказать поведение приемника вообще невозможно – случается, что такая «антенна» лучше работает с отключенным питанием!

Длина собственного кабеля антенны обычно невелика и достаточна только для антенн, устанавливаемых на лобовое стекло. Для всех остальных вариантов установки приходится использовать удлиняющие кабели и переходники. При их выборе основное внимание следует уделить надежности контакта в разъемах и качеству кабеля, чтобы исключить радиоприем «мимо антенны».

7.1.6. Антенна из обогревателя

Радиоприем без антенны невозможен. Это знают все и стараются обзавестись соответствующей – начиная от простейших штырей и заканчивая сложными активными системами. Если исходить из качества приема, то внешняя штыревая антенна – лучшее решение, но длинная «удочка» не слишком удобна, автоматические антенны зимой могут просто примерзнуть. Наконец, иногда просто не хочется проделывать дополнительное отверстие в кузове. Обычно в такой ситуации применяют активную внутрисалонную антенну.

Однако можно пойти другим путем – использовать в качестве антенны элементы обогревателя заднего стекла (рис. 7.4). Этот метод, кстати, с успехом применяется штатно во многих зарубежных автомобилях – в городских условиях качество приема отличное. Необходимые доработки минимальны: в цепи питания обогревателя нужно установить радиочастотный фильтр. Это два дросселя, «отсекающих» путь высокочастотным сигналам в бортовую сеть автомобиля, и конденсатор, пропускающий их к приемнику.

Типы деталей некритичны. Дроссели можно использовать готовые индуктивностью от нескольких сотен микрогенри (и рассчитанные на ток не менее 10 А) или изготовить

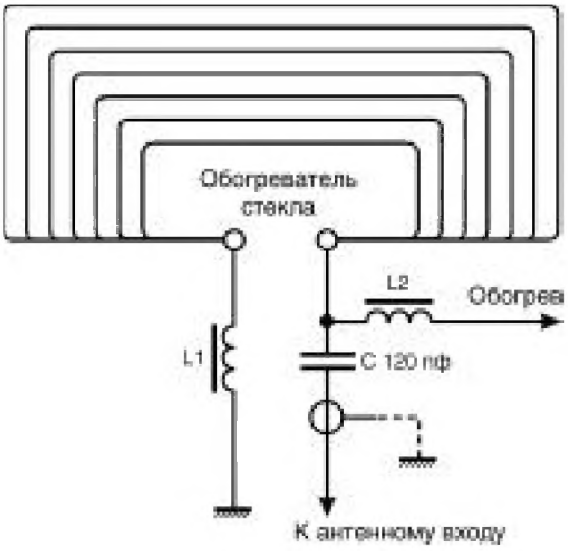


Рис. 7.4. Антенна из обогревателя

их самостоятельно. В этом случае на ферритовом кольце внешним диаметром не менее 20 мм необходимо намотать до заполнения изолированный провод сечением не менее 1 кв. мм. Конденсатор – любой керамический или слюдяной, емкостью от 120 до 1000 пФ. Элементы фильтра желательно установить как можно ближе к нагревателю – например, фильтр можно вставить в разрыв цепи питания. Для этого фильтр нужно смонтировать на небольшой изоляционной планке и снабдить разъемами «папа-мама».

Сигнал к приемнику подается по любому коаксиальному кабелю. Его волновое сопротивление (50 или 75 Ом) значения не имеет, поскольку при длине кабеля до нескольких метров потери сигнала, вызванные рассогласованием антенны, невелики. Соединение экрана кабеля с «массой» со стороны антенны не является необходимым, и это лучше проверить по качеству приема слабых станций и уровню помех.

7.2. ВИДЕОКОММУТАТОР

Для коммутации нескольких источников сигнала в мультимедийных системах обычно применяют AV-мастер. Это устройство включает в себя несколько аудио-, видеовходов и выходов. Сигнал с любого входа можно направить на любой из выходов по принципу «каждый с каждым», что позволяет одновременно использовать несколько источников сигнала и организовать независимые зоны обслуживания по числу выходов. В каждой зоне обслуживания устанавливается индивидуальный пульт управления. Пример такой конструкции приведен на фотографии (рис. 7.5).

Рис. 7.5. AV-мастер Videovox AVDB-404

Возможности специализированного AV-мастера широки, но и им есть предел. Например, чрезвычайно редко встречается независимая коммутация источников видео- и аудиосигнала, хотя на практике необходимость в этом возникает достаточно часто: например, при использовании камер обзора на крупногабаритных транспортных средствах или «праворуких» иномарках.

Что же делать в том случае, когда коммутировать нужно только видеосигнал? Конечно, можно использовать обычный AV-мастер, но это уже будет стрельба из пушки по воробьям. В этой ситуации поможет видеомастер, или коммутатор видеосигнала. Изготовление такого устройства не требует особой квалификации. Простейший вариант, не содержащий активных элементов, представлен на рис. 7.6.

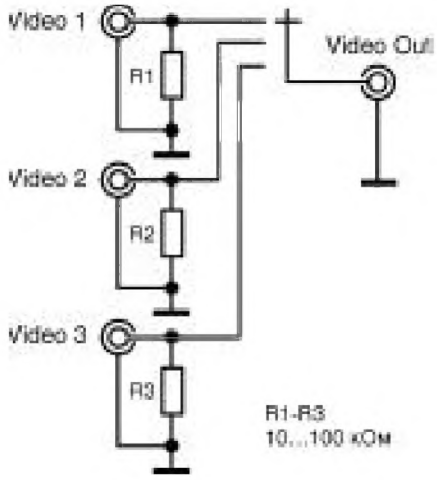
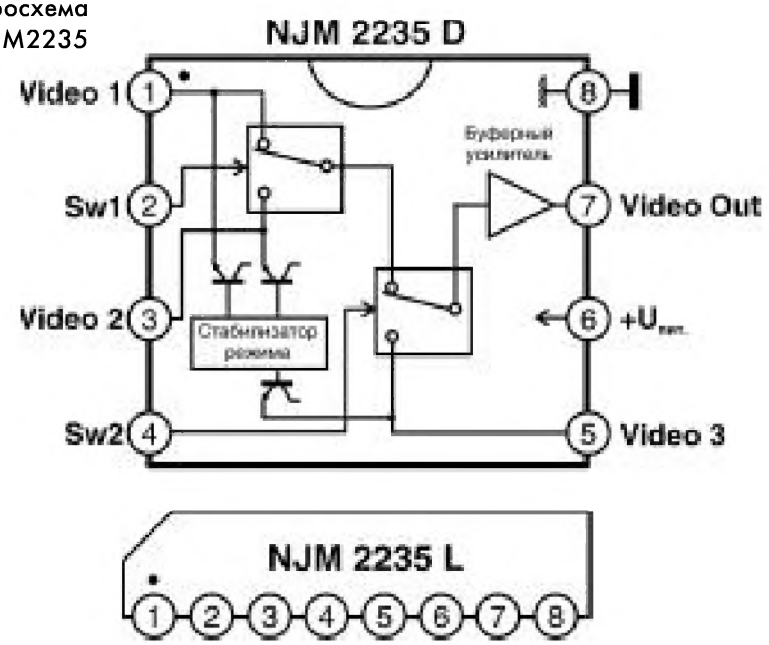


Рис. 7.6. Простейший видеомастер

Резисторы R1...R3 предназначены для зарядки разделительных конденсаторов на выходе видеокамер, их номинал не критичен, поскольку входное сопротивление видеовхода составляет 75 Ом. Несмотря на очевидную примитивность конструкции, результат превосходит ожидания. Самый существенный недостаток – невозможность автоматизировать процесс переключения источников или применить дистанционное управление. Для решения этой задачи придется использовать микросхему – коммутатор видеосигнала, их номенклатура весьма обширна.

Рассмотрим в качестве примера распространенный коммутатор NJM2235 (изготовитель – New Japan Radio Company). Микросхема предназначена для коммутации трех источников сигнала и выполнена по биполярной технологии. Выпускается в корпусах четырех типов, причем нумерация выводов для всех вариантов исполнения одинаковая. Для устройств «собственного приготовления» наиболее удобны корпуса DIP-8 (NJM2235D) и SIL-8 (NJM2235L).

Рис. 7.7. Микросхема NJM2235



Выбор входа	SW1	SW2
Video 1	H	H
Video 2	B	H
Video 3	H/B	B

H ≤ 0,8 в
B ≥ 2,4 в

В составе микросхемы имеется два каскадно включенных переключателя входов. При такой структуре третий вход обладает приоритетом, что можно использовать для автоматического включения камеры заднего вида. Видеосигнал через буферный каскад (коэффициент передачи – 0 дБ) подается на монитор. Благодаря низкому выходному сопротивлению микросхемы (10 Ом) можно использовать кабель длиной до нескольких метров без потери качества сигнала.

Управляющие входы SW1, SW2 имеют внутреннее соединение с общим проводом, поэтому в неподключенном состоянии на них присутствует логический нуль. Схема уп-

равления использует «положительную» логику, а датчик стояночного тормоза – «отрицательную», поэтому для нормальной работы его сигнал необходимо инвертировать. Для этого можно использовать диодно-резисторную цепочку (примеры интерфейсов приводятся далее). Для организации более сложных алгоритмов управления (включая автоматическое сканирование входов) можно использовать любые логические элементы – логические уровни и токи потребления по управляющим входам это позволяют. Наиболее удобны КМОП-элементы, поскольку для них не требуется отдельное напряжение питания 5 В, как для элементов серий ТТЛ и ТТЛШ. Напряжение питания микросхемы, кстати, может изменяться в весьма широких пределах – от 4,5 до 13 В, поэтому можно использовать и общий стабилизатор напряжения 5 В.

Рекомендуемое включение микросхемы и варианты реализации интерфейса приведены на рис. 7.8.

Рис. 7.8. Видеокоммутатор

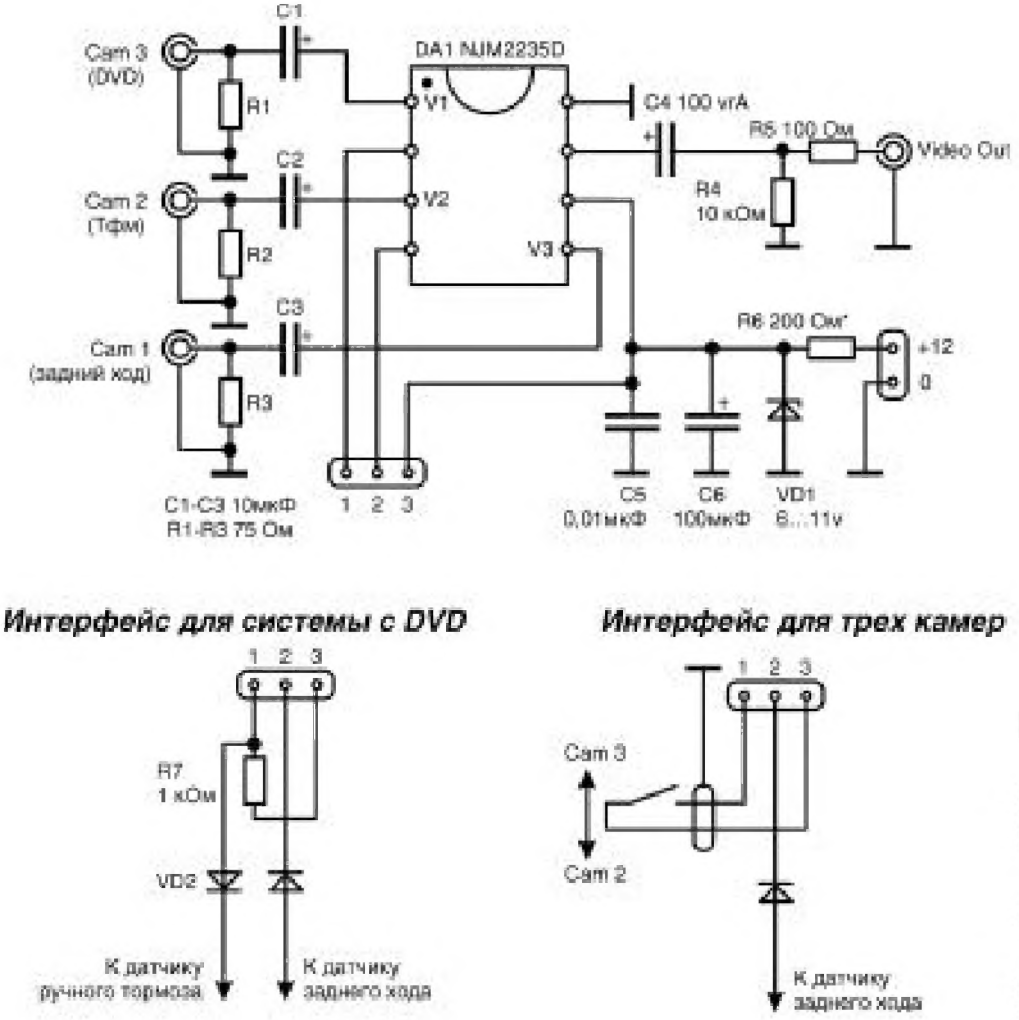


Схема предельно проста. Резисторы R1–R3 нормируют входное сопротивление, их величина без существенного влияния на качество изображения может изменяться от 68 Ом до 100 Ом. Согласование с волновым сопротивлением кабеля (75 Ом) важно лишь для DVD, но не для видеокамер. Резистор R5 устраняет влияние кабеля: при его емкости более 100 пФ непосредственное подключение может привести к высокочастотной генерации. Увеличивать сопротивление этого резистора нежелательно – снизится уровень сигнала.

Сопротивление резистора R6 выбирается таким, чтобы ток через него составлял 20–25 мА. В эту величину входит ток потребления микросхемы (10–12 мА), остаток – ток стабилитрона VD6. Его напряжение стабилизации должно быть в пределах 6–11 В, можно использовать отечественные стабилитроны Д814Б-Г, КС168, КС175. Применять интегральный стабилизатор напряжения нет смысла – ток потребления невелик, а микросхема не предъявляет высоких требований к стабильности питающего напряжения. Гораздо важнее обеспечить малый уровень пульсаций, а это вполне обеспечивает конденсатор C6. Его емкость можно увеличить до 220–470 мкФ. Конденсатор C5 предотвращает самовозбуждение и проникновение высокочастотных помех по цепям питания, его нужно размещать в непосредственной близости от микросхемы. Рабочее напряжение всех электролитических конденсаторов – 16 В, неуказанная мощность рассеяния резисторов – 0,125 Вт.

Первый вариант интерфейса предназначен для работы с DVD-проигрывателем и дополнительной камерой или навигационной системой. Вход 2 (дополнительная камера или навигационная система) постоянно включен напряжением высокого уровня, поступающим через резистор R9. Чтобы включить вход DVD, необходимо задействовать стояночный тормоз – в этом случае на управляющий вход через диод VD2 будет подано напряжение низкого уровня. При включении задней передачи напряжение +12 В через диод VD3 включает приоритетный вход камеры заднего вида. Второй вариант интерфейса использует ручной выбор дополнительных камер, включение камеры заднего вида – автоматическое.

Интерфейс некритичен к типам деталей. Диоды VD2, VD3 – любые маломощные (ток через диод не превышает 10 мА). Экранировать провод, ведущий к ручному переключателю, придется только в том случае, если длина провода превышает 2 м, причем соединять экран с общим проводом нужно именно на плате коммутатора. При меньшей длине вполне можно обойтись обычной витой парой или

даже «лапшой». При единичном изготовлении можно использовать навесной монтаж или расположить детали коммутатора и интерфейса на макетной плате, выполнив соединения тонким монтажным проводом. При мелкосерийном изготовлении лучше изготовить печатную плату.

Аналогичную структуру имеет микросхема BA7611 (изготовитель – ROHM). Ее основное отличие – усиление сигнала на 6 дБ и наличие режима блокировки всех входов (video Mute). Все входы равноправные, приоритета нет. Остальные характеристики практически совпадают с уже рассмотренной NJM2235 (рис. 7.9).

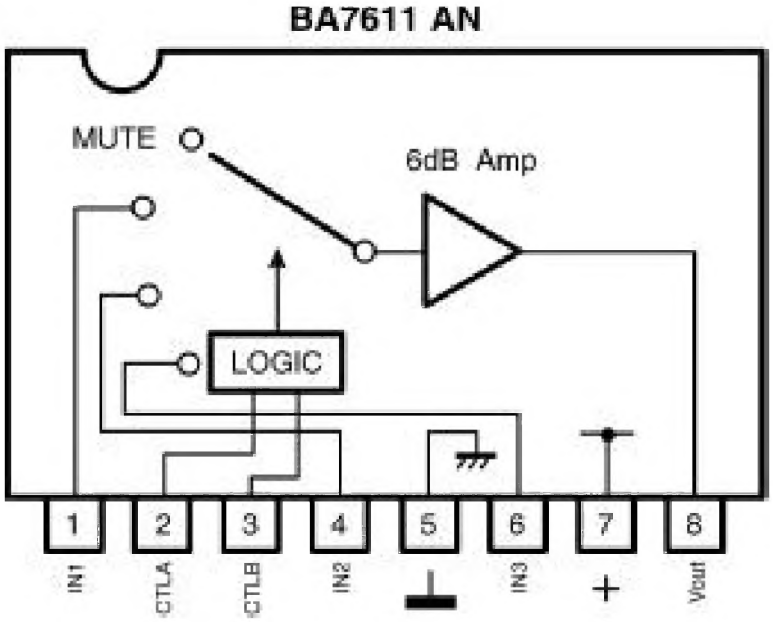


Рис. 7.9. Микросхема BA7611

CTL - A	CTL - B	OUT
L (OPEN)	L (OPEN)	IN1
L (OPEN)	H	IN2
H	L (OPEN)	IN3
H	H	MUTE

7.3. УСТРОЙСТВА ИНДИКАЦИИ

О роли устройств индикации в аудиосистеме единого мнения нет, да и быть не может. Начавшаяся еще в семидесятые годы среди «домашних» любителей музыки битва мнений распространилась и на car audio. С точки зрения довольно значительной группы «технарей», индикаторы со-

вершенно необходимы для объективного контроля эксплуатационных параметров системы. С точки зрения убежденных пуристов (таковых – меньшинство), любые индикаторы вообще не нужны, ибо отвлекают от главного – восприятия музыки. По-своему они правы, но машина – не то место, где можно отрешиться от всего земного...

Наконец, для большинства слушателей (порой даже не догадывающихся о реальном назначении индикаторов) это элемент оформления, свидетельствующий об определенном техническом уровне аудиосистемы. Особые впечатления (а порой и ностальгию) вызывают индикаторы, неторопливо покачивающие стрелками в такт музыке. Традиции невероятно сильны, и производители аппаратуры вынуждены были учесть этот фактор – светодиодные и люминисцентные индикаторы после многолетнего триумфа отступили на второй план, наступил «ренессанс стрелки».

Индикатор выходной мощности – вещь красивая и полезная одновременно. Даже приблизительная оценка выходной мощности помогает как в процессе настройки, так и в повседневной эксплуатации системы. Это поможет избежать перегрузки и в конечном итоге выхода из строя усилителей или акустики. А если предусмотреть еще индикацию дополнительных параметров (напряжения бортовой сети, потребляемого тока, температуры), то для автомобильной аудиосистемы это просто находка. Самое интересное, что все перечисленные индикаторы используются в car audio давно, но по отдельности и в ничтожно малых количествах. Комбинированных же устройств до недавнего времени просто не было.

В современных автомобильных усилителях индикаторы используют все чаще, даже в бюджетных моделях [106]. Вот только посмотреть на эту красу удается не всегда – стоит усилитель обычно в багажнике, поэтому польза индикатора, мягко говоря, сомнительная. Совсем другое дело, если он стоит на панели приборов. Широко известный в узких кругах блок индикации выходной мощности McIntosh погоды не делает, ибо его своеобразный дизайн автоматически предполагает остальные компоненты той же марки. Поэтому энтузиастам car audio до недавнего времени приходилось идти на различные ухищрения – ампутировать и переносить на панель приборов встроенные в усилители блоки индикации, или изготавливать свои собственные конструкции [102].

Но сегодня особой необходимости в этом нет. Появившиеся недавно многофункциональные индикаторные блоки FUNKY LM-402 и LM-405 решают сразу несколько задач (рис. 6.49) [93]. Помимо основной работы – измерения

Рис. 7.10. Комбинированные индикаторы FUNKY

уровня сигнала в двух каналах, они «по совместительству» показывают напряжение бортовой сети и температуру. Шкала стрелочного прибора оцифрована в децибелах и обеспечивает наглядную индикацию уровня сигнала.

Блок индикации уровня сигнала оснащен автокалибратором чувствительности на базе микроконтроллера (см. рис. 7.11). При появлении на выводах 17, 18 сигнала перегрузки микроконтроллер U1 уменьшает коэффициент усиления масштабного усилителя U6 (он определяется коммутируемыми резисторами R1...R8 в цепи ООС). Это позволяет без какой-либо настройки подключаться к линейным выходам с номинальным напряжением от 0,1 до 4,0 В.

Входной сигнал без изменений передается на линейный выход (принципиальной разницы между входом и выходом нет – гнезда соединены между собой напрямую). Если же источник сигнала не оснащен линейным выходом – не беда, в блоке индикации есть входы высокого уровня. Благодаря автокалибратору это позволяет подключать индикатор не только к усилителю магнитолы, но и к внешнему усилителю мощностью до 50 Вт. Такое подключение в ряде случаев может оказаться более удобным, чем подключение по линейному уровню (хотя бы в целях экономии экранированного провода).

Благодаря особенностям построения входного делителя прибор можно использовать и как устройство сопряжения: подать сигнал на вход высокого уровня, а снять с линейных гнезд RCA (2 пары). Это позволит без затрат состыковать головное устройство без линейных выходов и усилитель, не оснащенный входами высокого уровня. При этом нужно учитывать, что в случае мостового усилителя «головы» в выходном сигнале будет присутствовать не-

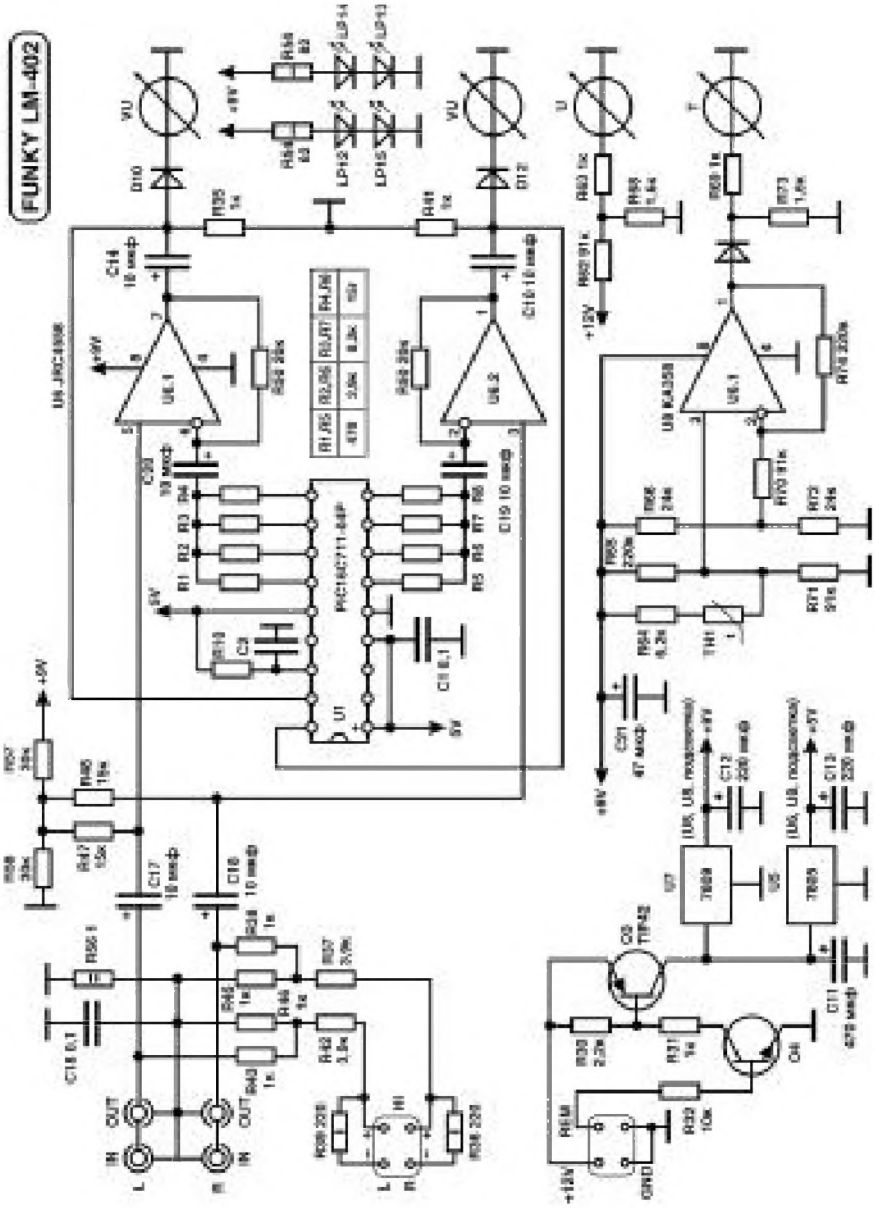


Рис. 7.11. Принципиальная схема индикатора FUNKY LM-402

большая постоянная составляющая (примерно 0,8–1 В) и вход усилителя должен быть оснащен разделительным конденсатором. В подавляющем большинстве усилителей он есть, но лучше проверить.

Если сигнал на входы высокого уровня подается не с мостового усилителя, а с обычного – достаточно исполь-

зовать только входные клеммы «+». Клеммы «–» можно подключить к общему проводу или оставить свободными. Если сигнал на входы высокого уровня подается с дополнительного усилителя, нужно использовать выходные клеммы, помеченные знаком BRIDGED.

Следующая полезная функция – измерение температуры. Использована классическая мостовая схема с терморезистором. Шкала прибора нелинейная. Тест показал, что точность измерения температуры в наиболее значимом диапазоне 40–70 градусов вполне достаточная. При температуре ниже 30 градусов показания прибора несколько занижены. Особых претензий к этому нет, все соответствует классу точности стрелочного прибора: цена деления – 10 градусов.

Термодатчик размещен на задней стенке блока. При установке совместно с головным устройством это позволит непосредственно измерять температуру его корпуса. Для измерения температуры удаленного усилителя термодатчик можно вынести за пределы блока. При длине провода более 30 см желательно использовать экранированную витую пару, экран которой соединить с корпусом индикатора. Для предотвращения наводок вход термодатчика на плате индикатора полезно зашунтировать керамическим или майларовым конденсатором емкостью 0,047–0,1 мкф.

Для поддержания заданной точности измерений все узлы прибора питаются стабилизированным напряжением. В блоке питания использованы два стабилизатора: пятивольтовый для питания микроконтроллера и девятивольтовый – для всех остальных цепей, включая светодиоды подсветки. Для управления включением используется сигнал Remote. Ток потребления во включенном состоянии – не более 0,1 А, львиная доля его идет на подсветку.

Наконец, вольтметр. В отличие от остальных индикаторов, он включен постоянно, независимо от положения ключа зажигания и состояния аудиосистемы. Никаких вредных воздействий это не оказывает, поскольку потребляемый им ток ничтожен – намного меньше миллиампера. Зато в любой момент можно оценить состояние аккумулятора, что весьма полезно. При проверке показания вольтметра оказались несколько занижены, но точность вполне укладывается в пятипроцентный допуск.

Однако габариты или дизайн промышленных изделий могут не устраивать конструктора. В этом случае можно изготовить блок индикации своими руками и на свой вкус, поскольку для этого не требуется ни высокой квалификации, ни сложного оборудования. Помимо узлов рассмот-

ренного прибора, можно использовать приводимые далее схемы [102]. Они предельно упрощены, что идет на пользу надежности. Оборотная сторона этой простоты – необходимость подбора некоторых элементов при настройке. Это вполне оправдано при штучном изготовлении, но к серийному производству эти схемы малопригодны.

Все предлагаемые индикаторы мощности подключаются к выходу усилителя. Можно использовать как отдельные индикаторы для каждого канала, так и общий индикатор суммарной мощности двух и более каналов. Такая индикация нагляднее и удобнее, чем раздельная по каналам. А если каналов пять или шесть, то сколько же глаз нужно? Во всяком случае, больше двух-трех индикаторов устанавливать не стоит. В шестиканальном усилителе McIntosh их всего два: один показывает суммарную мощность каналов с первого по четвертый, второй – пятого и шестого, более мощных.

7.3.1. Стрелочные индикаторы выходной мощности

Стрелочные индикаторы наиболее просты. Для их изготовления требуется минимум деталей и квалификации, особенно если использовать «фирменный» измерительный прибор с красивой шкалой. Впрочем, в наше время изготовление самодельной шкалы трудности не представляет – ее можно напечатать на принтере и наклеить поверх старой. В качестве основы проще всего использовать стрелочные индикаторы от магнитофонов старых типов или малогабаритные щитовые измерительные приборы магнитоэлектрической системы с током полного отклонения 0,25...1 мА. Приборы электромагнитной системы (например, автомобильные вольтметры) и миллиамперметры с током полного отклонения более 5 мА для наших целей непригодны.

На рис. 7.12 приведена схема простейшего стрелочного индикатора. При необходимости число каналов можно увеличить, добавив резисторы и диоды, показанные пунктиром. При использовании индикатора совместно с усилителем магнитолы последовательно с резисторами R1, R2 нужно включить электролитические конденсаторы емкостью 47...100 мкФ («плюсом» к магнитоле). Можно также использовать «mixed mono» для пары каналов, при этом конденсаторы не потребуются, а цепочку R2VD2 можно исключить.

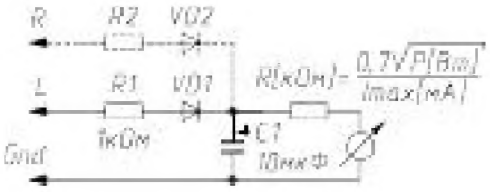


Рис. 7.12. Простейший индикатор выходной мощности

Сопротивление резистора, включенного последовательно с прибором, зависит от тока полного отклонения. Примерное значение сопротивления можно найти по приведенной на рисунке формуле. Точное значение следует скорректировать при настройке по необходимому отклонению стрелки при заданной мощности. Остальные детали можно использовать любых типов. Сглаживающий электролитический конденсатор должен быть рассчитан на рабочее напряжение не ниже 25 В при измерении мощности до 15 Вт и не ниже 50 В при большей мощности. Запас по напряжению нужен потому, что конденсатор используется в цепи переменного тока. Подбирая его емкость в пределах 1...100 мкФ, можно регулировать время обратного хода стрелки на любой вкус.

Недостаток схемы – малый динамический диапазон, не превышающий 10 дБ. Для магнитолы этого хватит, но при работе с усилителем большой мощности стрелка будет заметно отклоняться лишь на пиках сигнала. В этом случае лучше применить схему, показанную на рис. 7.13.

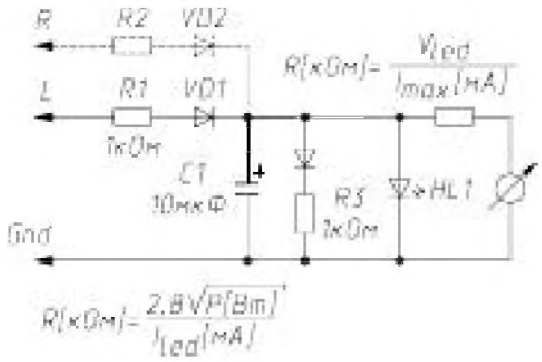


Рис. 7.13. **Индикатор с расширенным динамическим диапазоном**

Ее основное отличие от рассмотренного – расширитель динамического диапазона на диоде VD1 и светодиоде HL1. Как только выпрямленное напряжение на конденсаторе C1 достигает значения 0,7 В, диод открывается и дальнейший рост напряжения замедляется резистором R3. Подбирая его сопротивление в пределах 100 Ом...10 кОм, можно регулировать «ход» шкалы в средней части. Следующее ограничение наступает в момент зажигания светодиода, и дальнейший рост напряжения практически прекращается. Светодиод при этом можно использовать как индикатор перегрузки. Сопротивление резисторов на входе определяется максимальной мощностью усилителя и током примененного светодиода. Расчетная формула приведена на рисунке, точное значение сопротивления следует скорректировать по моменту зажигания светодиода при максимальной мощности.

Сопротивление резистора, включенного последовательно с прибором, можно найти по второй формуле. Точное значение следует скорректировать при настройке по необходимому отклонению стрелки в момент зажигания светодиода. Напряжение на красном светодиоде составляет примерно 1,6 В, на более ярком желто-оранжевом – примерно 2,5 В. Остальные детали можно использовать любых типов. Сглаживающий электролитический конденсатор может быть рассчитан на рабочее напряжение 6,3...10 В, поскольку напряжение на нем ограничено светодиодом. Подключается индикатор так же, как и предыдущий.

Динамический диапазон такого индикатора можно легко довести до 20 дБ, для дальнейшего расширения динамического диапазона уже требуется специальная схема управления с логарифмическим усилителем, а это решение выходит за рамки простейших.

7.3.2. Светодиодные индикаторы выходной мощности

Конструкция светодиодных индикаторов несколько сложнее и требует для повторения некоторых навыков. Конечно, при использовании специальной микросхемы управления конструкцию можно упростить до предела, но тут притаилась маленькая неприятность. Большинство таких микросхем развивают на выходе ток не более 10 мА, и яркость светодиодов в условиях автомобиля может оказаться недостаточной. Кроме того, наиболее распространены микросхемы с выходами на 5 светодиодов, а это только «программа-минимум». Поэтому для наших условий схема на дискретных элементах предпочтительней, ее можно расширять без особых усилий.

Предлагаемым индикаторам уровня свойствен один недостаток. Поскольку в конструкции использованы пороговые элементы с гладкой амплитудной характеристикой, момент зажигания светодиодов четко не определен. Однако заметно это только на синусоидальном сигнале, при воспроизведении музыки работа индикаторов достаточно четкая.

Простейший индикатор на светодиодах (рис. 7.14) не содержит активных элементов и в питании поэтому не нуждается. Подключение – к магнитоле по схеме «mixed mono» или с разделительным конденсатором, к усилителю – «mixed mono» или напрямую.

Схема предельно проста и не требует налаживания. Единственная процедура – подбор резистора R7. На схеме указан номинал для работы со встроенными усилителями головного устройства. При работе с усилителем мощностью 40...50 Вт сопротивление этого резистора должно быть

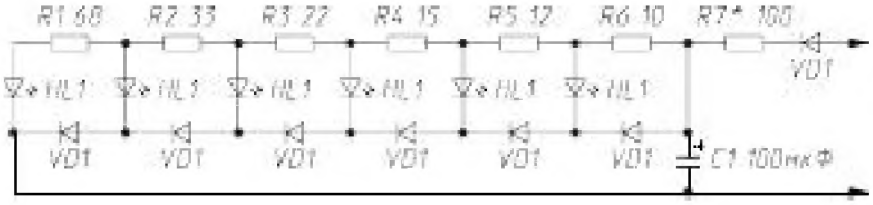


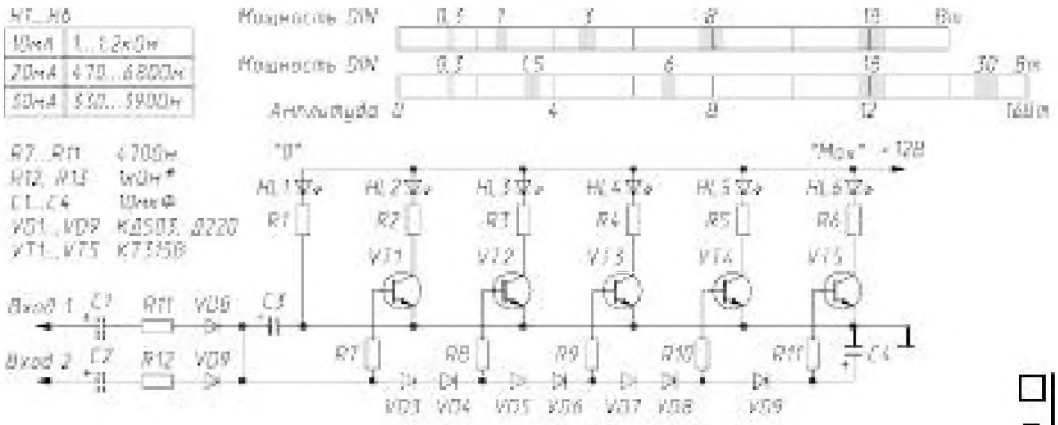
Рис. 7.14. **Простейший индикатор выходной мощности на светодиодах**

270...470 Ом. Диоды VD1...VD7 любые кремниевые с прямым падением напряжения 0,7...1 В и допустимым током не менее 300 мА.

Светодиоды любые, но одного типа и цвета свечения с рабочим током 10...15 мА. Поскольку светодиоды питаются от выходного каскада усилителя, их количество и рабочий ток увеличить в этой схеме нельзя. Поэтому придется выбрать «яркие» светодиоды или найти для индикатора такое место, где он будет защищен от прямого освещения. Еще один недостаток простейшей конструкции – малый динамический диапазон.

Для улучшения работы необходим индикатор со схемой управления. Помимо большей свободы в выборе светодиодов можно простыми средствами сформировать шкалу любого типа: от линейной до логарифмической, или «растянуть» только один участок. Схема индикатора с логарифмической шкалой приведена на рис. 7.15. Пунктиром показаны необязательные элементы.

Рис. 7.15. **Индикатор выходной мощности с логарифмической шкалой**



Светодиоды в этой схеме управляются ключами на транзисторах VT1...VT5. Пороги срабатывания ключей задают диоды VD3...VD9. Подбирая их количество, можно изменять динамический диапазон и тип шкалы. Общую чувствительность индикатора определяют резисторы на входе устройства. На рисунке приведены примерные пороги срабатывания для двух вариантов схемы – с одиночными и «сдвоенными» диодами. В основном варианте диапазон

измерения до 30 Вт на нагрузке 4 Ом, с одиночными диодами – до 18 Вт.

Светодиод HL1 светится постоянно, он обозначает начало шкалы, HL6 – индикатор перегрузки. Конденсатор C4 задерживает на 0,3...0,5 секунды погасание этого светодиода, что позволяет заметить даже кратковременную перегрузку. Накопительный конденсатор C3 определяет время обратного хода. Оно, кстати, зависит от количества светящихся светодиодов – «столбик» от максимума начинает спадать быстро, а потом «притормаживает». Конденсаторы C1, C2 на входе устройства нужны только при работе со встроенным усилителем магнитолы. При работе с «нормальным» усилителем их исключают. Количество сигналов на входе можно увеличить, добавив цепочки из резистора и диода. Количество ячеек индикации можно увеличить простым «клонированием», главное ограничение – «пороговых» диодов должно быть не больше 10 и между базами соседних транзисторов должен быть хотя бы один диод.

Светодиоды можно использовать любые, в зависимости от требований – от одиночных светодиодов до светодиодных сборок и панелей повышенной яркости. Поэтому на схеме приведены номиналы токоограничивающих резисторов для разных рабочих токов. К остальным деталям никаких специальных требований не предъявляется, транзисторы можно использовать практически любые кремниевые структуры n-p-n с мощностью рассеяния на коллекторе не менее 150 мВт и двукратным запасом по току коллектора. Коэффициент передачи тока базы этих транзисторов должен быть не менее 50, лучше – выше 100.

Эту схему можно несколько упростить, при этом в качестве побочного эффекта появляются новые свойства, весьма полезные для наших целей (рис. 7.16).

В отличие от предыдущей схемы, где транзисторные ячейки были включены параллельно, здесь использовано последовательное включение «столбиком». Пороговыми элементами являются сами транзисторы, и открываются они по очереди – «снизу вверх». Но в данном случае порог срабатывания зависит от напряжения питания. На рисунке показаны примерные пороги срабатывания индикатора при напряжении питания 11 В (левая граница прямоугольников) и 15 В (правая граница). Видно, что с ростом напряжения питания больше всего смещается граница индикации максимальной мощности. В случае использования усилителя, мощность которого зависит от напряжения аккумулятора (а таких немало), подобная «автокалибровка» может принести пользу.

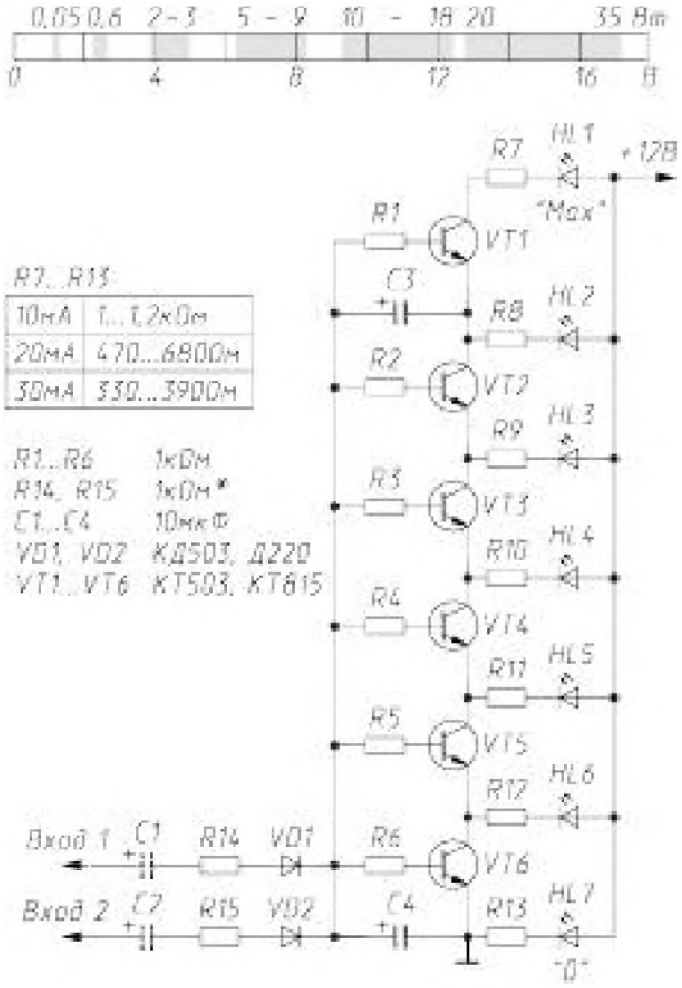


Рис. 7.16. **Индикатор выходной мощности с плавающей шкалой**

Однако плата за это – возросшая нагрузка на транзисторы. Через нижний по схеме транзистор протекает ток всех светодиодов, поэтому при использовании индикаторов с током более 10 мА транзисторы тоже потребуются соответствующей мощности. Клонирование ячеек еще более увеличивает неравномерность шкалы. Поэтому 6...7 ячеек – это предел. Назначение остальных элементов и требования к ним те же, что и в предыдущей схеме.

Слегка модернизировав эту схему, получим другие свойства (рис. 7.17). В отличие от ранее рассмотренных схем, здесь нет светящейся «линейки». В каждый момент времени светится только один светодиод, имитируя движение стрелки по шкале. Поэтому потребление энергии минимально, и в этой схеме можно применить маломощные транзисторы. В остальном схема не отличается от рассмотренных ранее.

Пороговые диоды VD1...VD6 предназначены для надежного отключения неработающих светодиодов, поэтому

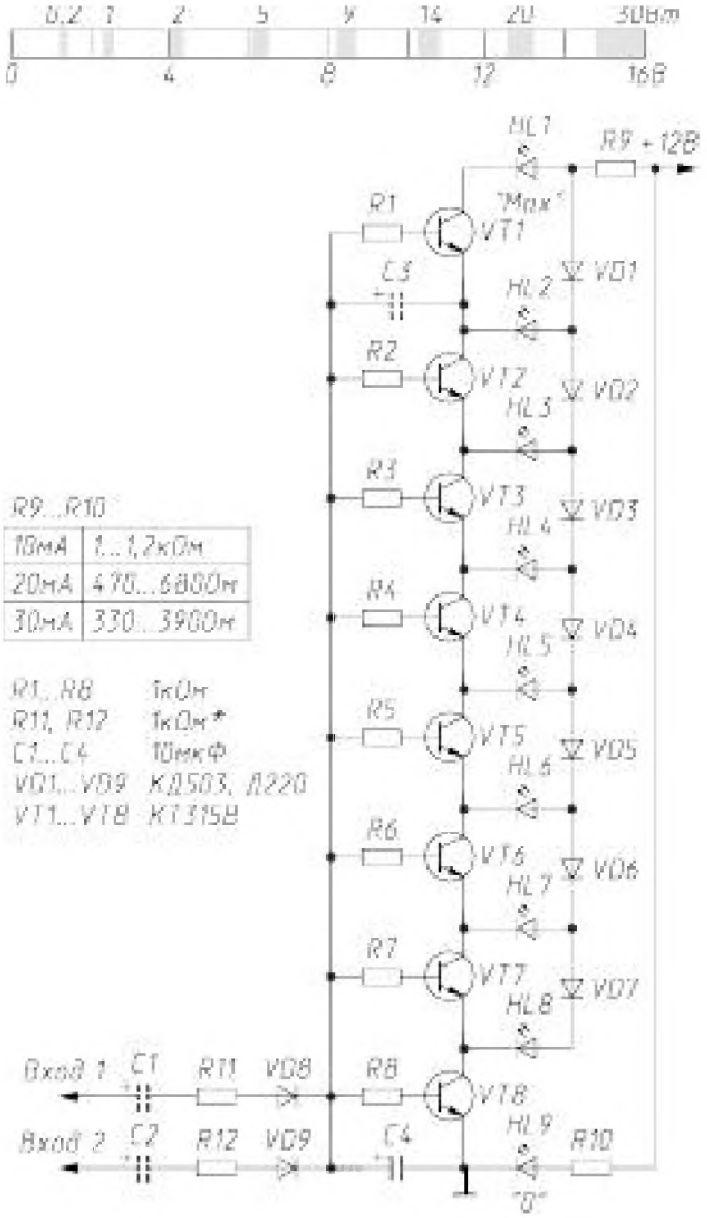


Рис. 7.17. Индикатор выходной мощности с имитацией стрелки

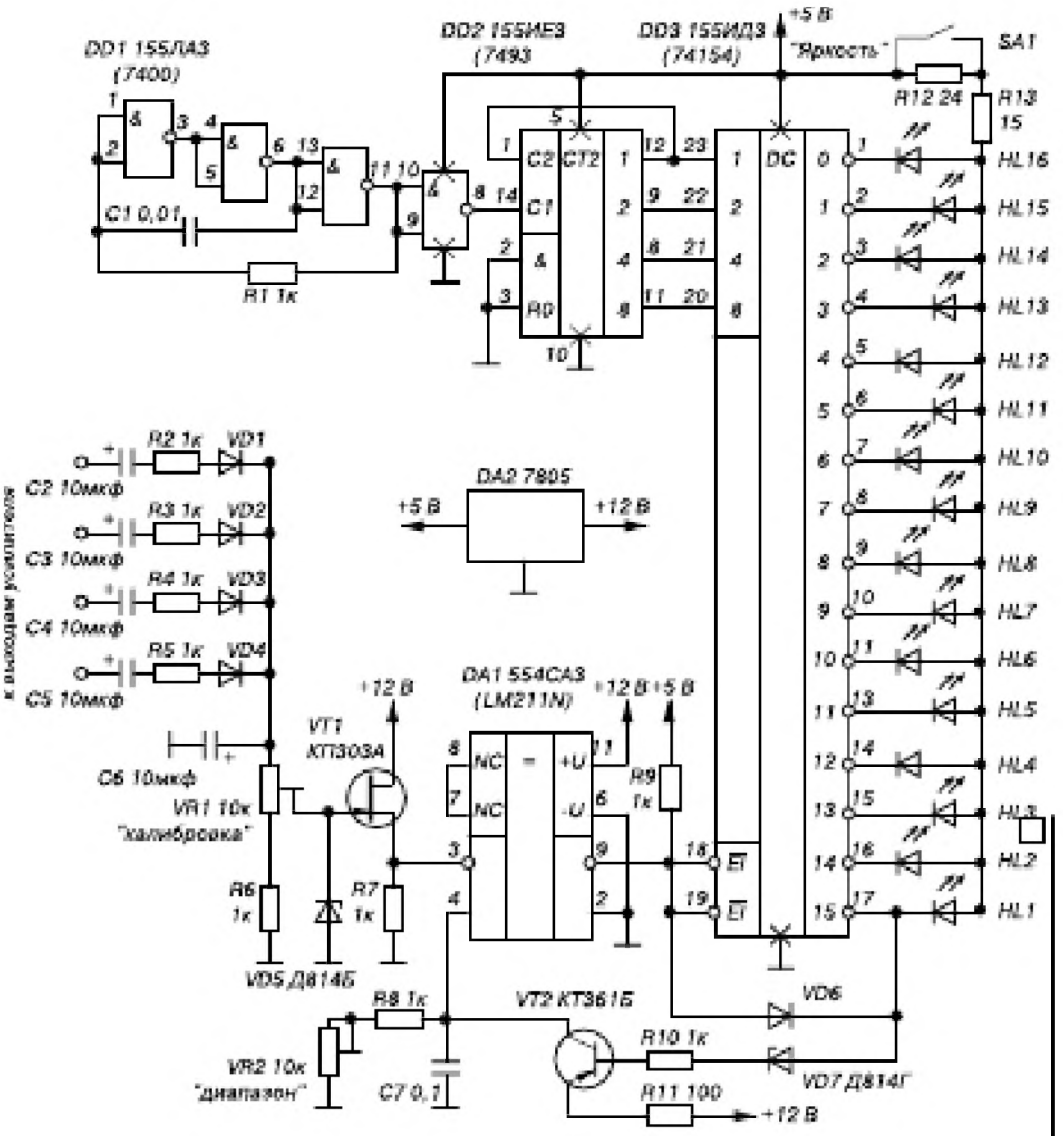
если будет наблюдаться слабая засветка лишних сегментов, необходимо использовать диоды с большим прямым напряжением или включить последовательно по два диода. Клонирование ячеек уменьшает яркость свечения верхних по схеме сегментов, для устранения этого недостатка вместо резистора R9 нужно вводить генератор тока. А мы договорились – не усложнять. Поэтому в данном случае 8 ячеек – это максимум.

Индикатор суммарной мощности с 16-сегментным табло можно выполнить на цифровых микросхемах (рис. 7.18). Используется оригинальный принцип цифроаналогового пре-

образования с логарифмической шкалой, динамический диапазон в зависимости от регулировки может достигать 30 дБ.

Компаратор DA1 сравнивает напряжение на выходе истокового повторителя с экспоненциально спадающим опорным напряжением на конденсаторе C7 (рис. 7.19). Одновременно цифровая часть (тактовый генератор DD1, счетчик DD2 и дешифратор DD3) осуществляет «перебор» выходов дешифратора. Результат сравнения через равные промежутки времени поступает на вход разрешения индикации дешифратора.

Сигнал низкого уровня с последнего выхода дешифратора открывает транзистор VT2, который формирует оче-



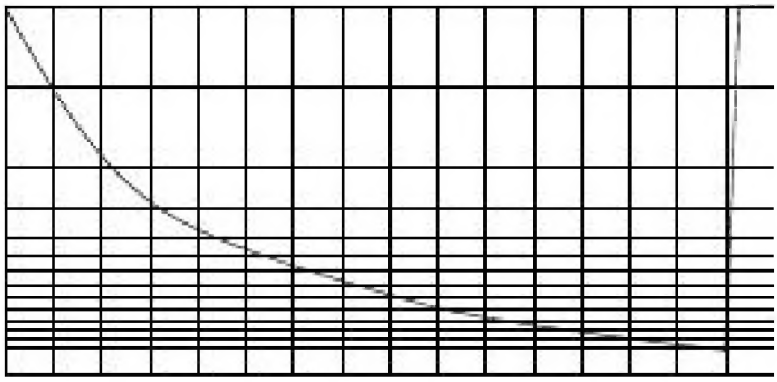


Рис. 7.19. Форма напряжения на конденсаторе C7

редной импульс опорного напряжения. Диод VD6 фиксирует сигнал разрешения индикации (и открытое состояние VT2) на время одного периода тактовой последовательности, поскольку с началом зарядки C7 компаратор возвращается в исходное состояние. Цифровая часть устройства питается от стабилизатора напряжения 5 В (DA2).

При налаживании необходимо подобрать резистором VR2 такую скорость разрядки конденсатора, чтобы в отсутствие сигнала горел только один светодиод HL1. Это самый ответственный этап, от него зависят динамический диапазон индикации и четкость срабатывания на малых уровнях. После этого устанавливают чувствительность индикатора резистором VR2.

7.3.3. Питание

Индикаторы, потребляющие ток менее 150...200 мА, вполне можно питать от выхода Remote головного устройства. Напряжение там на 0,5...1 В меньше, чем в бортовой сети, но это на работе устройств никак не скажется. Если же потребляемый индикатором ток больше, придется использовать маломощное реле типа РЭС-55, РЭС-10 (рис. 7.20а) или собрать электронное реле (рис. 7.20б).

И коль речь зашла о питании, неплохо бы снабдить аудиосистему собственным вольтметром. Даже если он есть в штатном оборудовании автомобиля, при выключенном зажигании он не работает. К тому же напряжение он измеряет в какой-то неведомой точке. В отечественных автомобилях на его показаниях сказывается решительно все: от включенных «поворотников» до мигающей лампочки ручного тормоза. Для наших же целей лучше измерять напряжение на клеммах аккумулятора или на буферном конденсаторе – где будет удобнее.

Простой стрелочный вольтметр не подходит – у него линейная шкала, а все, что ниже 10...11 В, нам неинтересно. Порядочное головное устройство блокируется или «зависа-

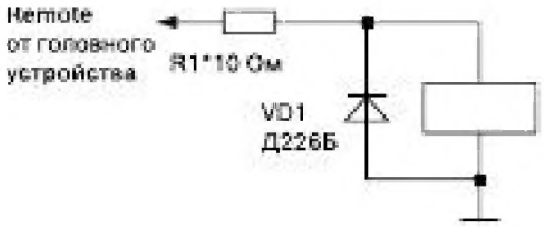
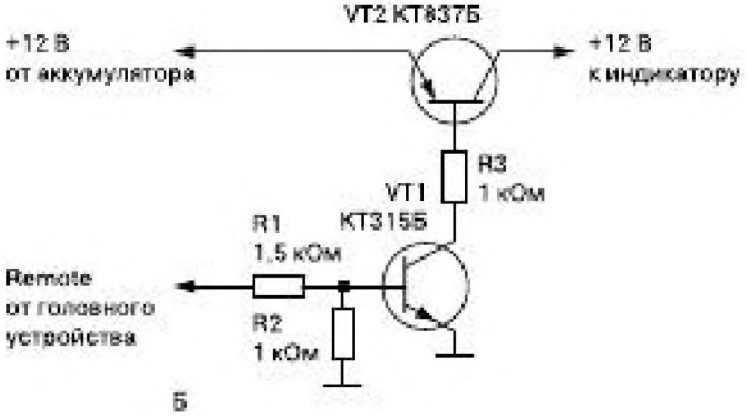


Рис. 7.20. Подключение электромагнитного реле (а) и электронное реле (б)

А



Б

ет», если напряжение в бортовой сети опускается до этих пределов. Поэтому шкалу надо растянуть, чтобы она напоминала шкалу обычного автомобильного вольтметра на щитке приборов. Кстати, «обычный автомобильный» для этой цели использовать можно, но не стоит. Он потребляет от бортовой сети достаточно приличный ток (несколько десятков миллиампер), почему и включен через замок зажигания. А нам нужен вольтметр, работающий постоянно или хотя бы независимо от зажигания. Схема такого прибора приведена на рис. 7.21.

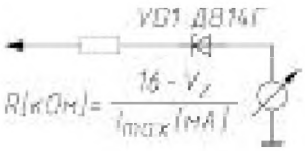


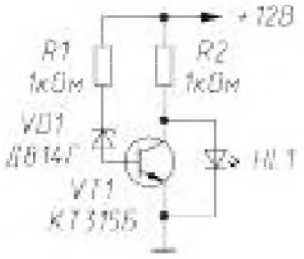
Рис. 7.21. Вольтметр с растянутой шкалой

Стабилитрон с напряжением стабилизации около 10,5...11 В обеспечивает «растяжку» шкалы, резистором вольтметр калибруется по необходимому отклонению стрелки при максимальном напряжении в бортовой сети (14,5...16 В). Шкалу придется строить по точкам, используя регулируемый источник питания и эталонный вольтметр.

Если точные значения не требуются, можно ограничиться только определением границ «зеленого» и «красного» секторов. Потребляемый ток определяется током отклонения индикатора (меньше миллиампера), поэтому вольтметр вполне можно сделать неотключаемым – электромеханические часы или сигнализация потребляют намного больше.

Для светодиодного индикатора мощности больше подойдет следующая схема (рис. 7.22).

Рис. 7.22. **Светодиодный индикатор напряжения**



Принцип действия тот же, что и у предыдущей схемы. Пока напряжение в бортовой сети в норме, транзистор открыт и шунтирует светодиод. Как только напряжение снизится до напряжения стабилизации стабилитрона, транзистор закроется и светодиод вспыхнет, сигнализируя о проблеме. Для лучшей заметности можно использовать «мигающий» светодиод со встроенной схемой управления. Порог срабатывания определяется стабилитроном, поэтому для точной настройки его придется подбирать. В отличие от предыдущей, эта схема потребляет больший ток, определяемый резистором R2. Хотя он и невелик (порядка 10 мА), лучше питать ее от выхода Remote, учитывая потери напряжения на нем.

Если пойти этим путем дальше, можно поставить еще и термометр, измеряющий температуру усилителя (или водителя). Так что пока остановимся на этом.

7.3.4. Конструкция

При отладке конструкций можно использовать подстроечные резисторы, но в готовую схему их переносить не стоит – надежность может пострадать, особенно при использовании малогабаритных потенциометров открытого типа. Лучше измерить установленное сопротивление цифровым прибором и впаять постоянный резистор нужного номинала.

Стрелочные индикаторы содержат минимум деталей, поэтому их можно собрать навесным монтажом, приклеив детали прямо к корпусу измерительного прибора. Шкалу можно отпечатать на цветном принтере (в доисторические времена приходилось чертить ее тушью и раскрашивать).

Готовые светодиодные шкалы и табло удобны в работе, но позволяют получить только «линейку» или «столбик». Если же нужна шкала ломаной или криволинейной формы, ее придется выполнить из одиночных светодиодов. Их нужно вклеить в переднюю (несущую) панель индикатора, закрыть шкалой с отверстиями (трафаретом), а сверху – тонким оргстеклом или прозрачной пленкой. Неплохие стекла и даже целые корпуса получаются из коробок от компакт-дисков или кассет. Для фиксации светодиодов можно использовать плотную посадку или клей.

Для светодиодных индикаторов лучше использовать монтаж на плате – деталей немало. Делать полноценную печатную плату ради единственной конструкции имеет смысл только при наличии опыта, поэтому можно воспользоваться для монтажа деталей макетной платой промышленного изготовления. На ней размещают детали, а соединения делают тонким монтажным проводом. В крайнем случае, можно разместить детали на листе тонкого текстолита или картона, пропустить выводы на обратную сторону и соединить их по схеме, используя как сами выводы, так и монтажный провод. Монтажную плату можно объединить в одно целое с панелью светодиодов. Готовую схему после настройки следует промыть от остатков флюса спиртобензиновой смесью (берегите пластиковые детали индикатора!) и покрыть лаком для защиты от окисления. При желании можно даже залить все в «кубик» из эпоксидной смолы...

Ну и напоследок. Индикатор – не измеритель мощности, а только указатель. Поэтому к его показаниям нужно относиться с осторожностью, хотя шкалу можно откалибровать.

7.4. УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ПИТАНИЕМ

При создании разветвленной аудиосистемы, состоящей из нескольких активных компонентов (источников сигнала, усилителей, устройств обработки), или при доработке штатной аудиосистемы нередко возникает необходимость формировать управляющие напряжения. Ниже рассмотрены несложные схемы, решающие эту задачу.

7.4.1. Распределитель управляющего напряжения

В системах с несколькими активными компонентами нередко возникает проблема: помехи (щелчки или хлопки в динамиках) при включении или выключении (а если

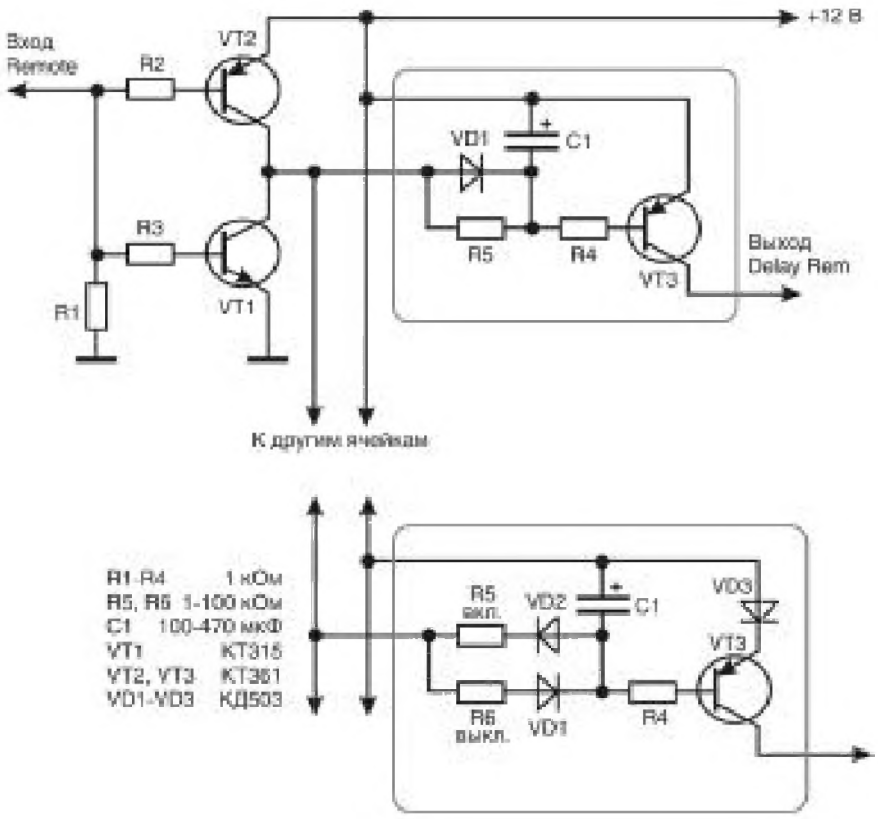
очень «повезет» – то в обоих случаях). Помехи вызваны отличающимся временем выхода устройств на рабочий режим, и проблема иногда может возникнуть даже при использовании компонентов одного производителя.

Для устранения помехи нужно реализовать определенный порядок включения и выключения всех активных компонентов. Так, например, при включении системы, состоящей из процессора-предусилителя и усилителей мощности, сначала нужно включить процессор, а по окончании переходных процессов – усилители. При выключении системы – наоборот, усилитель должен выключаться первым.

Решить проблему можно регулировкой цепей, отвечающих за задержку включения и выключения компонентов. Однако это не всегда возможно, да и схемы устройств чаще всего недоступны. Удобнее использовать отдельный распределитель управляющего напряжения. Такие устройства выпускаются серийно (например, распределитель Phoenix Gold tiDD10 на 10 устройств), но не всегда доступны и достаточно дороги. С проблемой поможет справиться самодельный распределитель.

Схема одного из возможных вариантов приведена на рисунке. Первый каскад на транзисторах VT1, VT2 – формирователь управляющего напряжения. В состоянии покоя

Рис. 7.23. Распределитель управляющего напряжения



VT1 открыт током смещения через резисторы R1, R2, а VT2 – закрыт. При подаче управляющего напряжения (2–12 В) VT2 открывается, а VT1 – закрывается. Формирователь обеспечивает на выходе напряжения, близкие к 0 и напряжению питания, что исключает влияние величины управляющего напряжения remote (у головных устройств разных типов оно может быть в диапазоне 9–12 В).

Следующий каскад – управляющая ячейка (по числу активных компонентов). В состоянии покоя конденсатор C1 разряжен, транзистор VT3 закрыт, управляющее напряжение на выходе отсутствует. При включении системы конденсатор медленно заряжается через резистор R5, и когда напряжение на нем достигнет примерно 1 В, транзистор VT3 откроется, на выходе появится управляющее напряжение. При выключении системы конденсатор быстро разряжается через диод VD1, управляющее напряжение исчезает.

Время задержки определяется произведением C1 × R5. Если нужно регулировать не только время включения, но и время выключения, управляющую ячейку лучше выполнить по схеме, приведенной внизу. Диоды VD1 и VD2 развязывают времязадающие резисторы R5 и R6. Диод VD3 фиксирует потенциал эмиттера VT3, гарантируя его надежное закрывание.

Время задержки (в секундах) можно ориентировочно оценить по формуле $T = 0{,}003RC$, где R – в килоомах, C – в микрофарадах.

Схема некритична к типам деталей: можно использовать любые маломощные транзисторы соответствующей структуры и маломощные диоды. Стабильность выдержки зависит от типа (температурного диапазона) времязадающего конденсатора. Для получения большого времени задержки лучше увеличивать его емкость, а не сопротивление резистора. При сопротивлении резистора R5 более 50 кОм открывание транзистора VT3 может быть неполным, и понадобится экземпляр с большим коэффициентом передачи тока (>100).

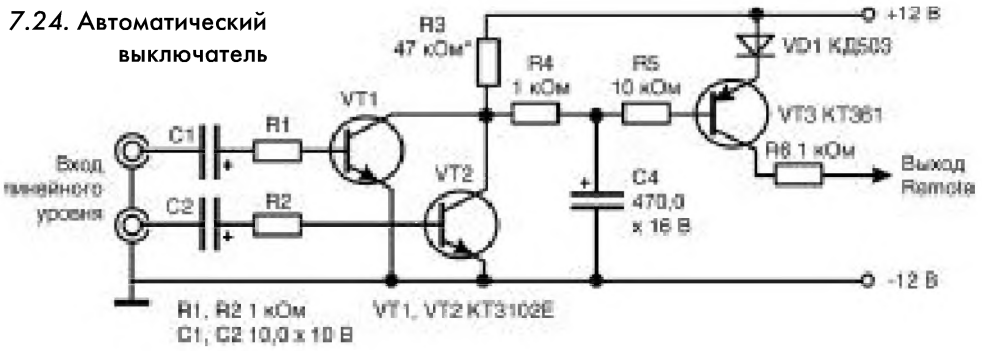
7.4.2. Автоматический выключатель

В некоторых усилителях и активных сабвуферах предусмотрено автоматическое включение без входа remote – при поступлении сигнала со входов высокого уровня. Сигнал с «колоночных» выходов, как известно, содержит постоянную составляющую, примерно равную половине напряжения питания, – на нее и реагирует схема включения. Но такой режим можно организовать и для сигнала линейного уровня. Это может оказаться практичным и в целях

экономии энергии аккумулятора – на длительных паузах усилитель «уснет».

Предлагаемый вариант автоматического выключателя предназначен для головных устройств с напряжением на линейном выходе не менее 2 В. В отсутствие сигнала конденсатор С3 заряжен практически до напряжения питания,

Рис. 7.24. Автоматический выключатель



транзистор VT3 надежно закрыт (потенциал его эмиттера зафиксирован диодом VD1). При появлении на любом из входов сигнала с амплитудой более 0,5 В открывшийся транзистор VT1 или VT2 быстро разряжает конденсатор С3 через резистор R4, транзистор VT3 открывается, и на выходе появляется управляющий сигнал. Резистор R6 защищает транзистор VT3 от случайного замыкания в цепи управления. В паузах или при малом уровне сигнала транзисторы VT1, VT2 закрыты и конденсатор С3 медленно заряжается через резистор R3. Через несколько десятков секунд (зависит от реальной емкости конденсатора и токов утечки) напряжение возрастет, и транзистор VT3 закроется. При появлении сигнала процесс повторится.

Если время удержания мало, можно увеличить емкость конденсатора С3 и (или) сопротивление резистора R3. Для увеличения чувствительности устройства к слабым сигналам можно включить резисторы сопротивлением 1–2 МОм между коллектором и базой транзисторов VT1, VT2. Однако падение напряжения на резисторе R3 в отсутствие сигнала не должно превышать 1 В – иначе транзистор VT3 откроется. Для повышения чувствительности можно использовать в роли VT1, VT2 старинные германиевые транзисторы серии МП35–МП38, они отлично работают без смещения. Но термостабильность на жаре может оказаться недостаточной.

Можно доработать схему и для цифрового сигнала (SP\dif coaxial). В этом случае ее можно значительно упростить. Цифровой сигнал на этом выходе есть всегда: хоть пауза, хоть музыка – пакеты данных идут. Уровни ТТЛ, амп-

литуда сигнала 4–5 В, поэтому емкость времязадающего конденсатора можно уменьшить в несколько раз. Кроме того, нужно удалить один из транзисторов VT1 или VT2 (и связанные с ним детали в цепи базы). Сопротивление базового резистора R1(R2) оставшегося каскада рекомендуется увеличить до 4,7–10 кОм (чтобы не нагружать цифровой выход, если с него еще снимается сигнал на ЦАП). А емкость конденсатора C1(C2), наоборот, можно уменьшить до 0,1 мкФ и даже менее – частота импульсов высокая, пройдут беспрепятственно.

7.5. ПРОВОДНОЕ ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

У многих современных автомобилей на руле есть пульт дистанционного управления ресивером. Вещь удобная, но работает только со штатным головным устройством. При замене ресивера другим пульт становится бесполезным. Адаптеры для сопряжения штатных пультов некоторых автомобилей с некоторыми головными устройствами существуют – но, как заметил Ильич, «узок их круг, страшно далеки они от народа».

Воспользуемся советом того же автора и пойдем другим путем. Многие головные устройства могут работать с проводным пультом дистанционного управления. Почему бы не довести штатный пульт до нужной кондиции? Работа эта несложная и не требует особой квалификации.

Пульты проводного дистанционного управления бытовой аппаратурой получили распространение в конце 70-х годов прошлого века, но толстый многожильный кабель оказался очень неудобным. Фирма SONY разработала свой вариант пульта, который подключался всего двумя проводами, а число передаваемых команд при сохранении помехоустойчивости доходило до десяти. По тем временам этого хватало с избытком. Потом идею стали использовать и другие производители, но появление беспроводных ИК-пультов надолго похоронило ее. Возродились проводные пульты ДУ в автомагнитолах Sony – в автомобиле провод не помеха, пульт может иметь постоянное место жительства.

Распространенный джойстик SONY RM-X4S – всего лишь набор резисторов, выбираемых кнопками. Принцип работы очень простой: в головном устройстве стоит источник стабильного тока или даже просто токозадающий резистор. При включении в цепь одного из резисторов пульта образуется определенное падение напряжения, которое поступает на пороговую схему (компараторы по числу команд). Остается выбрать из нескольких сработавших компаратор с максимальным номером, эту задачу решают

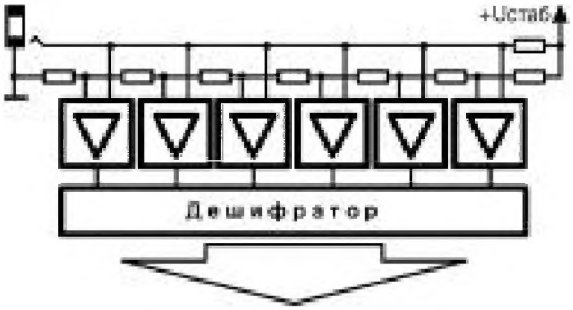


Рис. 7.25. Принцип работы проводного ДУ

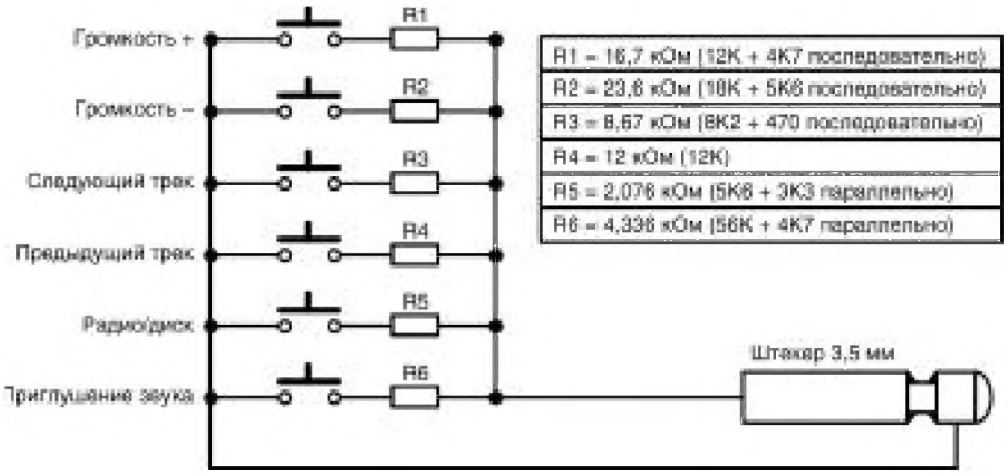


Рис. 7.26. Схема пульта проводного ДУ

логические элементы или микропроцессор. У каждого компаратора есть определенное «окно» срабатывания, поэтому система не чувствительна ни к разумному отклонению номиналов резисторов, ни к воздействию температуры, колебаний напряжения и прочих дестабилизирующих факторов.

Предлагаемый вариант подходит к любой магнитоле, совместимой с проводным пультом SONY RM-X4S. Если у магнитолы штатный пульт другой, но использует тот же принцип – потребуется подобрать свои номиналы сопротивлений. Определить точные значения сопротивления для каждой команды можно самостоятельно – достаточно подключить вместо пульта переменный резистор сопротивлением 30–50 кОм и, плавно поворачивая его, засечь моменты исполнения команд и границы «окон». Сопротивление нужно измерять цифровым мультиметром. Далее остается подобрать постоянные резисторы такого сопротивления, чтобы номинал попадал примерно в середину окна. Как показала практика, достаточна точность ±0,5–0,7 кОм. Резисторы можно взять любого типа мощностью 0,25/0,125 Вт и точностью 5–10%. Если нужного номинала нет среди стан-

дартного ряда, можно получить его последовательным и параллельным соединением нескольких резисторов.

После проверки выполнения команд «на проводках» можно дорабатывать штатный пульт. С помощью тестера определяем, какие пары контактов замыкаются при нажатии кнопок, и соединяем выводы кабеля так, чтобы один провод у всех кнопок был общим. Если не нужно сохранять совместимость со старой магнитолой, то проще разобрать пульт, отпаять от него кабель и разрезать/соединить дорожки на плате пульта так, чтобы ко всем кнопкам был подведен один общий провод. Далее свободные концы кнопок соединяем с резисторами. Общий вывод резисторов и общий вывод кнопок – выход схемы, присоединяем к нему двужильный провод со штекером 3,5 мм (minijack) на конце. Если используется стереоштекер, вывод правого канала (центральный поясок) оставляется свободным. Полярность подключения значения не имеет.

8. КОМПОНОВКА АУДИОСИСТЕМЫ

После того как изучены «три источника и три составные части» автозвука, настало время переходить к компоновке и монтажу аудиосистемы. При создании высококачественной установки возможны два творческих подхода [115].

Первый вариант концептуальный: определяются требования к системе, выбираются или изготавливаются необходимые компоненты. Затем монтаж и настройка. Система сразу демонстрирует максимум своих возможностей. Это идеальный, но дорогой вариант, особенно в плане отделки. При таком подходе результат достигается обычно с первой попытки, но требуется единовременное вложение значительных средств, а также немалый опыт и интуиция. Поскольку универсальных готовых решений не существует, подобный подход характерен для профессиональных установочных студий. Достижение идеального звучания требует немалых трудов, но можно успокоиться тем, что на хорошей аппаратуре получить «плохой звук» достаточно сложно...

Второй вариант любительский, недорогой, но от этого не самый худший. Система создается в минимальной конфигурации из доступных компонентов, а результат достигается путем разумной компоновки и проверенных решений. Начальная ступень здесь зависит только от финансовых возможностей, а необходимый опыт появится в процессе творчества. Потом, по мере возрастания требований и опыта, система наращивается до нужного уровня. Процесс растянут во времени и поэтому не наносит серьезного ущерба семейному бюджету, но результат появится не сразу. Для получения приличного звучания надо потрудиться: помните – «плохой звук» получится вообще без усилий.

Большинство создателей автомобильных аудиосистем убеждены, что без мощного усилителя и дорогих динамиков

хороший результат недостижим. Они по-своему правы, но при грамотном подходе к выбору, размещению и подключению динамических головок прекрасных результатов можно добиться даже со встроенными усилителями магнитолы и относительно недорогими головками. При желании вполне можно добиться такой громкости, чтобы «сносило крышу». Так, при работе правильно рассчитанного сабвуфера от встроенного усилителя современной магнитолы можно достичь звукового давления в салоне на уровне 120–124 дБ.

Предлагаемые в этом разделе решения представляют наибольший интерес для начинающих любителей автозвука, поскольку не требуют серьезных затрат времени и средств. Все варианты неоднократно проверены на практике и показали высокую надежность. Справедливости ради следует отметить, что некоторые из приводимых рекомендаций имеют смысл только при использовании бюджетных моделей магнитол и CD-ресиверов. Многие современные головные аппараты имеют в своем составе перестраиваемые фильтры, эквалайзеры и другие полезные устройства.

8.1. СЛАГАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТА

В дальнейшем изложении будут использованы следующие термины.

Звуковая сцена (Soundstage) – кажущееся расположение инструментов по ширине, высоте и глубине при воспроизведении записи.

Стереопанорама – ширина и определенность звуковой сцены. Воспринимаемое расположение инструментов должно быть постоянным, легко определяемым и соответствовать реальному.

При любом подходе к созданию аудиосистемы прежде всего нужно выбрать тип источника сигнала и структуру тракта и только после этого приступать к рассмотрению «кандидатов». Почему это так? Если принять качество автомобильной аудиосистемы за 100%, то на источник сигнала из них приходится примерно 15%, на усилитель – 20%, на акустическую систему – 30%, на установку – 30%, на кабели и дополнительные устройства – 5%. В случае использования источника сигнала со встроенным усилителем их совместный вклад возрастает до 20–25%, а акустической системы – уже до 40–45%. Однако эти цифры относятся исключительно к качеству звучания, но не к цене. Там картина может быть совершенно иной: не секрет, что цены на многие товары определяются только степенью «раскрутки» фирмы и модели, а отнюдь не реальными достоинствами. В любом случае к выбору нужно подходить с максимальной

ответственностью: мы не настолько богаты, чтобы покупать дешевые вещи.

При выборе аппаратуры следует обратить внимание на электрические характеристики. Однако субъективное восприятие качества (естественность) звучания невозможно измерить при помощи физических величин. Только прослушивание в состоянии дать представление, насколько точно передаются объем и пространственное расположение инструментов. Желательно, чтобы *прослушивание* было сравнительным и проходило утром, пока слуховые ощущения еще не притупились. Лучше всего сравнивать звучание инструментов, записанных на диск, со звучанием тех же инструментов, «записанных» в слуховой памяти. В крайнем случае, звучание придется сравнивать с другими системами. О влиянии соединительных кабелей на качество звучания в последнее время написано столько, что этой темы можно не касаться.

Неискаженная выходная мощность современных магнитол не превышает 10–12 Вт на канал, что бы ни утверждала реклама. Приводимая же обычно в инструкции максимальная мощность характеризует скорее динамические свойства усилителя и его способность воспроизводить импульсные сигналы, нежели реальную громкость. Однако разницы в звучании между магнитолами с усилителем указанной мощности 4×30 Вт и 4×40 Вт практически нет. Поэтому при выборе динамических головок для работы в комплекте с магнитолой основной параметр, на который необходимо обращать внимание, – уровень характеристической чувствительности (или просто чувствительность). Чем больше этот показатель, тем меньшая мощность требуется для получения нужной громкости. Для головок зарубежного производства необходимо уточнить, при каких условиях производились измерения.

Учтите тот факт, что абсолютно нейтральных компонентов в природе не существует. Все они окрашивают сигнал, каждый по-своему. Взаимное согласование аппаратуры относится пока к недостаточно изученной области, и даже при выполнении всех требований стандартов (достаточно, кстати, расплывчатых) лучше послушать выбранные компоненты «в связке». Следует учесть, что звучание аппаратуры на стенде магазина и в салоне автомобиля может отличаться «с точностью до наоборот». Почему это происходит?

8.1.1. Акустические свойства салона автомобиля

Салон автомобиля – главный компонент нашей аудиосистемы, именно он оказывает максимальное влияние на конечный результат. С точки зрения акустики простран-

ство автомобильного салона абсолютно не приспособлено для качественного звуковоспроизведения – объем салона чрезвычайно мал (автобусы и грузовики из рассмотрения исключаем). Из этого обстоятельства следует несколько выводов.

1. Соблюсти основное условие для обеспечения качественного стереофонического звучания: взаимное расположение слушателей и системы громкоговорителей по вершинам равностороннего треугольника – практически невозможно. Помимо разницы в интенсивности, возникает также временной сдвиг между сигналами левого и правого каналов, что приводит к смещению кажущихся источников звука (КИЗ) относительно истинного положения. Особенно заметен этот эффект для сигналов средних частот.
2. Трудно обеспечить достаточное удаление уха слушателя от громкоговорителей. А при работе в ближней зоне излучения громкоговоритель уже нельзя рассматривать как точечный источник, что приводит к специфическим интерференционным искажениям на средних частотах (на ВЧ этот эффект ослаблен из-за малого размера излучателей).
3. Из-за малого объема салона на низких частотах возникает достаточно однородное звуковое поле (это справедливо с небольшой оговоркой, суть которой разъясняется ниже). Однако наличие в салоне неравномерно расположенных поглощающих и отражающих поверхностей (стекла, обивка, пассажиры) не позволяет уверенно прогнозировать его акустические свойства на средних и высоких частотах. К тому же эти поверхности обеспечивают различную степень отражения и поглощения в пределах частотного диапазона – заполнители сидений и обивка дверей эффективно поглощают средние частоты, а высокие частоты прекрасно отражаются от стекла. Вследствие указанного АЧХ салона на средних и высших частотах имеет неравномерность, порой значительную, а характер неравномерности зависит от выбора точки замера.

Есть еще два аспекта, не столь очевидных, но вытекающих из малого объема салона и его геометрии, – локальные дефекты АЧХ, вызванные резонансными явлениями, и подъем АЧХ на низших частотах. Совокупность этих факторов называется передаточной характеристикой салона и была рассмотрена ранее. Вид АЧХ на средних и высоких частотах индивидуален, однако для частот ниже 100 Гц его можно прогнозировать достаточно точно. АЧХ салонов некоторых автомобилей приведены в **приложении 1**.

8.1.2. Особенности слухового восприятия

Если ставится задача получения правильной звуковой сцены, при размещении динамиков необходимо учитывать общие особенности человеческого слуха. Весь слышимый диапазон подразделяется на несколько участков, в каждом из которых органы слуха используют разные *способы локализации источника звука*:

- на частотах ниже 300–350 Гц органы слуха оценивают только *громкость* звука, *направление* распространения звуковой волны оценивается всем телом;
- в диапазоне от 350 Гц до 1700 Гц работает фазовое восприятие направления. Локализация источника звука происходит на основании *разности фаз* сигналов, пришедших к левому и правому ушам;
- в диапазоне от 1700 Гц до 3500 Гц работает амплитудное восприятие направления. В этом диапазоне сказывается экранирующее действие головы. Локализация источника звука происходит на основании *разности амплитуд* сигналов, пришедших к левому и правому ушам;
- на частотах выше 3500 Гц работает частотно-интерференционное восприятие.

Помимо этого, есть еще и *возрастные особенности слуха*. Известно, что до 25–30 лет не менее 90% рядовых слушателей слышат звуки в полосе частот от 20–25 Гц до 18–20 кГц. С возрастом чувствительность к высоким частотам падает. Уже в группе от 40 до 50 лет примерно 70% слушателей не воспринимают частоты выше 10–12 кГц, дальше планка снижается до 6–8 кГц. Так что с возрастом в первую очередь пропадает чувство «воздуха» и, соответственно, снижаются требования к тональному балансу. Чувствительность к низким частотам, к счастью, снижается в более позднем возрасте, но резче и с большими потерями для музыки – после 60 лет около половины слушателей не воспринимают звуки ниже 70–80 Гц. Не буду настаивать на абсолютной точности цифр, это статистика, но тенденция именно такая. Для профессионалов (музыкантов, звукорежиссеров) эта картина не столь удручающая (сказывается постоянная тренировка), но тенденции те же. Интересно, как повлияет на статистику «поколение громкой музыки»?

Как вы понимаете, выбор места для установки громкоговорителей приобретает первоочередное значение. Более того, выбор количества полос и частот раздела зависит от места установки и ориентации. К сожалению, в большинстве случаев акустику в машине ставят по принципу «куда влезет», а не «куда надо». Правда, однозначного ответа на

вопрос «куда надо?» не существует. Ни одно из известных решений не дает гарантированного результата. Гораздо легче ответить на вопрос «куда не надо?». Самая распространенная ошибка: установка высококачественных динамиков на задней полке, а впереди – что придется или вообще ничего. Видимо, владелец на концерте предпочитает сидеть спиной к сцене...

8.1.3. Ориентация излучателей

Однако помимо размещения не меньшее значение имеет *ориентация излучателей* в салоне. Влияние этого фактора снижено только для НЧ-головок. Все варианты ориентации можно условно разделить на две группы – работа с «прямым» сигналом и «на отражение». Поскольку в условиях автомобиля всегда имеются оба сигнала, речь идет только о явном преобладании одного из них. Отражаются с рассеянием (в первую очередь – от лобового стекла) средние и высокие частоты, у которых длина волны достаточно мала по сравнению с размером салона. Эффект «привязки» звучания к ближайшему динамику в этом случае снижается.

Длинные волны, сопоставимые с размером салона, отражаются без рассеяния. Когда длина волны становится больше размера салона, об отражении говорить не приходится, возникает равномерное звуковое поле. Поэтому в «привязке» звука к НЧ-головке виноват главным образом фронт сигнала, богатый высокочастотными составляющими. Ограничение спектра подаваемого сигнала в этом случае будет только на пользу.

При любом выбранном варианте размещения излучателей их ориентация влияет на звук следующим образом:

Звуковая сцена + Тональный баланс =
= Константа.

Другими словами, отраженный (рассеянный) сигнал устраняет привязку КИЗ к излучателю и улучшает звуковую сцену, но одновременно ухудшает тональный баланс. Прямой сигнал – строго наоборот. Искусство установщика состоит в том, чтобы найти «золотую середину» расположения и ориентации. При этом нужно иметь в виду, что эмоциональное воздействие «правильной» сцены обычно намного сильнее, чем тонального баланса, особенно для поклонников акустических жанров. Требования к звучанию – это та область, где каждый сам выбирает предпочтения. В целом с возрастом приоритет обычно смещается от тонального баланса к звуковой сцене, что можно объяснить уже упоминавшимися возрастными изменениями слуха.

8.1.4. Фронтальный бас

Фронтальный бас манит поклонников автозвука, как Святой Грааль – крестоносцев. Вот и мы отправимся в поход за фронтальным басом.

Определение фронтального баса обычно дается «от противного»: если бас есть и он не локализуется сзади – значит, он фронтальный. Понятно, что фронтальный бас самым естественным образом обеспечит сабвуфер, установленный спереди, но в большинстве машин, кроме багажника, его и ставить-то некуда. Однако вопреки здравому смыслу бас из багажника почему-то получается иногда фронтальным. Почему?

Традиционно причиной «заднего» баса считают увеличенное групповое время задержки (ГВЗ, group delay), вносимое акустическим оформлением. Для фазоинвертора ГВЗ растет с понижением частоты и максимально на частоте настройки порта (то есть заведомо ниже частоты раздела с мидбасом). Критической считается величина ГВЗ 15–16 мс, однако, чтобы получить фронтальный бас, нет необходимости так сильно минимизировать ГВЗ – реальная задержка сигнала сабвуфера может быть заметно больше, особенно если рабочие полосы частот сабвуфера и фронта перекрываются (есть зона совместного действия). Как показывает практика, если басовая атака нормально воспроизводится фронтальной акустикой, то при разумном уровне сигнала сабвуфера «отставание» басового заполнения на слух не заметно.

Причина явления в том, что в области низких частот работают два механизма локализации – временной и амплитудный. Относительное рассстояние между источниками определяется по двум характеристикам: запаздыванию (не менее 15–20 мс) и амплитуде. Кроме того, существует эффект Хааса (в отечественной литературе – эффект предварения). Суть эффекта – в том, что несколько следующих друг за другом сходных звуков воспринимаются как один, если промежуток между ними не превышает 40 мс. Способность концентрировать внимание на первом звуке и отсекать избыточные эхо-сигналы выработалась у наших лесных предков в процессе эволюции. Если промежуток времени больше или последующие звуки заметно громче первого, то они будут восприняты раздельно.

Поэтому проблема заднего баса не в ГВЗ, а именно в разнице амплитуд басовой атаки, воспроизводимой фронтом, и установившегося звучания, направление на которое слух точно определяет через 250 мс после его возбуждения. Если атака тише басового заполнения, то она маскируется, в результате и возникает эффект «заднего» баса. В то же

время в большинстве установок настройка сабвуфера такова, что суммарная АЧХ далеко не горизонтальна. Обычно комфортный бас получается при выделении области частот 40 Гц на 6–12 дБ (акустически или бас-бустером). В результате эффект Хааса уже не работает.

Не совсем также верно мнение, что «чем круче режешь саб – тем лучше». Наоборот, чем резче перегиб и круче спад АЧХ ФНЧ, тем больше ГВЗ, вносимое фильтром (минимальные ГВЗ у фильтров Бесселя). Поэтому увеличение порядка и добротности фильтра лишь добавляет задержку, причем именно в области стыковки полос сабвуфера и мидбаса, хотя величина ее и не столь драматична. Пожалуй, более существенное следствие «крутого обрезания» заключается в том, что сужается зона совместного действия мидбаса и сабвуфера, то есть эффект Хааса практически исключается. Возможен даже полный разрыв между атакой и заполнением. К тому же при крутых спадах АЧХ полос и несоответствии их уровней в зоне стыка появляется весьма заметная «ступенька», усугубляемая к тому же сложными фазовыми соотношениями сигналов, прошедших фильтры высокого порядка.

Выводы: для того чтобы бас был фронтальным, необходимо выполнить следующие условия.

- Басовая атака должна эффективно воспроизводиться фронтальной акустикой. Нелишне также воспроизводить при этом хотя бы часть басового заполнения, пусть и с ослаблением, – это улучшит маскировку сигнала сабвуфера за счет эффекта Хааса. То есть фронтальная акустика должна уверенно воспроизводить частоты хотя бы 80–90 Гц, а все, что ниже, – «обозначать» без существенных искажений.
- Для лучшего использования эффекта Хааса необходима зона совместного действия мидбаса и сабвуфера, поэтому применение фильтров выше второго порядка не оправдано.
- При относительно высокой частоте раздела «фронт-саб» (80–100 Гц) уровень сигнала сабвуфера должен соответствовать фронту. При низкой частоте раздела (50–60 Гц) он может быть несколько выше.

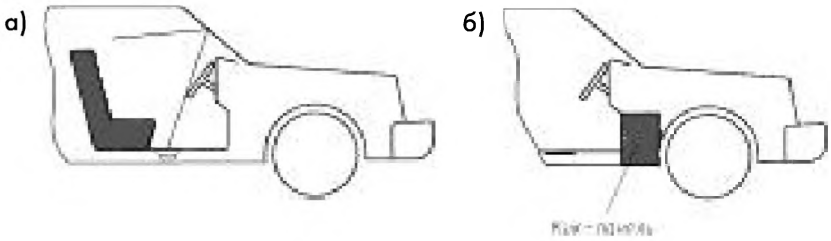
8.2. ВЫБОР СТРУКТУРЫ АС

Главная проблема при создании автомобильной аудиосистемы состоит не в достижении высокой мощности, малых искажений и даже не в получении хорошей АЧХ. Основная проблема – получение высокой и широкой звуковой сцены для передних слушателей. Ее решение напрямую связано с местом установки и составом фронтальной акус-

тики. Не стоит думать, что задние пассажиры забыты: при грамотно поставленной фронтальной акустике звучание сбалансировано в пределах всего салона.

Однако решение этой задачи связано с рядом проблем. Прежде всего при любом разумном варианте размещения акустических систем в передней части автомобиля разность пути сигнала от левого и правого излучателей достигает недопустимо больших значений. Для увеличения *эффективного расстояния* от слушателя до АС (и сокращения, соответственно, разности хода) можно использовать отражение всего сигнала или его части от лобового стекла. Так появились установки с напольной фронтальной акустикой (рис. 8.1а) [27]. Решение сложное и трудоемкое, но результат впечатляет. Однако резать пол для установки динамиков решится не всякий энтузиаст car audio, к тому же проблемы при техосмотре гарантированы. Поэтому для установки фронтальных излучателей в легковой машине остается не так много мест: приборная доска, стойки лобового стекла, двери, пространство под передними сиденьями, кик-панели (рис. 8.1б). Ни один из вариантов не решает проблему полностью, к тому же достоинства и недостатки каждого из них взаимосвязаны.

Рис. 8.1. Установка громкоговорителей в полу салона



Главная проблема, которая возникает при создании высококачественной автомобильной аудиосистемы, – выбор количества полос и частот раздела. Сосредоточенная (коаксиальная) фронтальная акустическая система лишена перспектив для высококачественной установки. Исключением является использование двухполосных коаксиальных головок в качестве комбинированных СЧ–ВЧ-излучателей. Двухполосная компонентная фронтальная АС, как и всякая компромиссная конструкция, имеет ряд недостатков. Прежде всего она связана компоновочными ограничениями, и получить в этом случае одновременно правильную звуковую сцену и тональный баланс затруднительно. Наилучшего результата можно достичь, применяя многополосную рассредоточенную фронтальную АС. В нашем случае «много» означает «три», широкого наступления четырехполосных систем пока не предвидится. Полосовые излучатели

в этом случае можно разместить в тех местах, где они будут работать с максимальной эффективностью [91, 115].

Для получения высокой и однородной звуковой сцены проще всего поднять излучатели как можно выше. Приборная доска позволяет установить их на достаточной высоте. Размер штатных посадочных мест обычно ограничен 10–13 см, акустическое оформление практически отсутствует, поэтому низшие частоты воспроизводятся недостаточно эффективно. Следовательно, в этом месте можно монтировать только среднечастотные головки. Однако, как показала практика, такой вариант имеет ряд серьезных недостатков. Основной из них – «привязка» звучания к одной стороне салона из-за недопустимо большой разности хода звуковой волны от левого и правого излучателей. Среди автомобилей отечественного производства реальные перспективы к использованию штатных посадочных мест по назначению имеет только «Москвич-2141», но это решение нельзя признать самым удачным. Поэтому энтузиасты вынуждены искать другие места для установки динамиков.

Традиционно низкочастотные, широкополосные или коаксиальные громкоговорители размещают в передних дверях. Обычно это аргументируется увеличением эффективности воспроизведения низких частот готовым акустическим оформлением. К тому же большинство автомобильных головок предназначено для работы с большим задним объемом. Однако этот объем должен быть оптимальным. При его уменьшении относительно оптимума воспроизведение низких частот будет ослаблено. От увеличения объема пользы еще меньше – колебания диффузора не будут демпфированы в нужной степени. В результате воспроизведение низших частот будет сопровождаться гулким призвуком, а при некоторой настойчивости можно оборвать подвес диффузора или выводы звуковой катушки даже при скромной подводимой мощности. Кроме того, необходимо провести тщательное вибродемпфирование и шумоизоляцию панелей и механизмов двери, иначе она будет «подпевать» уже на средней громкости [6]. На практике приходится ограничивать полосу частот, воспроизводимую динамическими головками в дверях, на уровне 80...100 Гц. Да и динамики нужны влагостойкие...

Но список недостатков не исчерпан. При установке головок «на плоскость» облицовки двери проявляется эффект *компенсации басовой атаки*. При сведении фонограмм большинство современных звукорежиссеров располагают инструменты басового регистра в центре звуковой сцены. Звуковые сигналы левого и правого каналов в этом диапазоне частот синфазны и имеют практически одинаковую

интенсивность. Поэтому при установке излучателей в дверях фронт волны на частотах 100–150 Гц, критичной для субъективного восприятия басовой атаки, достигает противоположной головки в противофазе (что определяется шириной салона) и компенсируется. Чтобы это явление проявлялось в меньшей степени, при установке громкоговорителей в двери их необходимо разворачивать вверх и в сторону слушателя. Обычно удовлетворительные результаты получаются при «нацеливании» головок в середину потолка над передними сиденьями. Наиболее рационален такой вариант при использовании двухполосной фронтальной акустики с относительно высокой частотой раздела (5–7 кГц). Практически отсутствует этот эффект при установке АС под сиденьями с излучением вперед-вверх.

Эффект компенсации басовой атаки в значительной степени зависит от места установки низкочастотных излучателей в дверях и конструктивных особенностей салона. Высокий тоннель и протяженная консоль приборной панели («борода») являются достаточно хорошим акустическим экраном. В том случае, когда этот экран исключает непосредственное взаимодействие головок, эффект компенсации басовой атаки снижен. В такой ситуации вполне оправдана установка головок «на плоскость». Наиболее рационален этот вариант при относительно невысокой частоте раздела с полосой ВЧ в двух или трехполосной системе (1,5–3 кГц). Вплоть до этих частот диаграмма направленности излучения большинства НЧ–СЧ-головок достаточно широка, что позволяет не уделять особого внимания их ориентации. С другой стороны, можно частично ослабить эффект «привязки» звучания за счет выравнивания интенсивности на средних и высших частотах, используя особенности диаграммы направленности применяемых динамиков (рис. 8.2). Однако сдвиг фазы, вызванный разностью пути сигнала, скорректировать таким способом не удастся.

Основная проблема двухполосных акустических систем с низкой частотой раздела – необходимость использовать ВЧ-головки повышенной мощности с достаточно низкой частотой собственного резонанса. Приобретение их может быть сопряжено с некоторыми трудностями. Кроме того, для эффективного подавления механического резонанса подвижной системы, расположенного близко к частоте раздела полос, в этом случае необходимо использовать ФВЧ высоких порядков либо специальные корректирующие цепи.

При установке НЧ-головок в корпусах под передними сиденьями с излучением вперед-вверх эффект гашения басовой атаки отсутствует, а разность пути звуковой волны

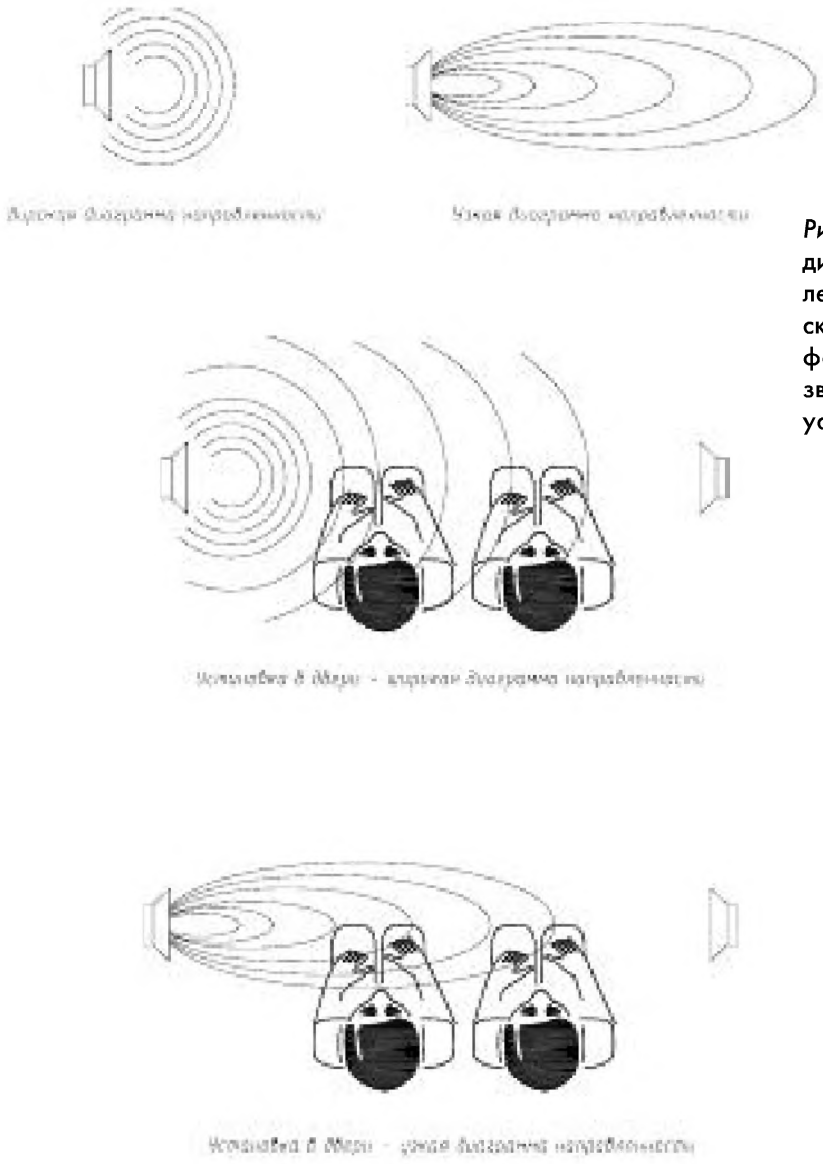
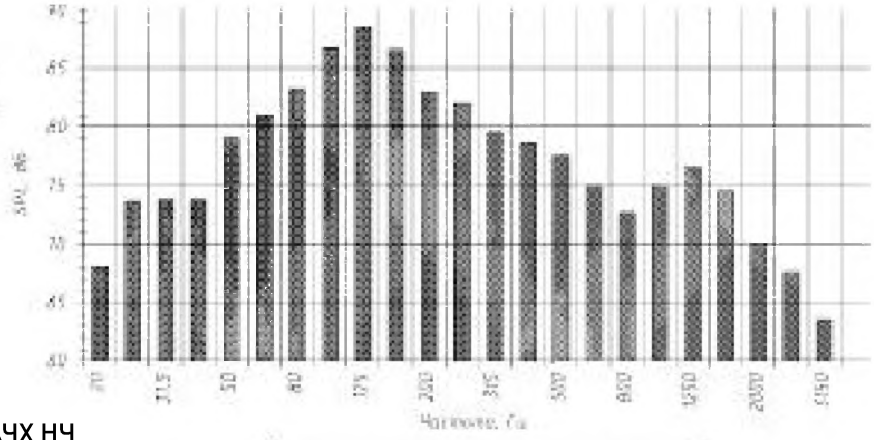


Рис. 8.2. Влияние диаграммы направленности динамических головок на формирование звуковой сцены при установке в двери

уменьшена. Это уменьшает эффект «привязки» звучания к одной стороне салона. Вариант близок к установке излучателей в полу салона, но лишен его недостатков. За счет возбуждения объема, ограниченного панелью приборов и полом, увеличивается звуковое давление в области 200–400 Гц. Однако полоса излучаемых частот в этом случае естественным образом ограничена сверху значением 2–3 кГц. Такой вариант размещения динамиков требует или применения достаточно низкой частоты раздела полос (и связан со всеми уже упомянутыми проблемами), или перехода к трехполосной акустической системе.

В качестве примера на рис. 8.3 приведена АЧХ по звуковому давлению, полученная для динамической головки



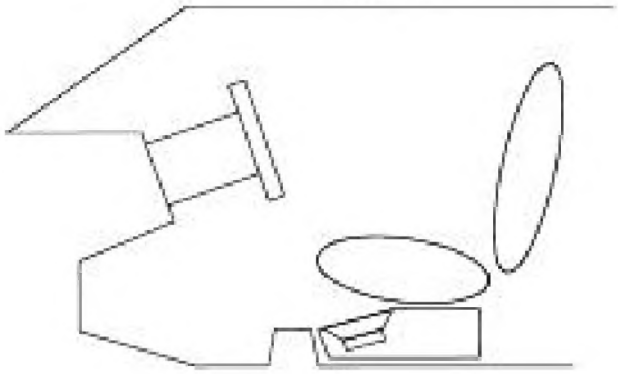


Рис. 8.3. АЧХ НЧ громкоговорителя в напольном исполнении

25ГДН3-4 в корпусе с ФИ под передним сиденьем («Москвич-2141»). Данные любезно предоставил О. Леонов, измерения проведены с использованием комплекса PC RTA в студии «Блюзмобиль». Хорошо заметны резонанс салона в районе 125 Гц, провал АЧХ в районе 800 Гц и спад выше 1,5 кГц, хотя по паспортным данным спад АЧХ у данной головки начинается выше 3 кГц. Такое отклонение АЧХ от паспортной можно объяснить наличием в ближней зоне излучения препятствия (подушки сиденья). Для аналогичной АС под передним сиденьем ВАЗ-2107, но с близким к горизонтальному направлением излучения, провал АЧХ смещен в область 500–600 Гц и имеет меньшую величину. Этим частотам соответствует длина волны порядка 0,5–0,6 м, что хорошо согласуется с размерами полости, ограниченной приборной панелью и консолью.

Установка головок в кик-панелях с ориентацией вверх и к центру салона сводит к минимуму разность хода сигнала от левого и правого излучателей, что практически исключает эффект привязки (рис. 8.4). Вопреки ожидаемому, звуковая сцена не опускается, а, наоборот, поднимается на уровень ветрового стекла. Благодаря наличию акустического экрана в виде консоли передней панели («бороды») эффект «гашения» басовой атаки не проявляется. К сожалению,

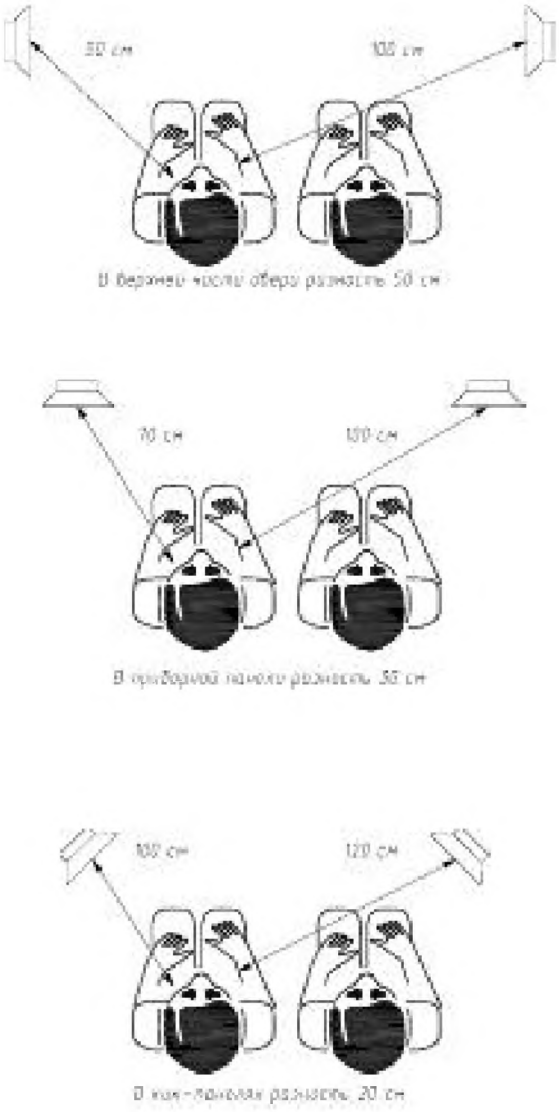


Рис. 8.4. Разность пути сигнала от левого и правого излучателей при различных вариантах установки

в большинстве случаев организовать достойное акустическое оформление непросто. Максимально возможный объем корпусов не превышает, как правило, 2 л, поэтому данный вариант применим главным образом к среднечастотным головкам трехполосных акустических систем. Поскольку на частотах выше 1 кГц диаграмма направленности излучателей достаточно индивидуальна, однозначных рекомендаций по ориентации головок на кик-панелях нет – все зависит от конкретных условий, необходим эксперимент.

Другой, не менее интересный вариант размещения СЧ-излучателей использовал в своей установке москвич С. Клевцов. Купольные головки Macrom 58.08 установлены на поперечной балке под передними сиденьями «Святогора», максимально близко к середине салона, и ориентиро-

ваны в сторону лобового стекла. Такое решение уменьшает относительную разность хода звуковой волны от левого и правого излучателей, что позволяет практически исключить эффект «привязки» звучания к одной стороне салона.

При изготовлении корпусов для СЧ-излучателей ориентацию полезно уточнить применительно к конкретным головкам с учетом особенностей их звучания и диаграммы направленности. Это самое критичное звено, поскольку звуковая сцена и общая тембровая окраска звучания формируются главным образом в полосе 300–1500 Гц. Основной принцип размещения – как можно дальше от ушей, чтобы уменьшить разность пути звуковой волны от левого и правого излучателей. Поэтому штатные места в торпедо – как правило, наихудший вариант. Желательно так расположить динамики, чтобы воспроизводимый ими *монофонический* сигнал позволял слушателю однозначно локализовать КИЗ по центру панели приборов. В диапазоне амплитудного восприятия (выше 1700 Гц) необходимо обеспечить равенство громкостей каждого динамика, воспроизводящего монофонический сигнал.

Для предварительной оценки выбранного места установки и ориентации СЧ-излучателей удобно использовать широкополосные головки мощностью 3–5 Вт, смонтированные на небольших отражательных панелях. Их подключают к магнитоле через простейший ФНЧ (неполярный оксидный конденсатор емкостью 100 мкФ или два полярных по 220 мкФ встречно-последовательно) и подбирают расположение и ориентацию, добиваясь получения необходимой ширины и высоты сцены.

Для высокочастотных головок при любом варианте построения фронтальной акустики чаще всего применяется установка на передние стойки, верхний передний угол двери или панель приборов. Известны также достаточно редкие варианты установки ВЧ-излучателей на потолке в районе зеркала заднего вида или на полу (используется отраженный от лобового стекла сигнал), а также на кик-панелях (работа на прямом сигнале). Для «пищалок» с широкой диаграммой направленности можно использовать или прямой сигнал, или его смесь с отраженным и рассеянным от стекла излучением. Полностью исключить прямой сигнал в этом случае практически невозможно из-за наличия боковых лепестков диаграммы направленности. Для работы только «на отражение» без прямого сигнала необходимо применять «пищалки» с узкой диаграммой направленности.

При выборе места для ВЧ-головок необходимо иметь в виду, что при низкой частоте раздела их излучение оказывает непосредственное воздействие на формирование сце-

ны и ориентация требует тщательной настройки. При частоте раздела выше 5–6 кГц влияние ориентации снижено. В любом случае при установке необходимо предусмотреть возможность подстройки ориентации при окончательной регулировке системы. В комплекте большинства автомобильных «пищалок» есть необходимые для этого установочные детали. Иногда даже незначительное изменение ориентации заметно влияет на формирование сцены для передних сидений. В некоторых конструкциях для этой цели используются сервоприводы. Можно настроить сцену на водителя или переднего пассажира, возможен и компромиссный вариант с симметричной ориентацией пищалок.

Для формирования широкой звуковой сцены и четкой фокусировки звуковых образов используется главным образом прямой сигнал. Но тут возникает одна проблема – практически во всех установках, выполненных по такой схеме, есть проблемы с центральным образом. В тех случаях, когда одна из пищалок находится слишком близко к слушателю, локализация «центра» принципиально невозможна – слишком велика разница в уровне сигнала от правой и левой пищалок. В других вариантах чаще всего наблюдается «провал» или «размывание» центрального образа. При удачной ориентации пищалок остроту проблемы можно снизить, но полностью устранить ее практически невозможно. Поскольку этот дефект заметен главным образом на рафинированных «судейских» записях, на него обычно закрывают глаза. В противном случае остается только установить громкоговоритель центрального канала.

Однако есть вариант установки с «фантомным» центральным каналом. Центральный образ в этом случае формируется простым акустическим смешением сигналов левой и правой «пищалок», установленных в центральной части торпедо, а ширина сцены определяется рассеянным и отраженным «боковым» сигналом (рис. 8.5) [103].

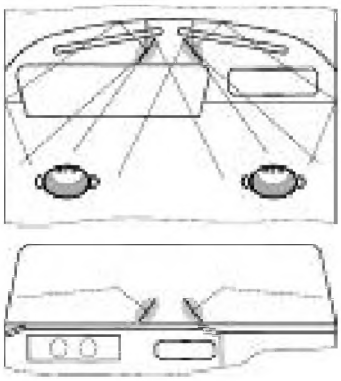


Рис. 8.5. Фантомный центральный канал

При несимметричной конструкции приборной панели такое решение позволяет сблизить условия распространения сигнала левого и правого каналов. Центральный образ превосходен, хотя сцена несколько узковата. Впрочем, это черта всех систем с центральным каналом – будь он реальный или фантомный.

Формирование звукового образа без тыловой АС будет неполным, пренебрегать этим не стоит. Основное ее назначение – создание «эффекта зала» за счет имитации отраженного и рассеянного (диффузного) звука. Спектр сигнала тыловых каналов для этого должен быть ограничен полосой частот примерно 500–2500 Гц, в соответствии со спектром диффузного звука уровень сигнала должен быть невелик. Использование тылового канала позволяет замаскировать некоторые недостатки в звучании фронтальной акустики.

Наиболее впечатляющие результаты получаются при использовании в тыловом канале разностного сигнала. Для реализации этого метода в простейшем случае можно использовать встречно-последовательное включение тыловых динамиков между выходами усилителей левого и правого каналов через полосовой LC-фильтр (схема Хаффлера). Однако лучшие результаты достигаются при использовании дополнительной обработки сигнала тылового канала [69]. Подробно эти вопросы рассмотрены в главе 6.

8.3. ВЫБОР ЧАСТОТ РАЗДЕЛА И ПОРЯДКА ФИЛЬТРОВ

Следующий этап, порождающий максимум проблем, – *выбор частот раздела*. Вопрос этот неразрывно связан с выбранной структурой аудиосистемы. В свое время развитие «домашнего» Hi-Fi породило деление полос в основном на частотах 300 Гц и 3–4 кГц. Для воспроизведения частот выше 14–15 кГц нередко использовался «супертвиттер» (ленточный, пленочный или пьезоизлучатель). Развитие технологии и улучшение качества СЧ-излучателей и пищалок позволило сдвинуть частоту их раздела до 5–7 кГц и обойтись одной полосой ВЧ. Расширение вверх полосы НЧ до 800–900 Гц по сравнению с АС прошлого поколения объясняется тем же. Эти частоты раздела оптимальны для компактного или коаксиального расположения излучателей в «домашней» акустике, но мало пригодны для автомобильной *разнесенной акустической системы*. Тем не менее высокая частота раздела НЧ и СЧ встречается довольно часто при близкой установке НЧ- и СЧ-головок.

Для улучшения качества воспроизведения следует избегать деления полос в области максимальной чувствительности уха. То есть наилучшее решение: полоса СЧ от 200–

250 Гц до 5–6 кГц «одним куском». Деление частот в формантной области (500–1200 Гц) вообще противопоказано для всех случаев, кроме коаксиальных излучателей. При пространственно разнесенных излучателях фокусировка КИЗ будет неопределенной, вплоть до его неожиданных перемещений в пространстве.

Кроме того, при выборе *нижней границы* полосы СЧ необходимо учитывать частоту основного механического резонанса, которая должна отстоять от рабочей полосы частот минимум на октаву. В этом случае неизбежно применение фильтра второго порядка. Если интервал между частотой резонанса и нижней границей полосы СЧ превышает две октавы, можно использовать фильтр первого порядка. Для полосы НЧ с учетом естественного спада АЧХ обычно достаточно фильтра первого порядка.

Полосу низких частот следует воспроизводить целиком или делить на две части в области порядка 50 Гц. Это позволит использовать оптимальное акустическое оформление для каждой НЧ-полосы. Полосу частот ниже 50 Гц при этом можно воспроизводить в монофоническом варианте с произвольным размещением излучателя, поскольку для этих частот способность человеческого уха к локализации источника сигнала заметно снижена. Это задача для сабвуфера.

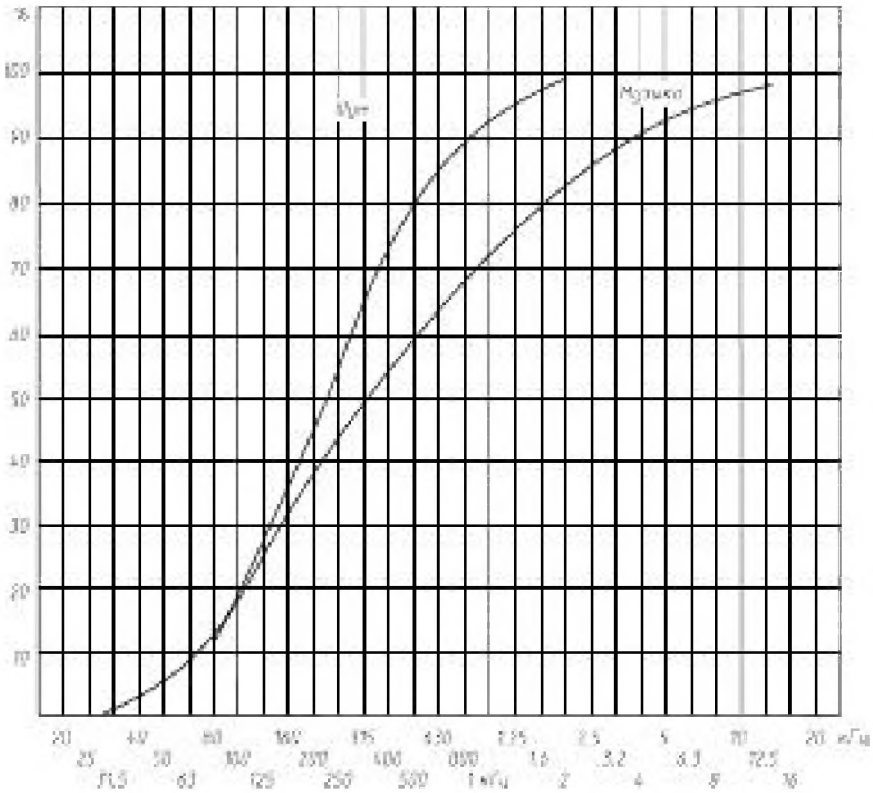
Сабвуферы с широкой *полосой частот* (до 150–180 Гц) появились в связи с невозможностью получить нормальный бас от малогабаритной фронтальной акустики. Однако добиться малой неравномерности АЧХ сабвуфера при столь широкой полосе можно только путем снижения его полной добротности. Понижение добротности требует повышения мощности усилителя для сохранения необходимого звукового давления. Кроме того, сабвуфер уверенно воспроизводит при этом частоты «голосового» диапазона. Поскольку установлен он в багажнике, звучание четко локализуется сзади, нарушая звуковую сцену. Для устранения этого эффекта приходится повышать крутизну среза фильтра в сабвуферном канале до 4–6-го порядка. Это влечет за собой значительный фазовый сдвиг сигнала, и для «стыковки» звучания с фронтом приходится использовать фазовращатель (фазовый корректор). Это усложняет конструкцию кроссовера или усилителя.

При трехполосной фронтальной АС нужен (и то не всегда) только относительно узкополосный сабвуфер для поддержки на частотах ниже 40–60 Гц. В этом случае он практически не локализуется даже при использовании фильтра второго порядка, не требуется и фазовращатель – для «стыковки» достаточно простой смены полярности подключения.

Перечисленные критерии выбора частот раздела вполне достаточны при проектировании домашней аудиосистемы, но в автомобиле приходится учитывать и специфические особенности акустики салона. В области 300–700 Гц всегда есть риск появления неравномерности АЧХ. Ее характер зависит от конкретного места установки динамических головок. Для коррекции суммарной АЧХ в салоне автомобиля желательно иметь возможность перестраивать частоту среза хотя бы одной из полос в пределах октавы вверх и вниз от номинального значения.

Помимо приведенных «акустических» рекомендаций, частота раздела полос зависит от характеристик примененных головок, а порядок фильтров – от частот раздела. Можно руководствоваться следующим графиком *распределения мощности* (рис. 8.6), построенным для равной чувствительности головок. Верхняя кривая соответствует белому шуму, нижняя – усредненному музыкальному сигналу.

Рис. 8.6. Распределение мощности по звуковому спектру



Так, при равной или близкой чувствительности НЧ- и СЧ-головок рекомендуется частота раздела порядка 250–400 Гц. Чувствительность специализированных СЧ-головок обычно выше чувствительности НЧ-головок на 3–5 дБ. В этом случае (при близком расположении головок) часто-

ту раздела можно сместить в область 500–700 Гц. Окончательное распределение уровней сигнала настраивается аттенюаторами пассивных фильтров, а при многополосном усилении – регулировкой усиления отдельных каналов.

Замечено, что незначительное изменение частот раздела полос в области средних частот может оказывать заметное влияние на звучание. Это связано с тем, что в данном диапазоне преобладает фазовый механизм локализации кажущегося источника излучения (КИЗ), основанный на разности расстояний между источником звука и ушами. Границы этого диапазона (от 350 Гц до 1700 Гц) определяются размерами головы человека (точнее – расстоянием между ушными раковинами). Впрочем, важно то, что в этот критический диапазон попадают как частоты раздела полос НЧ и СЧ в трехполосной системе, так и их «окрестности». Это обстоятельство следует учитывать при выборе типа фильтра.

От типа фильтра зависят плавность изгиба частотной характеристики в области частоты среза и суммарная АЧХ системы, а также фазовые характеристики. В зависимости от выбранного порядка фильтра и места размещения динамических головок полярность их включения оказывает заметное влияние на результирующую АЧХ и восприятие звуковой картины. Полярность подключения головок в многополосных АС (абсолютную и относительную фазировку) нужно выбирать в процессе настройки. Никаких строгих рекомендаций здесь нет, нужно ориентироваться на максимальную выразительность звучания. Методика настройки рассматривается в **главе 9**.

Фазовый сдвиг и крутизна спада АЧХ за пределами полосы пропускания фильтра определяются его порядком и составляют 90 градусов и 6 дБ/окт на каждый порядок. То есть фильтр первого порядка обеспечивает затухание 6дБ/окт при полном фазовом сдвиге 90 градусов, фильтр второго порядка – 180 градусов и 12 дБ/окт и т. д. На частоте среза затухание фильтра составляет 3 дБ, а фазовый сдвиг – половину от полного (то есть 45 градусов для фильтра 1-го порядка и 90 – для 2-го).

Поскольку ни один кроссовер не в состоянии обеспечить идеальное разделение полос, существует *зона совместного действия*, в которой одновременно звучат оба динамика. Обычно она простирается примерно на две октавы выше и ниже частоты раздела. Фазовые сдвиги, которые фильтры вносят в сигнал, оказывают существенное влияние на формирование звукового образа. Возникающая в этом диапазоне сумма сигналов может улучшать фокусировку стереообраза, а может и размывать звуковую сцену. Поэтому *фазо-*

вые искажения высококачественной системы должны быть минимальными, но это только одна сторона проблемы, дающая пищу для рассуждений о музыкальности фильтров различных типов. Важен не только вносимый фильтром абсолютный фазовый сдвиг. Гораздо важнее относительный сдвиг фазы *между* полосами частот на выходе фильтров.

Для фильтров второго порядка он близок к 180 градусам во всей полосе частот, но сохраняется постоянным только для фильтра Баттерворта. Для фильтров других типов разность фаз в области частоты раздела изменяется достаточно резко. Соответственно может меняться и локализация кажущегося источника звука [90]. Такая же картина будет наблюдаться при изменении частоты среза одного из фильтров, что иногда применяется при настройке суммарной АЧХ системы. Конечно, фаза излученного динамической головкой сигнала имеет мало общего с фазой поданного на нее напряжения (отклик индивидуален для каждого типа головки), но искажения такого рода в кроссовере желательно минимизировать.

8.4. БИ-АМПИНГ

Многие автолюбители устанавливают АС в двери и заднюю полку с подключением к магнитоле по штатной схеме «фронт-тыл». Аналогичные аудиосистемы имеются в машинах, прошедших предпродажную подготовку, и в подержанных автомобилях. Акустические недостатки этого варианта компоновки описаны ранее. Однако, поскольку он все еще распространен, рассмотрим метод его улучшения, практически не требующий затрат.

При установке громкоговорителей в заднюю полку СЧ и ВЧ составляющие сигнала вызывают чрезмерное смещение звуковой сцены назад. Исправить положение можно, ограничив полосу воспроизведения задних громкоговорителей нижними частотами. Поскольку в этой роли выступают обычно коаксиальные головки, самый простой способ – отключить «пищалки» (их можно на первых порах использовать при модернизации фронтальной АС). Можно использовать в качестве тыловых низкочастотные головки. Однако остаточный уровень СЧ- и ВЧ-составляющих будет достаточно велик. Для его снижения необходимо применить ФНЧ с частотой среза порядка 0,8–1 кГц.

У большинства распространенных малогабаритных коаксиальных или широкополосных громкоговорителей, используемых в таких установках для фронтальной АС, НЧ-составляющие сигнала вызывают перегрузку и искажения уже при среднем уровне громкости. Очевидно, что для устранения этого дефекта необходимо применить ФВЧ. Хоро-

шие результаты обычно достигаются при использовании фильтров первого порядка с частотой среза 90–180 Гц (в зависимости от характеристик головки и ее акустического оформления).

Схема одного канала комбинированного фильтра, реализующего обе эти функции, показана на рис. 8.7. Конденсаторы C1, C2 – любые оксидные, например К50-24. При возможности вместо них лучше использовать неполярный оксидный конденсатор емкостью 220 мкФ. Катушка L1 наматывается на оправке диаметром 25 мм (длина намотки 24 мм) и содержит 160–170 витков провода ПЭВ-2 1,0 мм. Индуктивность катушки – порядка 0,6 мГ.

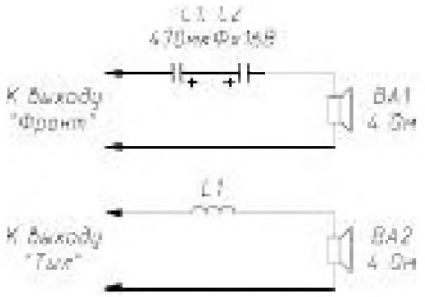


Рис. 8.7. Схема фильтров для магнитолы

Другое решение: переход к разнесенной (компонентной) акустике, в этом случае мидбасовые головки можно установить в подобающее акустическое оформление. В этом случае лучше применить *раздельное усиление* (Bi-amping), тогда появится возможность регулировать тональный баланс не только регуляторами тембра, но и соответствующим распределением мощности усилителей, что отчасти может компенсировать отсутствие эквалайзера. При использовании готового комплекта двухполосной АС проще всего использовать штатный кроссовер, разделив входы ФВЧ и ФНЧ для подключения к фронтальным и тыловым каналам. Кстати, такой вариант подключения предусмотрен в некоторых двухполосных коаксиальных громкоговорителях и компонентных АС. При самостоятельном изготовлении расчет фильтров производится по любой известной методике. Предпочтение следует отдать фильтрам первого порядка: они вносят минимальные фазовые искажения и потери, просты в изготовлении и настройке и мало чувствительны к отклонению номиналов элементов от расчетных.

При частоте раздела 5–7 кГц, характерной при использовании недорогих ВЧ-головок, наилучшим образом проявят себя в таком включении магнитолы с неравным распределением мощности между фронтальными и тыловыми

каналами (обычно 2 × 7 Вт фронт и 2 × 25 Вт тыл). Для упрощения фильтр в канале НЧ можно не использовать, поскольку естественный спад АЧХ большинства головок начинается в этой области частот. Правда, у головок с диффузором диаметром более 13 см возможно увеличение неравномерности АЧХ на высших частотах из-за перехода диффузора из поршневого режима работы в зонный. В этом случае необходимость применения фильтра в канале НЧ лучше выяснить опытным путем.

У магнитол с каналами равной мощности каналы, работающие на «пищалки», будут использовать не более трети своих возможностей. В этом случае есть смысл подумать о снижении частоты раздела до 1,5–3 кГц. Для этого требуются ВЧ-излучатели специальной конструкции с низкой частотой основного резонанса и ФВЧ высоких порядков. Стоимость их немалая, поэтому трехполосная фронтальная АС в этом случае может оказаться даже дешевле, а возможности по настройке сцены у нее заметно больше.

В качестве низкочастотного звена трехполосной АС при монтаже в двери желательно использовать автомобильные широкополосные или низкочастотные головки диаметром 16 см, или эллиптические «6 × 9». Автомобильные головки меньшего размера редко способны на полноценное воспроизведение частот ниже 100–120 Гц. Для корпусных АС «под сиденья» можно рекомендовать отечественные головки 25ГДН3-4 (фазоинвертор), 25ГДН4-4 (закрытый корпус). В качестве СЧ–ВЧ-звена на первом этапе пригодны коаксиальные головки диаметром 7,5–13 см.

В таком варианте частоту раздела между полосами НЧ и СЧ/ВЧ удобно выбрать в районе 350 Гц. В этом случае катушка L1 также наматывается на оправке диаметром 25 мм (длина намотки 24 мм), но содержит уже 230–240 витков провода ПЭВ-2 1,0 мм. Индуктивность катушки – порядка 1,8 мГ. Емкость конденсаторов С1, С2 нужно уменьшить до 220 мкФ или заменить одним неполярным емкостью 100 мкФ.

Более совершенная распределенная трехполосная АС имеет отдельные излучатели СЧ и ВЧ. Как упоминалось, применение разнесенных АС снимает ряд компоновочных ограничений и позволяет наилучшим образом использовать каждую головку. ВЧ-головки в трехполосных системах обычно работают при относительно высокой частоте раздела (5–7 кГц) и поэтому не требуют применения сложных фильтров. Для первых экспериментов вполне подойдут «пищалки», изъятые ранее из тыловых «коаксиалов», но лучше использовать специальные малогабаритные ВЧ-головки.

Доступные СЧ-головки (или широкополосные в роли СЧ) с «мягким» диффузором диаметром до 10 см вполне можно использовать только с ФВЧ, не ограничивая полосу частот сверху. Их АЧХ в рабочем диапазоне частот достаточно равномерна и плавно спадает на высоких частотах. Головки большего диаметра обычно обладают значительной неравномерностью АЧХ, в этом случае для СЧ-излучателей необходимы полосовые фильтры.

НЧ-головки трехполосных систем при частотах раздела порядка 500–800 Гц в ряде случаев можно включать без ФНЧ, учитывая естественный спад АЧХ и особенности акустического оформления. Это позволит снизить потери на активном сопротивлении катушки фильтра. Однако головки с диффузорами высокой жесткости часто имеют несколько резонансов в области СЧ, создающих призвуки. В этом случае ФНЧ необходим.

8.5. КОМБИНИРОВАННОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ НАГРУЗКИ

Традиционно многополосные АС подключаются каждая к своему каналу усилителя, в этом случае пассивные фильтры выполняются по схемам, рассмотренным ранее. Помимо этого, существуют различные варианты комбинированного подключения нагрузки. Они учитывают особенности построения усилителей, в частности возможность работы в мостовом включении. Нередко это позволяет простыми средствами добиться качественного звучания. Однако конструкция фильтров и порядок расчета в этом случае имеют некоторые особенности [75, 89].

Если усилитель не может работать в мостовом включении, это еще не означает, что его можно использовать только традиционным способом (как двухканальный). Суммируя сигналы на выходе, можно заставить два канала усилителя работать на общую нагрузку. Чаще всего такое включение используется при работе на сабвуфер, имеющий сдвоенную звуковую катушку. В этом случае каждая из обмоток соединяется с выходом отдельного канала (обязательно с соблюдением фазировки!).

Кстати говоря, наличие или отсутствие возможности мостового включения нельзя рассматривать как достоинство или недостаток. Усилители с возможностью работы в мостовом включении (таких среди автомобильных – подавляющее большинство) обладают б**о**льшей гибкостью применения, чем облегчают жизнь установщику (или владельцу). Однако оборотная сторона этой гибкости вызывает гнев аудиофилов. Дело в том, что инвертирующий и неинвертирующий каналы мостового усилителя выполнены

по одной схеме, но на пути сигнала в одном канале имеется дополнительный каскад, инвертирующий сигнал. Поэтому при использовании такого усилителя не в мостовом включении путь сигнала левого и правого каналов будет разным. Разным будет и время прохождения сигнала через усилительный тракт. Впрочем, ни измерить, ни услышать эту разницу практически невозможно, хотя любители эксперимента могут попробовать поменять местами каналы усилителя – вдруг вожделенная сцена станет туда, куда нужно, без лишних затрат...

Усилители с возможностью работы «мостом» при включении в двухканальный режим имеют особенность. Инверсия сигнала в одном из каналов учитывается обратной фазировкой динамиков одного канала. Это отмечено на выходных клеммах усилителя, поэтому нет нужды заглядывать в схему, но при включении усилителя в мостовой режим для подключения нагрузки нужно использовать именно указанные для этого клеммы – на другой («земляной») паре звука не будет совсем...

Мостовое включение нагрузки между левым и правым каналами в англоязычной литературе получило наименование *mixed mono* (смешанное моно). Низкочастотная головка включается по мостовой схеме *между* выходами усилителей *левого* и *правого* каналов, при этом сигналы суммируются и головка воспроизводит *монофонический* сигнал. При работе в мостовом режиме мощность суммарного канала теоретически равна *учетверенной* мощности одного исходного канала. Для ограничения частотного спектра сигнала можно использовать как активные, так и пассивные фильтры.

Но самый интересный вариант включения двухканального усилителя – *tri-mode*. Два канала усилителя работают каждый на свою акустическую систему («левый-правый») и оба вместе – на суммарный канал [75].

Для того чтобы не перегрузить выходные каскады усилителей, диапазоны рабочих частот левого-правого и суммарного каналов не должны пересекаться. Каналы усилителя используются как широкополосные, активными кроссоверами пользоваться нельзя, и применение пассивных фильтров на выходе неизбежно. Это один недостаток этого способа включения, не столь уж существенный. Поскольку многополосная акустика при работе с двухканальным усилителем уже использует пассивный кроссовер, добавление еще одного звена мало что изменит, кроме порядка расчета. Другой, более серьезный недостаток – невозможность регулировать соотношение мощностей каналов. Поэтому при выборе динамиков для работы в tri-mode необходимо учитывать их чувствительность и потери в пассивных фильтрах.

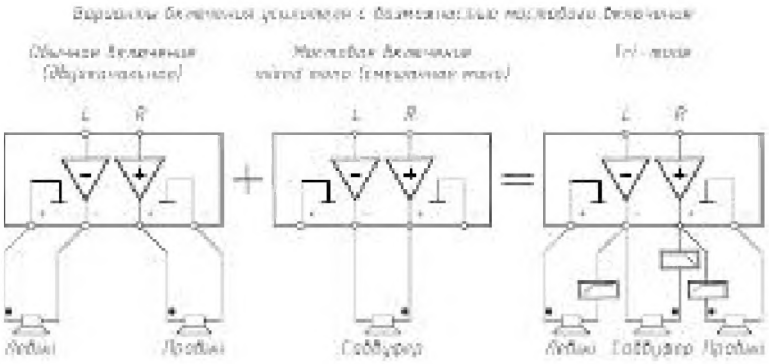


Рис. 8.8. Tri-mode для мостового включения

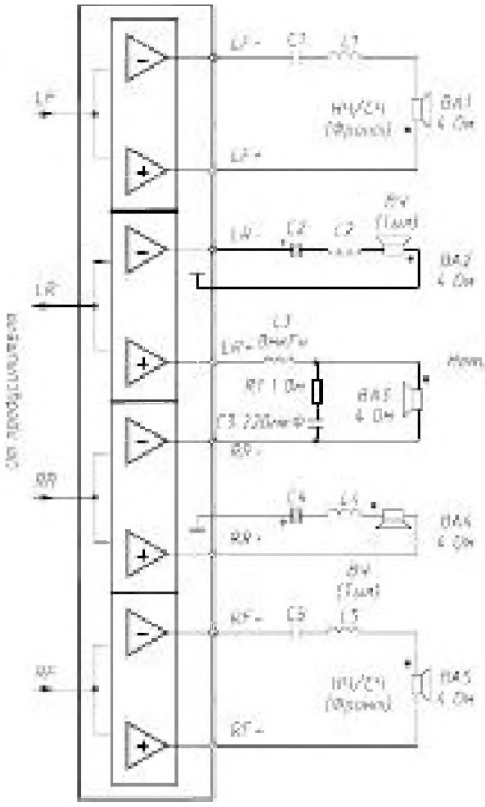
Обычно tri-mode и mixed mono используются только с двухканальными усилителями, но область применения метода можно расширить. Дальнейшее изложение ведется применительно к усилителям магнитол, но большинство предложенных решений можно использовать и с внешними усилителями [89].

На приводимых далее схемах указаны частоты среза, обеспечиваемые при наиболее распространенных стандартных номиналах конденсаторов. Пунктиром показаны необязательные элементы. Поскольку используются инвертирующие и неинвертирующие выходы встроенного усилителя магнитолы, обратите внимание на полярность подключения головок. В тех случаях, когда по схеме требуется соединение одного из выводов нагрузки с «массой», это необходимо делать на корпусе магнитолы или на «минусовом» проводе питания как можно ближе к ее корпусу.

Внимание! Соединение АС с «массой» автомобиля недопустимо!

Используя одновременно «смешанное моно» и обычную схему подключения, можно подключить сабвуфер, «пищалки» или тыловые АС (с ограничением полосы частот), а оставшиеся каналы использовать для мидбаса или фронтальной АС.

Другой вариант – трехполосная фронтальная АС с комбинированным подключением и подзвучка по схеме Хаффлера. Фейдер позволяет регулировать соотношение СЧ и НЧ, уровень ВЧ в процессе регулирования изменяется в пределах 6 дБ. Порядок подключения нагрузки выбран таким, что перегрузка усилителя не возникает даже при использовании НЧ-головок в полной полосе частот. СЧ-головки используются только с ФВЧ, что делает эту схему особенно привлекательной для начинающих (не нужно мотать катушки индуктивности). Словом, вариантов много, была бы фантазия.



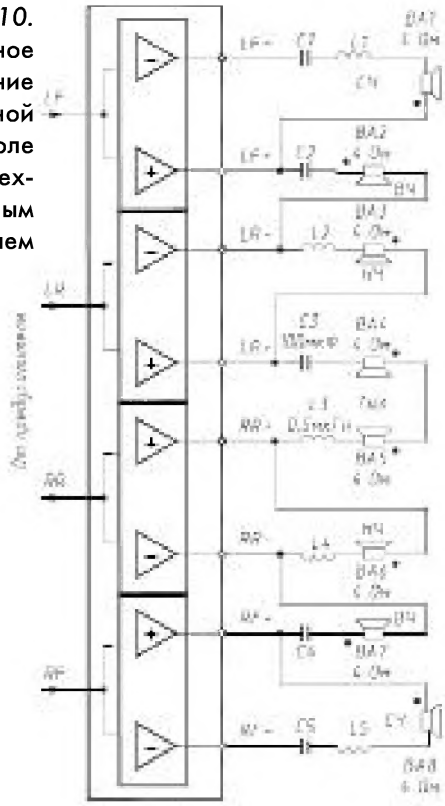
BA1, BA5	C1,C5 мкФ	L1, L5 мкГн
>90 Гц	470 (2x1000)	—
>120 Гц	150	—
>160 Гц	220 (2x470)	—
>3500 Гц*	—	0.2

*Зависит от реального динамика. Номиналы в скобках - для полярных конденсаторов

BA2, BA4	C2,C4 мкФ	L2, L4 мкГн
>150...2000 Гц	220	0.2
>400...7500 Гц	100	0.5
>3 кГц*	10	—
>5 кГц*	6.8	—
>7 кГц*	4.7	—

*Зависит от реального динамика

Рис. 8.9. Подключение сабвуфера к магнитоле с четырехканальным усилителем



BA2, BA4	L2, L4 мкГн
>350 Гц	1.8 мкГн
>500 Гц	1.5 мкГн
>800 Гц	0.8 мкГн

BA1, BA6	C1,C5 мкФ	L1, L5 мкГн
>160 Гц	220 (2x470)	—
>400 Гц	100 (2x220)	—
>700 Гц*	47	—
>3500 Гц*	—	0.2

BA3, BA7	C3,C6 мкФ
>3 кГц*	10
>5 кГц*	6.8
>7 кГц*	4.7

*Зависит от реального динамика. Номиналы в скобках - для полярных конденсаторов

Рис. 8.10. Смешанное подключение трехполосной АС к магнитоле с четырехканальным усилителем

8.6. МАЛОСИГНАЛЬНЫЕ ПАССИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Все приведенные ранее решения объединяет один недостаток – пассивные разделительные фильтры на выходе усилителя. Из-за достаточно большой емкости в них приходится применять оксидные конденсаторы, негативное влияние которых на качество звучания общеизвестно. Можно набрать соответствующие «батареи» из бумажных или полипропиленовых конденсаторов, но габариты и стоимость этих узлов превзойдут все разумные пределы.

Изготовление катушек индуктивности для низкочастотных звеньев кроссовера являются серьезным испытанием для любителя. При использовании распространенных обмоточных проводов диаметром 1–1,5 мм трудно получить активное сопротивление меньше 0,5 Ом, что означает ощутимую потерю и без того небольшой мощности встроенных усилителей. Применение ферромагнитных сердечников одновременно со снижением потерь ухудшает качество звучания.

Кроме того, в процессе настройки нередко возникает необходимость изменить частоты раздела полос или уровень сигнала, подводимый к отдельным головкам. Можно предусмотреть аттенюаторы, переключаемые емкости и индуктивности, но это сильно усложняет конструкцию и увеличивает ее стоимость, особенно для фильтров высоких порядков. Ведущие производители автомобильных АС выпускают несколько моделей «универсальных» кроссоверов с переключаемыми частотами раздела. Как правило, в них использованы фильтры первого порядка. С целью повышения надежности и уменьшения стоимости переключатели применяются редко, а настройка производится подключением к соответствующим клеммам.

Большинства этих проблем можно избежать, если перенести разделительные фильтры с выхода усилителей на их вход и перейти к многополосному усилению. Как показала практика, для этого вовсе не обязательно использовать активные фильтры высоких порядков. Даже при использовании пассивных фильтров первого порядка на входе УМЗЧ качество звучания заметно выше, чем при тех же частотах раздела, но с фильтрами на выходе. Целесообразно применять RC-фильтры, так как для LC-фильтров требуется хорошее согласование входных и выходных сопротивлений.

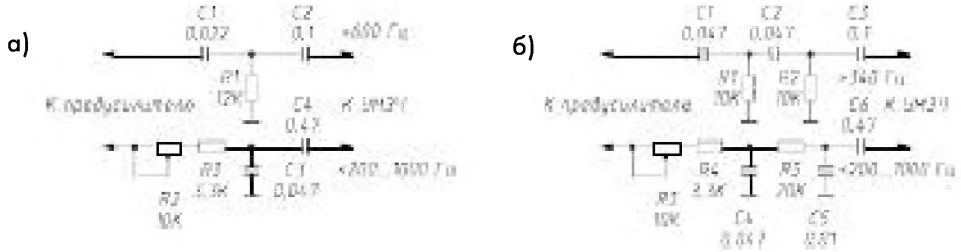
Этот вариант наиболее удобен при использовании современной магнитолы с четырехканальными мостовыми усилителями равной мощности и трехполосной фронтальной АС. В этом случае одна пара каналов используется для

усиления сигналов в полосе НЧ, а вторая – в полосе СЧ/ВЧ. Для разделения сигналов СЧ и ВЧ применяется пассивный фильтр на выходе усилителя, конструкция которого для этих частот достаточно проста. Можно использовать варианты смешанного подключения, однако для сабвуфера лучше использовать отдельный усилитель [48, 115].

Приобретение малогабаритных четырехсекционных переменных резисторов, необходимых для перестройки фильтра второго порядка, обычно представляет проблему. Можно ограничиться фильтром первого порядка или перестраивать в фильтре второго порядка только одно звено. Кроме того, при расчете фильтров нужно учитывать входное сопротивление микросхем УМЗЧ. Как правило, оно составляет 25–35 кОм. Удобнее перестраивать частоту среза канала НЧ.

В качестве примера приведены схемы фильтров первого (рис. 8.11а) и второго (рис. 8.11б) порядков, спроектированные по этим принципам [115]. В схему магнитолы их удобнее всего включить вместо разделительных конденсаторов на входе УМЗЧ (для этого они перенесены на выход фильтров). Большинство производителей магнитол указывают на плате функциональное назначение выводов микросхемы, так что найти входы нужных каналов и соответствующие им конденсаторы не составит труда. При отсутствии маркировки и документации на микросхему назначение выводов можно определить, поочередно подавая на них сигнал частотой 1 кГц и амплитудой 30–50 мВ от генератора ЗЧ через конденсатор емкостью 0,01 мкФ и прослушивая его на подключенные к выходам динамические головки.

Рис. 8.11. **Фильтры на входе усилителей**



Детали в конструкции фильтра можно использовать любые, желательно малогабаритные, поскольку свободного места внутри магнитолы немного. Рекомендуются постоянные резисторы МЛТ-0,125, конденсаторы серии К73, сдвоенные переменные резисторы СП2-6в, СП3-4дМ, СП3-33-23, счетверенные СП3-33-33. Монтаж может быть как навесной, так и печатный – все зависит от возможностей любителя. Общий провод фильтров необходимо соединить с общим проводом магнитолы, лучше всего на отрицательном

выводе конденсатора фильтра питания (в магнитоле это оксидный конденсатор самой большой емкости, обычно 4700 мкФ и больше).

Регулятор частоты среза нужно разместить так, чтобы иметь к нему доступ. В «цельносъемных» моделях магнитол его можно вывести «под шлиц» или с утопленной рукояткой на заднюю, верхнюю или боковую панель. В магнитолах со съемной или откидной панелью управления удобнее вывести регулятор на переднюю панель, чтобы доступ к нему был оперативным. Как правило, слева от ЛПМ есть место, достаточное для монтажа регулятора. В CD-ресиверах привод занимает почти всю ширину корпуса, но малогабаритный переменный резистор вполне можно разместить и там.

8.7. ВЫБОР СТРУКТУРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО ТРАКТА

Наращивание автомобильной аудиосистемы обычно начинается с приобретения усилителя. Поскольку качество звучания встроенных усилителей головных аппаратов за последние годы заметно улучшилось, часто ограничиваются только добавлением сабвуфера. В этой ситуации выбор идет между активным сабвуфером, одноканальным или двухканальным усилителем [40, 115].

Активный сабвуфер – вещь удобная, все «в одном флаконе», установка и подключение не требуют профессионального подхода. Еще одно достоинство – малое потребление энергии. Уже несколько лет в активных сабвуферах используют экономичные импульсные усилители класса D. Однако такие сабвуферы рассчитаны на некий «средний» салон, поэтому при высоких требованиях к «количеству и качеству» баса лучше использовать индивидуально спроектированный сабвуфер с отдельным усилителем [42]. Поскольку сигнал для сабвуфера нужен монофонический, сигналы левого и правого каналов перед подачей на усилитель необходимо суммировать. Обычно и сложение сигналов, и фильтрация полученного сигнала выполняются одним устройством, входящим в состав специализированного усилителя для сабвуфера. Однако «узкая специализация» усилителя не может не отразиться на его цене, да и ассортимент невелик. Поэтому выбор обычно делается в пользу двухканального усилителя в мостовом режиме [68].

В тех случаях, когда возможности головного аппарата исчерпаны, нужен усилитель с числом каналов б**о**льшим, чем два. Самые «продаваемые» усилители в модельном ряду любой фирмы – четырехканальные. Благодаря наличию четырех каналов можно использовать их как порознь, так и совместно в мостовой или обычной схеме включения

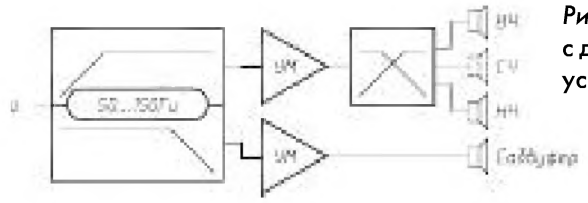
(или их комбинациях). Давать какие-либо конкретные рекомендации здесь трудно – все зависит от модели. Описанные выше комбинированные варианты подключения нагрузки вполне применимы и к четырехканальным усилителям, но особой популярностью пользуется режим «**2+1**». Два канала включаются мостом на сабвуфер, а два оставшихся – как обычно, на левую и правую акустические системы. Поскольку каналы усилителя при таком включении полностью независимы, можно использовать встроенные кроссоверы усилителя. Кроссоверы многих недорогих усилителей учитывают эту особенность: в одной паре каналов использован только ФНЧ, в другой – только ФВЧ [60]. При желании можно организовать tri-mode и в этом случае, причем суммарных каналов может быть даже два!

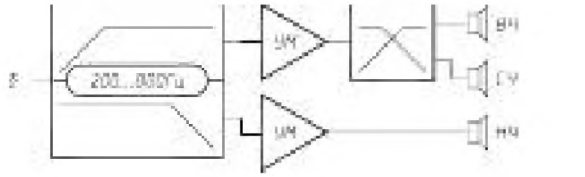
Усилительный тракт можно выполнить по нескольким структурным схемам, используя различные варианты разделения частот и разные типы фильтров. Наибольшей гибкостью обладают системы с многополосным усилением, выполненные по принципу «каждому динамику – свой усилитель». Однако стоимость многополосных систем пока выше, чем с широкополосным усилителем. Исключением из этого правила являются некоторые пятиканальные усилители, позволяющие построить полноценную систему без дополнительных компонентов.

На рис. 8.12 показаны основные варианты построения тракта сигнала с двухполосным усилением, на рис. 8.13 – с трехполосным. Частота раздела полос между сабвуфером и фронтальной АС во всех случаях выбирается в диапазоне 50...150 Гц. Частота раздела полос НЧ и СЧ выбирается в диапазоне 200...800 Гц, СЧ и ВЧ – 2...7 кГц. В некоторых вариантах наряду с активным кроссовером используются пассивные разделительные фильтры, но в последнее время доля таких установок уменьшается. Поскольку для «пищалок» нужна существенно меньшая мощность, в некоторых случаях вполне можно использовать встроенный усилитель головного устройства и обойтись четырехканальным внешним усилителем. Другой возможный вариант – последовательное включение двух пищалок в каждом канале. В этом случае подводимая к каждой из них мощность не превысит 25% от мощности усилительного канала.

Наиболее рациональна на сегодняшний день структура «2,5 полосы» с раздельным усилением полос НЧ и СЧ/ВЧ. Эти полосы разделяются активным кроссовером, а СЧ и ВЧ – пассивным. Такая структура обладает достаточной гибкостью и в то же время не требует серьезных затрат.

Для простых мультимедийных систем используется структура с широкополосными усилителями для каждого





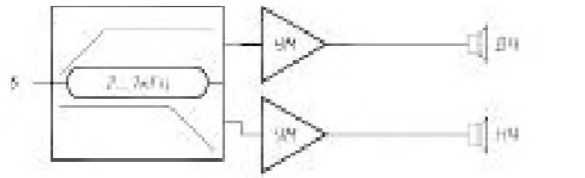


Рис. 8.12. Тракты с двухполосным усилением

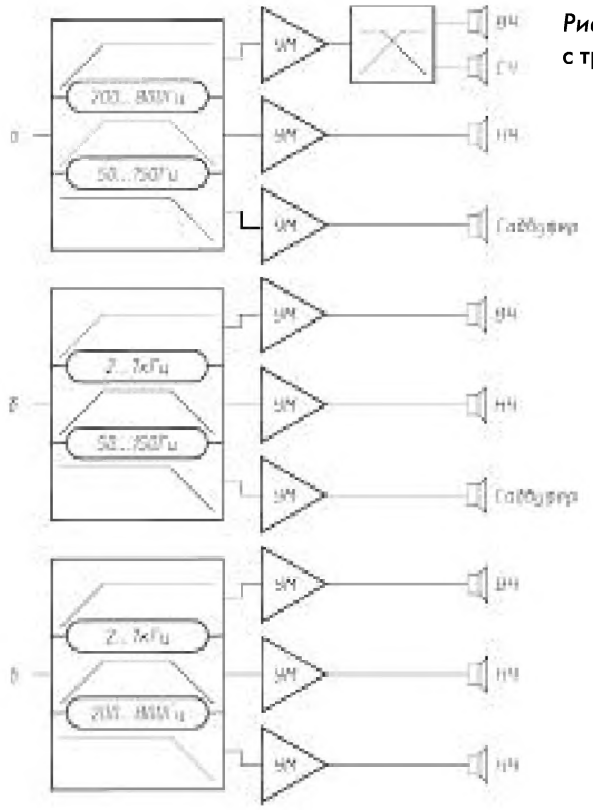


Рис. 8.13. Тракты с трехполосным усилением

канала. В более сложных системах для фронтальных каналов могут использоваться рассмотренные варианты двух- и трехполосного усиления.

9. МОНТАЖ АУДИОСИСТЕМЫ

Для получения от автомобильной аудиосистемы высококачественного звучания ее необходимо не только правильно спроектировать, но и тщательно изготовить. Чтобы ее эксплуатация не вызывала проблем, помимо акустических и схемотехнических требований, необходимо соблюсти правила техники безопасности и эргономики. В этой главе даны краткие рекомендации, которые позволят избежать наиболее типичных ошибок, способных свести на нет все конструкторские ухищрения и смелые замыслы [2, 115].

Прежде чем приступать к монтажу аудиосистемы в автомобиле, нужно позаботиться о хорошей организации работ. Нет ничего хуже, чем лихорадочно разыскивать нужный инструмент или прикидывать размеры «на глаз». Со временем у каждого мастера появляются свои приемы работы и свои излюбленные материалы, но для начала за основу можно взять следующий список:

- провода соответствующего сечения и длины; держатель предохранителя и запасные предохранители, клеммы и разъемы. Запаситесь достаточным количеством «безразмерных» затягивающихся хомутиков для крепления жгутов проводки (все это обычно входит в готовые монтажные комплекты – недорого и удобно);
- крепеж (саморезы, винты, гайки, шайбы и т. д.);
- изоляционная лента – и немало. Убедитесь, что она выдерживает полный диапазон температур в автомобиле;
- термоусадочная трубка и гофрированная трубка (простая и разрезная). Прекрасно защищает провода, особенно в моторном отсеке, к тому же вполне эстетична;
- крепежные хомутики, изоляционные втулки, пистоны, трубочки;

- различные гаечные ключи, плоскогубцы, головки – в зависимости от типа автомобиля;
- набор плоских и крестовых отверток различного размера. Большую помощь при работе в труднодоступных местах окажут магнитная отвертка и угловая отвертка с «карданчиком»;
- дрель/шуруповерт с набором «пит» (вставок под различные шлицы);
- сверла ходовых размеров («под винт» и «под резьбу»);
- пила по металлу или электролобзик с набором полотен;
- сапожный нож и термопистолет с клеем для доработки панелей и установки их на место;
- тепловой пистолет (строительный фен). Незаменим при обтяжке криволинейных поверхностей и просушке клеевых соединений;
- паяльник;
- мультиметр или тестер;
- проволочная петля или тросик для протягивания проводов в труднодоступных местах;
- маленький фонарик или переносная лампа;
- рулетка, угольник, линейка или складной метр.

Электроинструменты незаменимы при всех работах и экономят массу времени и сил, поэтому все необходимое приобретайте сразу, не откладывая. Потом в хозяйстве пригодится.

9.1. СТЕКЛОПЛАСТИК

Стекловолокно как конструкционный материал обладает целым рядом преимуществ. Но основное свойство – очень высокая прочность и жесткость при малом весе. Конструкции из стеклопластика и композитных материалов широко используются не только в процессе установки аудиосистемы, но и для изготовления индивидуальных деталей (бамперов, торпедо, накладок).

Для создания детали из стеклопластика необходимы три компонента: *стеклоткань*, *полиэфирная смола* и *отвердитель*. Применяются два вида стеклоткани. Один из них представляет собой *рогожку* (Wowen mat) – довольно толстые волокна переплетены так, что получилась плотная ткань. Другой вид – *насечка* (Chopened mat) – потоньше, попроще и подешевле. Ее более тонкие волокна не переплетены, а просто спрессованы вместе (иногда с помощью фиксирующих растворов).

Для работы со стеклотканью используют полиэфирную смолу (Polyester resin). Одна из главных составляющих полиэфирной смолы – мономер стирена, выделяющий харак-

терный запах и служащий для разжижения самой смолы. В качестве отвердителя используется перекись метилэтилкетона. Это прозрачная жидкость, очень летучая, легко воспламеняющаяся и относящаяся к классу опасных химических веществ. При соединении смолы и отвердителя (он действует как катализатор) происходит реакция с выделением тепла, благодаря которой смола твердеет.

Подготовка смолы к работе заключается в смешивании ее с отвердителем (1–1,5% отвердителя от объема смолы). Как правило, на емкостях уже есть маркировка, которая облегчит дозировку компонентов. Следует помнить, что время застывания зависит от температуры компонентов и температуры в помещении. Если температура в помещении ниже 20 градусов, то время застывания смолы может составлять более 12 часов. Для ускорения этого процесса рекомендуется перед добавлением отвердителя нагреть смолу до 25–30 градусов. Кроме того, со временем смола теряет свои свойства, время застывания соответственно увеличивается. Срок хранения смолы обычно не превышает трех месяцев.

Необходимо помнить про соблюдение основных требований техники безопасности. Компоненты смолы легко воспламеняются и ядовиты, поэтому нужно быть осторожным при хранении. Для работы с ними неплохо оборудовать рабочее место вытяжкой. А при обработке готовой детали обязательно пользоваться респираторами, так как попадание стекловолоконной пыли в легкие чревато серьезными последствиями.

Крупные промышленные производители полиэфирных и эпоксидных смол в России, к сожалению, не обеспечивают стабильного качества смолы. Ее свойства сильно отличаются от партии к партии, что значительно усложняет работу. Некоторые сорта эпоксидной смолы предназначены для горячей сушки, но на упаковке может не оказаться никаких указаний на этот счет. Те, кто пробовал работать с дешевыми смолами, не раз попадали в ситуацию, когда приготовленная смесь отказывалась застывать даже спустя сутки и более. Поэтому рекомендуется при работе с новой партией предварительно провести тест на «схватываемость» или попробовать сушку при температуре 70...80 градусов. Хорошие результаты дает применение теплового пистолета. Прогрев в течение нескольких минут активизирует процесс полимеризации.

9.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО ОФОРМЛЕНИЯ

Следуя по пути наименьшего сопротивления, проще всего поставить динамические головки в предусмотренные для этой цели штатные места. Так обычно и поступают начинающие автомеломаны. Однако конструкторы автомоби-

лей совершенно не разбираются в акустике, поэтому представления об акустическом оформлении у них могут очень сильно отличаться от общепринятых. Как правило, штатные места в передней части салона рассчитаны на установку малогабаритных головок 7,5–10 см (в массе своей не способных на качественное звуковоспроизведение), а направление излучения можно объяснить только странной прихотью дизайнера. Лишь в последнее время получили распространение посадочные места размером 13–16 см.

Условия работы правого и левого громкоговорителей обычно не имеют ничего общего. Особенно грешат этим отечественные автомобили, в большинстве которых установка фронтальных громкоговорителей вообще не предусмотрена (а если предусмотрена, то противопоказана). Поэтому автомобилисту-патриоту волей-неволей приходится проявлять немалую изобретательность при проектировании и изготовлении акустической системы для автомобиля.

9.2.1. Особенности автомобильных АС

По конструктивному исполнению автомобильные АС можно разделить на встроенные и корпусные. Для встроенных АС акустическое оформление в значительной мере (а нередко и полностью) создается элементами конструкции кузова и салона автомобиля. Это прежде всего штатные или созданные самостоятельно посадочные места в дверях, задней полке, приборной панели. Как правило, акустическое оформление в этом случае открытое. Корпусные АС используются для создания различных вариантов закрытого и фазоинверсного оформления.

При любом варианте установки динамической головки в дверь получившееся акустическое оформление обладает достаточно большим объемом (20–30 и более литров в зависимости от типа автомобиля). С другой стороны, герметичность весьма условна. Даже при герметизации внутренней облицовки по периметру остаются уплотнения стекла, отверстия для стока воды, ручки замков. Вследствие этого акустическое оформление головки при установке в дверь обычно ближе к акустическому экрану, нежели к закрытому корпусу. Если в двери необходимо организовать оформление типа ЗЯ или ФИ, зачастую проще специально изолировать там нужный объем, чем герметизировать всю дверь.

При установке излучателей в заднюю полку нужно учитывать, изолирован ли объем багажника от салона. Для отечественных «классических» автомобилей «ВАЗ» багажник отделен от салона только картонной перегородкой. Его герметичность определяется исключительно плотностью прилегания и конструкцией спинки заднего сиденья (она мо-

жет быть оборудована откидным подлокотником). У многих иномарок, наоборот, багажник отделен от салона сплошной металлической перегородкой или бензобаком. У машин с кузовами «универсал» и «хетчбек» багажное отделение вообще не изолировано от салона, поэтому акустическое оформление тыловых АС в этом случае – типичный акустический экран.

Альтернативный вариант, лишенный этих недостатков, – корпусные акустические системы. Их достоинства особенно ярко проявляются при установке под передними сиденьями. Идея не новая, двух-, трех и даже четырехполосные автомобильные акустические системы «почти как дома» были очень популярны в первой половине 80-х. В пору расцвета это были добротные изделия – с жесткими корпусами, хорошими разделительными фильтрами и продуманным креплением. Готовые корпусные колонки неплохо вписывались в интерьер автомобиля и устанавливались без проблем. Довольно быстро они «ушли» с задней полки и заняли место под передними сиденьями, где они уже не так бросались в глаза недоброжелателям. Между делом обнаружилось, что звучание от «переезда» только выиграло. Но как только производители автомобилей уделили внимание штатным местам, позиции корпусной акустики пошатнулись, а с появлением сабвуферов такие АС и вовсе сошли со сцены, уступив место коаксиальной и компонентной акустике.

Диалектика учит нас, что развитие идет по спирали. Поэтому возобновление интереса к акустическим системам под передними сиденьями закономерно – это позволяет относительно простыми средствами решить проблему «переднего баса». В продаже есть достаточно интересные корпусные АС отечественного и зарубежного производства, но жесткость их корпусов обычно недостаточна.

9.2.2. Установка головок

При установке головки с внутренней стороны панели диаметр отверстия для нее должен быть равен диаметру диффузора с учетом гофра, чтобы исключить возможность касания панели во время работы. При использовании панелей толщиной более 5–10 мм образующийся перед головкой «тоннель» (рис. 9.1а) может увеличить неравномерность АЧХ в области частот выше 1 кГц за счет интерференционных явлений и резонансов. Для уменьшения влияния на АЧХ в отверстии нужно снять фаску (рис. 9.1б) или скруглить кромку (рис. 9.1в). Обратите внимание на тот факт, что штатные посадочные места во многих автомобилях вопреки здравому смыслу отличает именно глубокая

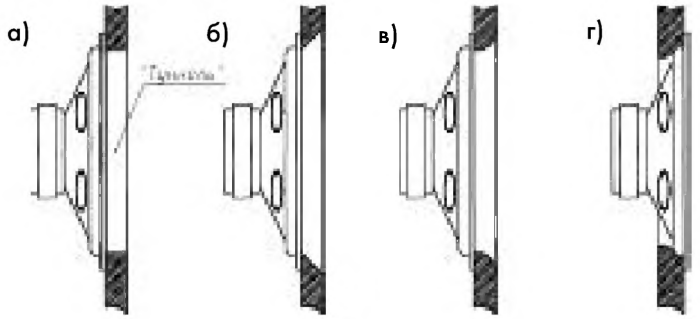


Рис. 9.1. Варианты установки динамической головки

установка головок (15–50 мм), а конструкция защитных решеток не отвечает акустическим требованиям.

При установке с наружной стороны диаметр отверстия выбирается по габаритам диффузородержателя. Для широкополосных и СЧ-головок такой вариант установки предпочтителен, особенно при большой толщине панелей (рис. 9.1в). При установке импортных головок для разметки отверстий можно воспользоваться нанесенными на упаковочной коробке шаблонами.

Диффузор в любом случае необходимо защитить от повреждений тонкой решеткой или сеткой с ячейками 2–10 мм. Увеличение размера ячейки уменьшает акустическое сопротивление решетки и вносимые ей искажения АЧХ, но увеличивает риск случайного повреждения. Неплохо таким же образом защитить порт или тоннель фазоинвертора от попадания посторонних предметов, что особенно актуально при установке сабвуфера в багажнике.

Защитная сетка входит в комплект поставки большинства автомобильных громкоговорителей или может приобретаться отдельно. Для купольных головок она является элементом конструкции. При создании оригинального стилевого оформления нередко используют защитные решетки самостоятельного изготовления. Материалом для элементов конструкции служат алюминиевые и титановые сплавы, нержавеющая сталь, органическое стекло. В качестве конструктивных элементов используют лист, прутки и трубки, которым придается необходимая конфигурация.

Динамические головки, если в их конструкции не предусмотрено посадочное уплотнение, следует устанавливать на панель через прокладку из губчатой резины или резиновой трубки. Это требование в равной степени призвано обеспечить как герметичность конструкции, так и механическую развязку головки от корпуса. Крепление головок

Рис. 9.2. Варианты выполнения защитных решеток

осуществляется при помощи винтов, шурупов или шпилек. Их не следует затягивать слишком сильно, чтобы не вызвать перекос диффузородержателя и подвижной системы и не увеличить вибрации. Особенно это относится к низкочастотным головкам.

При установке динамических головок в двери или на панели *монтажная глубина* (рис. 9.3) нередко превышает имеющуюся в наличии. В этом случае необходимо изготавливать *подиумы* (специальные корпуса) или *проставки* кольцевой либо более сложной формы, попутно позволяющие установить динамическую головку под некоторым углом (рис. 9.4).

Рис. 9.3. Монтажная глубина

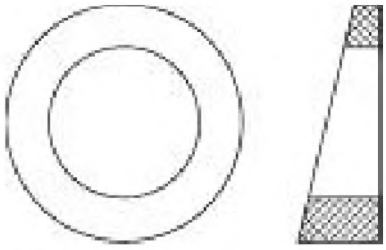


Рис. 9.4. Проставки

9.2.3. Герметичность

В любом акустическом оформлении следует избегать каких-либо щелей и отверстий, корпус должен быть максимально герметичным. Перетекание воздуха с задней стороны диффузора и связанные с этим потери – основная причина значительного отклонения измеренных АЧХ на низких частотах от расчетных. Отверстия или щели вблизи места установки головки приводят к акустическому короткому замыканию, вследствие чего воспроизведение низших частот резко ухудшается. При установке трубы фазоинвертора также необходимо обеспечить герметичность ее стыка с панелью. С этой же целью в конструкции корпусных АС рекомендуется применять проходные разъемы, установленные на корпусе. Вывод кабеля через резиновые втулки часто не обеспечивает должной герметичности. Поскольку компоненты аудиосистемы не должны затруднять технического обслуживания автомобиля, наличие быстро отсоединяемых разъемов улучшает эксплуатационные характеристики.

При оформлении «акустический экран» и «открытый корпус», которые применяются для широкополосных и

СЧ-головок, требование герметичности желательно выполнить для всей передней панели. Если это невозможно, следует обеспечить такое условие хотя бы в пределах площади, ограниченной удвоенным размером диффузора головки. Это относится прежде всего к установке динамических головок в двери и в заднюю полку.

9.2.4. Жесткость

Материал корпуса должен обеспечивать жесткость панелей, особенно той, на которой смонтированы головки. Это требование относится в равной степени к открытому и закрытому оформлению. Наиболее подходящие материалы из доступных – фанера, ДВП и ДСП. Для изготовления криволинейных поверхностей применяются *композитные материалы* (стеклоткань, углеволокно, бумага, картон, эпоксидные смолы, стеклотекстолит, пенопласт и т. д.). Энтузиастами car audio разработано немало интересных технологий, которые будут рассмотрены далее.

Чем больше размеры корпуса и мощность головки, тем толще должен быть материал корпуса. Для сабвуферов мощностью до 50 Вт толщина панелей под излучатель должна быть не меньше 15 мм, прочих – не менее 10 мм. При использовании головок большей мощности толщину панелей необходимо увеличить. Жесткость панелей большого размера без увеличения их толщины можно обеспечить при помощи дополнительных распорок между противоположными стенками, или ребрами жесткости, в виде прикрепленных к панели брусков. Еще большую жесткость обеспечивают шпангоуты в виде рамок замкнутого профиля, вклеенные в пазы панелей. Они же могут быть образующей для панели сложной формы из стеклопластика. Материал для шпангоутов – фанера толщиной 10–12 мм (рис. 9.5).

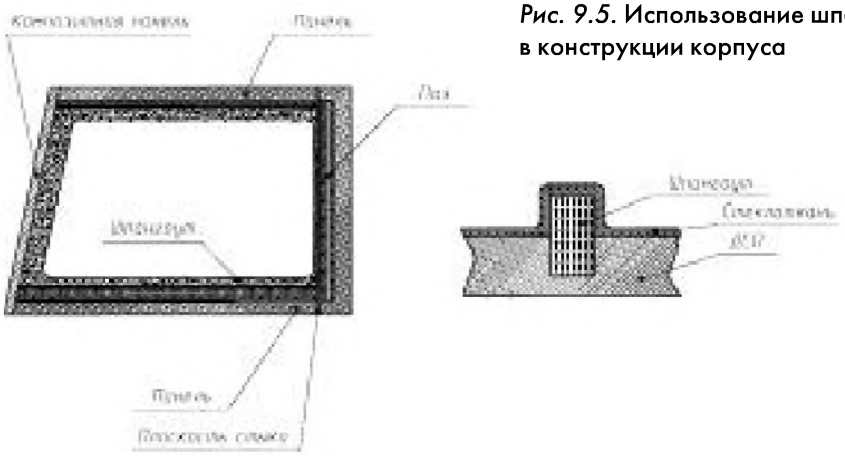


Рис. 9.5. Использование шпангоутов в конструкции корпуса

С другой стороны, необходимо обеспечить демпфирование упругих колебаний панели. Проще всего сделать это на границе раздела разнородных материалов. Отличные результаты дает применение многослойных панелей – *сэндвичей* (фанера + ДСП, ДСП + стеклоткань) и демпфирование панелей шумопоглощающими мастиками.

9.2.5. Наполнитель

Введение поглощающего наполнителя (звукопоглотителя) в конструкцию позволяет превратить адиабатический процесс сжатия-расширения воздуха в корпусе АС в изотермический, что эквивалентно увеличению его объема на 25–30%. Соответственно, снижается и резонансная частота громкоговорителя, в пределе это снижение достигает 0,85 от исходной величины для незаполненного корпуса. Кроме того, *звукопоглотитель* позволяет исключить отражения сигнала и резонансные явления, что благоприятно сказывается на результирующей АЧХ акустической системы. Экспериментально установлено, что наиболее эффективен этот метод для корпусов небольшого объема. Концентрация звукопоглотителя должна составлять 20–24 г на литр объема. На практике необходимое количество можно установить, измеряя частоту основного механического резонанса головки в данном акустическом оформлении. Добавление звукопоглотителя прекращают после того, как резонансная частота головки перестанет снижаться.

Для закрытого оформления необходимо заполнить приблизительно 60% объема позади головки. Для фазоинвертора и пассивного излучателя достаточно нанести звукопоглотитель на заднюю (обязательно) и боковые (желательно) стенки слоем толщиной не менее 20–30 мм. В резонансных камерах акустических оформлений высоких порядков звукопоглотитель не столь обязателен, но в некоторых случаях может быть полезным нанести его на одну из стенок слоем 10–20 мм для уменьшения отражений.

Звукопоглощающий материал для заполнения внутреннего объема корпуса должен быть рыхлым и пористым. Применимы: вата в виде матов (для закрытого оформления можно в матерчатом или марлевом мешке), дакрон (синтепон). Удобно применять крупнопористый листовой поролон (пенополиуретан) в виде ковриков и матов толщиной 20–50 мм. Не следует размещать звукопоглотитель вблизи отверстия или трубы фазоинвертора, так как чрезмерное демпфирование может привести к полному прекращению действия фазоинвертора. Маты крепят к внутренним поверхностям корпуса гвоздями, шурупами или клеем.

9.2.6. Изготовление прямоугольных корпусов

Технология изготовления корпусов прямоугольной или трапециевидной формы из фанеры и ДСП неоднократно описывалась на страницах популярных изданий, поэтому здесь будет освещена вкратце. Для изготовления такого корпуса не требуются выдающиеся столярные способности и сложные инструменты, поэтому подобные конструкции рекомендуются начинающим.

Минимально необходимый набор инструментов:

- электролобзик или пила по дереву с мелким зубом (чтобы не крошились кромки фанеры и ДСП);
- электродрель с набором сверел;
- кругорез или тот же электролобзик для вырезания отверстий под головки;
- полукруглый рашпиль или грубый напильник для обработки кромок отверстий и их подгонки;
- шлифовальная машинка или насадка к электродрели для чистовой обработки корпуса.

В отличие от «домашних» АС, требования к отделке корпуса в данном случае вторичны (зачастую кроме владельца его никто не увидит). Основные требования – прочность, надежность и герметичность. Проще всего соединять панели при помощи металлических уголков или деревянных брусков. Кроме того, деревянные бруски позволяют довольно просто изготовить скошенные корпуса, более приспособленные к установке под передними сиденьями или за спинкой заднего.

В любом случае панели и связующие элементы устанавливают на клею и крепят шурупами или винтами. Выбор достаточно большой, но наиболее удобны эпоксидная смола и клей ПВА. Столярный клей, хотя и обеспечивает прочное соединение, недостаточно стоек к перепадам температуры и влажности. Для ускорения процесса полимеризации эпоксидной смолы можно использовать строительный фен или электронагреватель (соблюдая правила противопожарной безопасности).

Стыки готового корпуса герметизируют изнутри. Для этой цели можно использовать эпоксидную смолу, различные герметики и мастики. Рекомендуемый обычно для «домашних» конструкций пластилин в условиях больших перепадов температуры и влажности абсолютно непригоден: он затвердевает и трескается. Для заделки наружных щелей на стыке панелей можно использовать смесь древесных опилок с клеем или эпоксидной смолой или соответствующие шпаклевки. Готовый корпус необходимо ошкурить; за-

тем его можно зашпаклевать, загрунтовать и покрасить или отделать ковровым покрытием. Внутренние поверхности корпуса следует хорошо задемпфировать. Наружные поверхности акустического оформления, установленного в салоне, обычно обтягивают *винилом* (кожзаменителем) или карпетом (ковровым покрытием).

Для небольших поверхностей можно использовать окраску «под шагрень». Получить однородное покрытие на большой площади проблематично. Сначала поролоновым или тканевым тампоном наносится слой полиуретановой грунтовки УР-0219, а поверх нее – в несколько слоев черная матовая акриловая краска Abro (аэрозоль). Технология требует проб и ошибок. Главное – не наносить первые слои с большого расстояния: чем ближе, тем лучше фактура.

9.2.7. Изготовление корпусов сложной формы

Корпусы прямоугольной или трапециевидной формы просты и технологичны, но неэкономно используют пространство под сиденьями или в багажнике. Этот недостаток устранен в корпусах класса *стелс* (невидимка). Для максимального использования объема (обычно это ниша в крыле или место для запасного колеса) одна или несколько поверхностей, а иногда и весь корпус, выклеиваются из стеклоткани «по месту». Технология изготовления такова.

Очищенная и подготовленная полость (матрица будущего корпуса) смазывается маслом и выстилается полиэтиленовой пленкой. Затем на пленку укладываются два-три слоя стеклоткани, предварительно пропитанной эпоксидной смолой. Куски лучше использовать небольшие, чтобы избежать образования складок при формовке сложных поверхностей. Стеклоткань тщательно разглаживается для удаления воздушных пузырей и излишков смолы. После полимеризации получившаяся «скорлупа» аккуратно извлекается из «матрицы». Дальнейшее выклеивание производится *внутрь*, чтобы не нарушить форму и размеры будущего корпуса. Не следует торопиться и укладывать более двух-трех слоев стеклоткани за один раз.

В процессе выклеивания в стенках корпуса заформовывают *элементы жесткости*: деревянные бруски, фанерные распорки, шпангоуты или полосы углеленты. Если корпус не имеет отдельной передней панели, на этом этапе необходимо заформовать фанерное кольцо для крепления динамической головки. После того как толщина стенок дойдет до 5–10 мм (в зависимости от размера корпуса), он стыкуется с передней панелью. Остаются отделка наружной поверхности и демпфирование внутренней. Для контроля

объема и его герметичности внутрь заливают воду. Излишки объема можно устранить, вклеивая внутрь корпуса куски пенопласта.

Другая, не менее интересная технология тоже использует стеклоткань для изготовления оболочечных корпусов. Наибольшее распространение она получила при изготовлении подиумов для установки головок на двери или в кик-панели. Есть две ее разновидности – выклейка по модели и использование поверхности минимальной кривизны («текстильная технология»).

Если предполагается «серийное» изготовление, то модель можно сделать из дерева, гипса или металла для многократного использования. При этом возникает ряд проблем с установкой закладных элементов крепления и элементов жесткости. В любительских условиях легче использовать одноразовую модель из пенопласта. Предварительно изготавливается каркас, фиксирующий положение опорного кольца для крепления головки относительно установочной поверхности подиума. Каркас может быть картонным, проволочным, спаянным из фольгированного стеклотекстолита. Затем на каркасе фиксируются куски пенопласта, поверхности оформляются монтажной пеной «Макрофлекс». После этого модель доводится до требуемой формы, размеров и оклеивается стеклотканью вместе с установочным кольцом. Если внутренний объем подиума нужен полностью, модель можно разрушить и извлечь по частям, либо растворить ацетоном. В ряде случаев модель оставляют, чтобы получить дополнительную жесткость и прочность корпуса. Можно обойтись и без пенопласта, выклеив внутренний слой корпуса из ватмана или тонкого картона. Эта работа требует большой аккуратности – все дефекты поверхности модели проявятся на внешнем слое.

«Текстильная технология» несколько проще. В этом случае также изготавливается каркас, соединяющий опорную плоскость и установочное кольцо. Это уже силовой элемент, извлекаться он не будет, поэтому должен обладать достаточной прочностью. Затем каркас обтягивается тканью. Хорошо зарекомендовали себя тонкий хлопчато-бумажный трикотаж в один слой или колготки в несколько слоев. Получившаяся конструкция пропитывается эпоксидной смолой, а затем доводится до нужной толщины отрезками стеклоткани. Клеить можно как снаружи (это проще, но потом усложняет отделку), так и изнутри.

Еще один материал для изготовления корпусов – бумага. Корпуса сабвуферов цилиндрического сечения («трубы»), изготовленные из папье-маше, благодаря своей геометрии обладают большой прочностью и жесткостью при

незначительной (всего несколько миллиметров) толщине стенок. Внутренний слой корпуса выполняется из ватмана, он послужит жесткой основой для последующих. Для внешних слоев используются упаковочная бумага или гладкие обои. С тем же успехом для изготовления корпуса можно использовать пластиковые сантехнические трубы подходящего сечения. Торцевые стенки изготавливают из ДСП или фанеры.

Еще один великолепный, но очень трудоемкий способ изготовления корпусов сложной формы предложил москвич Г. Бут. Каждое сечение корпуса вырезается из фанеры толщиной 10–12 мм в виде замкнутой рамки. Ширина рамки в зависимости от припуска на обработку составляет от 20 до 50 мм. Для повышения жесткости отдельные сечения выполняются с перемычками. Затем вся конструкция склеивается, наружная поверхность доводится до нужной формы и размеров, шпаклюется и окрашивается. Внутренние поверхности оклеиваются стеклотканью и демпфируются мастикой.

В упрощенном варианте этой технологии используют плиты ДСП толщиной порядка 20 мм, а образующие сложной формы ввиду сложности обработки аппроксимируют отрезками прямых. Толщина стенок корпуса в этом случае увеличивается, а коэффициент использования объема уменьшается. Это плата за снижение трудоемкости.

9.2.8. Изготовление рупоров

Для изготовления рупоров среднечастотных головок, отличающихся относительно большими размерами, можно использовать аналогичное решение. В данном случае требуется обработка внутренней поверхности, что значительно усложняет процесс и требует определенных навыков. Предварительную обработку внутреннего контура рамок удобнее выполнять до их склеивания, или склеив их в пакеты по нескольку штук.

Если есть возможность воспользоваться токарным станком, рупор круглого сечения можно выточить из алюминиевых сплавов или твердых сортов древесины. Для изготовления рупора небольшого размера можно использовать тонкий листовой полистирол или оргстекло.

Наиболее технологичны в любительских условиях рупоры с двумя плоскими образующими. Для их изготовления используются доступные материалы. Плоские образующие можно вырезать из фольгированного стеклотекстолита, а боковые – выполнить из медной фольги или луженой жести, соединив детали пайкой по наружному контуру. С тем же успехом можно изготовить детали рупо-

ра из дюралюминиевых пластин, проклеив стыки стеклотканью на эпоксидной смоле.

На поверхность тонкостенного рупора для исключения резонансов необходимо нанести вибропоглощающее покрытие. Из доступных средств можно рекомендовать мастику «Герлен» и акриловую краску Abro в аэрозольных баллонах. Краску нужно наносить с расстояния 20–30 см тонкими слоями в несколько приемов до тех пор, пока поверхность не приобретет выраженный «пластмассовый» вид.

9.2.9. Практические конструкции АС

Наибольший интерес любителей вызывают акустические системы, предназначенные для установки под передние сиденья. Такое решение полностью снимает проблему «заднего» баса и позволяет получить хорошее качество звучания. Доступный объем корпуса АС составляет обычно не более 8 л, поэтому необходимы динамические головки с малым эквивалентным объемом. В процессе изготовления рекомендуется использовать макет корпуса и примерять его по месту. Для изготовления макета можно использовать гофрокартон, но не забывайте о том, что картонные стенки могут во время примерки прогибаться [101].

Для расширения диапазона воспроизводимых частот вниз необходимо использовать динамические головки с эквивалентным объемом 4–10 л. Среди отечественных наилучшим образом удовлетворяет этому условию головка 25ГДН3-4 (15ГД15). Как показала практика, она хорошо работает как в закрытом, так и в фазоинверсном оформлении. На рис. 9.6 приведен эскиз корпуса с фазоинвертором конструкции О. Леонова. Внутренний объем заполнен ватой в марлевом мешке. АС длительное время эксплуатировалась в автомобилях «Москвич-2141», ВАЗ-2107, ИЖ-2126 «Ода» и во всех случаях показала прекрасные результаты. Правда, передние сиденья «Оды» пришлось приподнять на 45 мм, поскольку в его нижней части имеется выступ.

Гораздо более серьезные проблемы у владельцев ВАЗ-2109. Сиденье там не только имеет аналогичный выступ, но и закреплено по-другому. Удачную конструкцию на основе 25ГДН3-4 создал А. Павлов (рис. 9.7). Чтобы обеспечить установку АС, крепление сидений к передней опоре сделано разборным.

На рис. 9.8 приведен эскиз АС, на рис. 9.9 – основные детали корпуса. Нижняя и боковые стенки изготовлены из фанеры, передняя панель – из двух слоев фанеры. Можно также использовать ДСП. Верхняя часть корпуса и задняя стенка выклеены из стеклоткани. Фанерные детали покрыты с внутренней стороны материалом «Визомат», а стеклопластиковые обработаны резинобитумной мастикой.

Рис. 9.6. АС на 25ГДН3-4 (1 вариант)

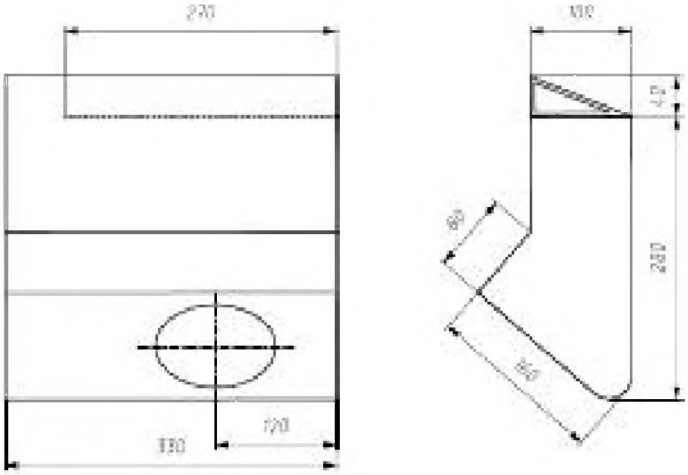
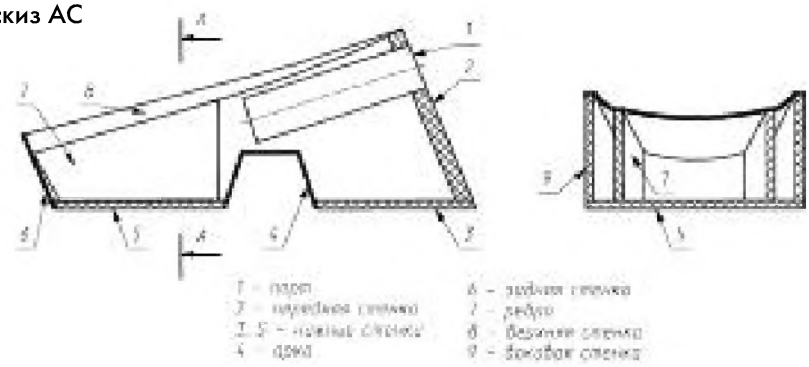


Рис. 9.7. Установка АС в салоне ВАЗ-2109

Рис. 9.8. Эскиз АС



Еще одна заслуживающая внимания конструкция – АС на основе «блинов» 6 × 9 дюймов с акустическим режекторным фильтром. Как известно, такие головки не предназначены для установки в корпус малого объема, поскольку их эквивалентный объем составляет десятки литров. Детальные чертежи корпусов не приводятся, поскольку и размеры, и конструкция поглотительной камеры определяются ис-

ключительно параметрами имеющихся в распоряжении головок.

В авторской конструкции применены низкочастотные головки Prology Iridium из трехполосного компонентного комплекта. Их параметры таковы:

$$V_{as} = 40 \text{ л};$$
$$F_s = 40 \text{ Гц};$$
$$Q_{ts} = 0{,}6.$$

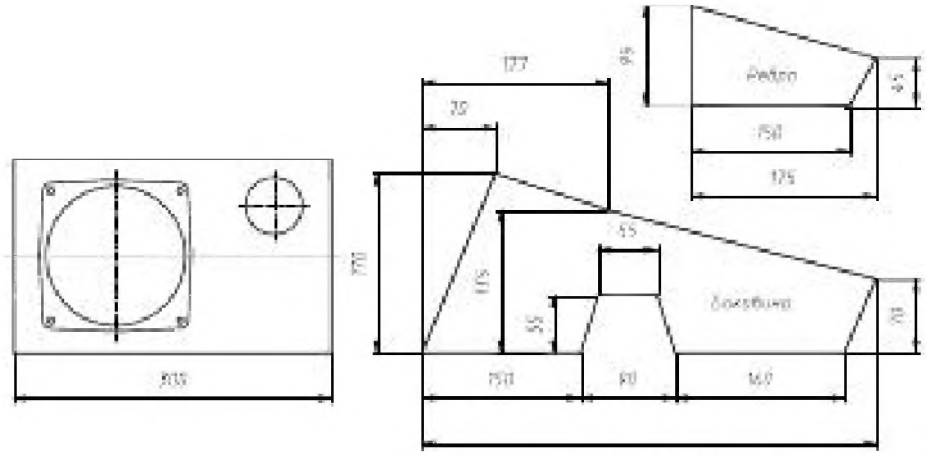


Рис. 9.9. Детали корпуса АС

Рис. 9.10. Вариант установки АС под сиденьем

Доступный для установки объем – 8 л. В классическом закрытом корпусе получаем F_c = 97 Гц, Q_{tc} = 1,47. Применение резонатора Гельмгольца, настроенного на частоту резонанса головки в данном объеме, позволило получить вполне пристойные характеристики – Q_{tc} = 0,85, F_c = 50 Гц.

В качестве разумного компромисса между желаниями и возможностями был выбран объем поглотительной камеры 1 л. Камера расположена в задней части корпуса АС, конструктивно оформлена перегородкой. Для расчета использована методика, приведенная в главе 4. Для перегородки толщиной 8 мм диаметр отверстия составит 5,7 мм. Чтобы скомпенсировать неизбежные погрешности расчета и изготовления, разброс и изменение характеристик динамических головок со временем, резонатор выполнен двухчастотным. Частоты поглощения разнесены выше и ниже расчетной частоты резонанса таким образом, что их среднее геометрическое совпадает с ней. Для этого в перегородке выполнены 50 отверстий диаметром 5 мм и 30 отверстий диаметром 6,5 мм. Частоты настройки – соответственно, 85 Гц и 110 Гц. Суммарная площадь отверстий составляет 20 см^2 и распределена между отверстиями разного диаметра примерно поровну.

Корпус АС выполнен из традиционных материалов – фанеры и МДФ на эпоксидном клее. В средней части корпуса установлен подкрепляющий шпангоут. Для повышения жесткости верхней и нижней стенок в промежутках между шпангоутом и боковыми стенками вклеены пластины МДФ (паркет-ламинат), затем стенки залиты сплошным слоем эпоксидной смолы. Толщина стенок корпуса достигает 30 мм. Задняя стенка поглотительной камеры, верхний и нижний скосы выполнены из МДФ. К шпангоуту прикреплен кусок мягкого поролона, выполняющий функ-

Рис. 9.11. АС с резонатором Гельмгольца

ции звукопоглотителя, для подключения проводов на боковой стенке установлена чашка с пружинными контактами. Готовый корпус зашпаклеван, обработан шлифовальной машиной и окрашен «под шагрень», лицевая панель покрыта декоративным алюминированным пластиком. Детали конструкции видны на фотографии.

Акустические системы установлены под передними сиденьями автомобиля Renault Kangoo, звучание отличается плотным и мягким басом.

9.3. ШУМОИЗОЛЯЦИЯ И ВИБРОДЕМПФИРОВАНИЕ

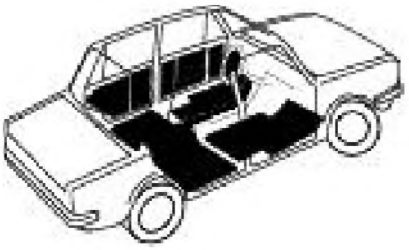
Особенности акустики автомобильного салона уже были рассмотрены. Отдельно стоит проблема шума. Даже в грамотно сконструированном с акустической точки зрения кузове при движении возбуждаются колебания, как под действием вибрации двигателя и трансмиссии, так и под действием вибрации колес на дороге. На самых низких частотах сказывается малая жесткость кузова, что вызывает колебания и вибрации панелей и крыши. Основная мощность шумов при этом сосредоточена в области между самыми низкими частотами и нижней границей средних частот. На более высоких частотах амплитуда составляющих шума снижается.

В целом шум движения хотя и организован, но при постоянной скорости достаточно однороден, и благодаря избирательным свойствам слуха от него можно «отстроиться». За исключением толчков и ударов, вызванных плачевным состоянием дорог, составляющие шума можно значительно ослабить при помощи грамотно выполненной шумоизоляции салона (свист ветра и гул покрышек не рассматриваем – на такой скорости уже не до музыки). Для поглощения дорожного шума следует нанести материал на пол, на огнестойкую переборку и в зоне колес. Но поскольку привычный для жителей больших городов «городской цикл» движения: «метр едем, два стоим», то проблема шумоизоляции выступает не так уж остро. Кроме того, стремиться к абсолютной звуконепроницаемости опасно – водитель не должен терять слуховой контроль над работой двигателя и дорожной обстановкой.

Помимо шумоизоляции, призванной перекрыть путь в салон внешнему шуму, применяется вибродемпфирование больших панелей кузова (крыша, двери); чтобы исключить возможные призвуки во время работы аудиосистемы. При изготовлении автомобиля часть панелей уже демпфирована, но степень заводской обработки, скорее всего, окажется недостаточной. Впрочем, если мощность установки

невелика, то в большинстве случаев дополнительное демпфирование панелей не требуется. Однако следует уделить максимум внимания устранению резонансов и вибраций декоративных деталей салона. Даже при относительно небольшой мощности они порождают дребезжание и призвуки, более неприятные на слух, чем шум движения. Особое внимание следует обратить на панели рядом с головками громкоговорителей, или на панели, которые используются как часть корпуса громкоговорителя. Если нет возможности задемпфировать крупные панели полностью, покрытие необходимо нанести на их среднюю часть как наименее жесткую. Резонансы обычно устраняются при покрытии 25% площади и более. Основные места обработки на примере кузова «классического ВАЗа» показаны на рис. 9.12. Это «программа-минимум». В «программу-максимум» входит еще обработка крыши, капотов багажника и моторного отсека, колесных арок.

Рис. 9.12. Места нанесения вибродемпфирующих покрытий



Приступая к шумоизоляции и вибродемпфированию салона автомобиля, руководствуйтесь следующими практическими правилами:

- проще не допустить возникновения шума, чем с ним бороться. Начинать борьбу с шумом следует с проверки ходовой части;
- высокочастотный шум подавить проще, чем низкочастотные вибрации;
- для вибродемпфирования панелей важен плотный контакт материала с излучающей поверхностью. Как уже отмечалось, может оказаться достаточным покрытие только части поверхности;
- шумоизоляция (в отличие от вибродемпфирования) для достижения максимального эффекта должна быть по возможности сплошной, без открытых участков. Стекла, к сожалению, придется исключить из процесса;
- для шумоизоляции и вибродемпфирования, строго говоря, нужны разные материалы. Но все стараются обойтись одним.

Для вибродемпфирования панелей кузова применяются различные материалы – как специально предназначенные для этого, так и заменители. Общая черта всех *материалов*: большая внутренняя вязкость. Используются как листовые материалы различной толщины, так и мастики или аэрозольные упаковки. Листовые материалы на вид и на ощупь напоминают резину или смолу. Первым из таких материалов был Dynamat, но он недешев, и у него появилось много аналогов – Noicekiller, Noicebaster и др.

Рис. 9.13. Структура демпфирующих материалов

Однако в любом случае при обработке «по полной программе» затраты могут стать соизмеримыми со стоимостью подержанного отечественного автомобиля. Поэтому автолюбители пытаются найти альтернативные решения. Удовлетворительная замена импортных вибродемпфирующих материалов: «Шумизол», «Липлен», «Визомат», «мастика каучуковая шумоизоляционная»; мастика «Герлен» на алюминиевой фольге или пенополиэтилене, «Стандартпласт». Эти материалы отечественного производства, и цены вполне доступны. Для заливки полостей торпедо и некоторых деталей кузова прекрасно подходит монтажная пена «Макрофлекс». Однако необходимо учесть, что она значительно увеличивается в объеме и поэтому непригодна для заполнения замкнутых полостей, да и незамкнутые нужно заполнять малыми порциями, позволяя пене полностью отвердеть.

Когда недоступны настоящие шумоизоляционные материалы, сгодится и линолеум. Правда, его шумопоглощаю-

щие свойства оставляют желать лучшего (а точнее – близки к нулю), но, как говорится, на безрыбье...

Не стоит использовать старый линолеум, поскольку он потерял эластичность, а вместе с ней большинство необходимых нам свойств. Не составляет проблемы купить новый. В магазинах строительных материалов остатки линолеума продаются обычно со значительной скидкой. Однако к выбору линолеума следует подходить осмотрительно. Линолеум на тканой основе гигроскопичен, что требует дополнительной антикоррозионной обработки подстилающих поверхностей. Лучше использовать современные виды вспененного линолеума без основы – они негигроскопичны.

Еще один близкий по структуре материал, получивший распространение в последнее время, – пенополиэтилен. Он отличный звукоизолятор (степень поглощения звука при толщине 10 мм – около 60%). Кроме того, он абсолютно негигроскопичен, не подвержен гниению и недорог.

Для устранения скрипов и вибраций облицовки дверей необходимо отказаться от ненадежных пластмассовых пистонов и установить облицовку на винтах-саморезах. В местах контакта облицовки с панелями двери при необходимости нужно наклеить тонкие полоски поролона или пенополиэтилена. Неплохо подходят для этой цели полоски самоклеющегося поролона, предназначенного для уплотнения оконных рам. Следует выбирать негигроскопичные сорта, у которых структурные поры не открываются наружу. При установке акустики в двери ее внутренние механизмы требуют обработки – следует исключить контакт тяг и приводов с панелями и силовыми элементами. Для этой цели можно использовать ПВХ-трубки и пластиковые втулки. Кроме этого, может потребоваться устранить люфты механизмов двери, для чего, помимо тщательной регулировки, можно использовать резиновые жгуты-оттяжки, выбирающие зазоры в сочленениях. Простая бельевая резинка вполне справляется с этой задачей, но раз в сезон требует замены.

Определить необходимый объем работ, а потом и качество обработки салона можно очень простым способом. Через установленную в салоне акустическую систему достаточной мощности (не менее 20 Вт) воспроизводится сигнал от генератора сигналов ЗЧ. Генератор плавно перестраивается в диапазоне частот 50 Гц – 2 кГц. Резонансные колебания элементов кузова на низких частотах определяются «возложением руки» на панель. На высоких – на слух по возникновению дребезжащих призвуков.

Процесс шумовиброизоляции автомобиля удобно совместить с монтажом силовой и сигнальной проводок аудиосистемы. В противном случае многие процедуры бу-

дут сопряжены с излишними трудностями, которых можно избежать, проводя монтаж в разобранном салоне. К монтажу силовой и сигнальной проводок аудиосистемы предъявляется ряд требований. Их выполнение необходимо даже при установке простейшей магнитолы, не говоря уже о системах высокого уровня.

9.4. ЦЕПИ ПИТАНИЯ

Для слаботочных компонентов (источников сигнала, процессоров, кроссоверов и эквалайзеров) в большинстве случаев можно использовать уже имеющуюся силовую проводку. Усилители же потребляют существенно больший ток. Имеющаяся в машинах штатная проводка не рассчитана на это. Кроме того, поскольку вся проводка в автомобиле собрана в монтажные жгуты, возникает опасность взаимного влияния «автомобильной» и «акустической» проводки. Рекомендуется вести положительный провод питания непосредственно на аккумулятор, даже в том случае, когда магнитола является единственным компонентом системы. Мощность встроенного усилителя магнитолы невелика, и даже небольшие потери питающего напряжения ощутимы. В случае использования внешнего усилителя это требование обязательно.

Отрицательный провод питания системы («массу») обычно соединяют непосредственно с кузовом машины. Он должен быть максимально коротким, и сечение его должно быть не меньше сечения положительного провода. Точка заземления должна представлять собой неокрашенный голый металл. Кузов некоторых автомобилей оцинкован, в этом случае можно использовать одну из точек заземления, предусмотренных производителем. В том случае, когда кузов автомобиля не новый, суммарные переходные сопротивления сварных швов могут достигать величины 0,5–1 Ом. Поэтому в такой ситуации для исключения падения напряжения минусовой провод следует соединить непосредственно с клеммой аккумулятора. Во избежание появления в системе шума генератора рекомендуется соединить отрицательную клемму аккумулятора непосредственно с блоком цилиндров или корпусом генератора, минуя кузов.

9.4.1. Требования безопасности

При монтаже силовой проводки на первое место выступают требования безопасности. Необходимо учитывать специфику установки: провод в моторный отсек приходится прокладывать по углам или порогам, через переборки. Такого рода проблемы предъявляют особые требования

к выбору провода. Он должен быть гибкий; изоляция должна быть толстой, не размягчаться при высоких температурах и не трескаться при низких. Особенно это относится к участкам силовой проводки, проложенной в моторном отсеке. Применение жесткого провода с легко трескающейся изоляцией может быть в буквальном смысле взрывоопасно. Для того чтобы предотвратить возможность пожара в случае короткого замыкания силового провода на массу, необходимо защитить его плавким предохранителем. Его устанавливают в разрыв силового провода в непосредственной близости от плюсовой клеммы аккумулятора. Держатель предохранителя должен быть надежно закреплен. Ток срабатывания предохранителя выбирается на 20–30% больше максимально потребляемого системой тока. Это не мешает нормальной работе, но гарантированно отключит цепь в случае короткого замыкания.

Силовой провод от предохранителя до потребителя должен быть по возможности «одним куском». Наличие соединений ухудшает надежность системы и может явиться причиной потерь напряжения, особенно при большой потребляемой мощности. Если же по каким-либо причинам приходится соединять провода (например, для разделения нескольких силовых цепей), необходимо использовать соединительные муфты и распределители, имеющие надежный и прочный корпус, изготовленный из изоляционного материала. При отсутствии специальных «автомобильных» изделий вполне можно воспользоваться монтажными коробками и соединительными муфтами для бытовой электропроводки. Хотя такое решение не отличается эстетикой, оно вполне надежно. Только не следует применять арматуру из карболита – этот материал хрупкий и гигроскопичный. Внимание! *Применение для изоляции соединений силовой проводки изоляционной ленты недопустимо.*

Концы проводов для удобства подключения и надежности соединения необходимо снабдить *клеммами*. Наиболее надежны клеммы «под обжимку», но качественная обжимка без использования специального инструмента затруднительна. Паяных соединений силовой проводки лучше избегать. Если же *пайка* неизбежна, соединение нужно тщательно промыть от остатков флюса и обязательно покрыть изоляционным лаком для защиты от окисления. Использовать паяные соединения на участках проводки, находящихся в моторном отсеке, недопустимо. В условиях повышенной влажности электрохимическая коррозия таких соединений протекает с большой скоростью, а надежность защитных лаковых покрытий недостаточна. То же самое можно сказать о любом контакте разнородных металлов

в токоведущих цепях. Для их защиты от коррозии можно нанести сверху слой смазки (технического вазелина).

При прокладке силового провода в моторный отсек можно просверлить отверстие в моторном щите или использовать уже имеющееся (начните искать в районе рулевой колонки и монтажного блока – там обычно есть несколько отверстий). Также при прокладке провода через места с острыми металлическими углами всегда используйте резиновые уплотнители, во избежание повреждения его изоляции. В моторном отсеке силовую проводку желательно дополнительно защитить гофрированной трубкой. Провод не должен быть натянут, а в местах, где он лежит свободно, необходимо предотвратить его перемещение при помощи монтажных хомутов или обвязки.

Дискуссии о преимуществах того или иного типа проводов ведутся постоянно. Несомненно, это важно при выборе сигнальных проводов, но наиболее важным фактором при выборе силового провода является его сечение. Сечение традиционно измеряется в American Wire Gauge (сокращенно AWG), или просто gauge (калибр). Обвинения в отсутствии патриотизма в данном случае лишены смысла, поскольку в настоящее время провода и аксессуары к ним (распределители, разъемы, держатели предохранителей и прочее) исключительно импортные и выпускаются под такой маркировкой во всем мире. Чтобы определить сечение провода для вашей системы, прежде всего нужно узнать максимальный потребляемый ток и длину кабеля. Затем воспользуйтесь таблицей, взятой из правил оценки качества установки (**приложение 3**).

9.4.2. Буферный конденсатор

Для улучшения энергетических показателей системы бортового электропитания параллельно аккумулятору необходимо присоединить конденсатор. Устанавливать его нужно как можно ближе к основному потребителю энергии в аудиосистеме, чтобы скомпенсировать падение напряжения, возникающее на соединительных проводах на пиках мощности [107]. Применение конденсатора оправдано даже при использовании магнитолы без дополнительных компонентов – в этом случае значительно улучшается воспроизведение пиков сигнала, звучание перестает быть «зажатым». Кроме того, это еще один способ борьбы с помехами от генератора в бортовой сети, более действенный, чем применение помехоподавляющих фильтров на основе дросселя.

Эмпирическая формула для определения емкости конденсатора – 1 Ф на киловатт потребляемой мощности. Например, для системы с потреблением энергии 100 Вт подой-

дет конденсатор 100 000 мкФ. Для магнитолы обычно достаточно конденсатора емкостью 47 000–68 000 мкФ. Конденсаторы большой емкости, специально предназначенные для автомобильных аудиосистем, выпускаются многими производителями аудиотехники (например, BRAX, Phoenix Gold, Prology, Daxx). Они снабжены встроенной автоматикой зарядки, цифровыми вольтметрами, однако не всегда доступны. Практически с тем же результатом в любительской установке можно использовать обыкновенные электролитические конденсаторы большой емкости или собрать батарею из параллельно включенных конденсаторов меньшего номинала – но в этом случае возникнет проблема зарядки конденсаторов.

При выборе «неавтомобильных» конденсаторов нужно ориентироваться на эксплуатационные температуры: летом в автомобиле, стоящем на солнце, температура может достигать 50–60 градусов даже в средних широтах. Требования по морозостойкости зависят от конкретного региона. Предпочтение следует отдавать тем типам конденсаторов, которые имеют предохранительный клапан. В крайнем случае можно использовать конденсаторы с насечкой на корпусе. С учетом напряжения в бортовой сети автомобиля рабочее напряжение конденсаторов должно быть не ниже 16 В, однако нужно иметь в виду следующее обстоятельство. При выходе из строя реле-регулятора напряжение может подняться с 14 В до 18–20 В, поэтому для предотвращения пробоя конденсаторов рабочее напряжение следует выбрать несколько большим: 20–25 В. Как показывает опыт, современные оксидные конденсаторы подвержены пробою даже при незначительном превышении рабочего напряжения.

Непосредственный заряд конденсатора емкостью свыше 100 000 мкФ от бортовой сети опасен. Незаряженный конденсатор такой емкости равноценен короткому замыканию. Для ограничения зарядного тока первоначальное включение нужно проводить через резистор сопротивлением 10–20 Ом или через автомобильную лампу накаливания. Погасание лампы укажет на то, что дальнейшую зарядку можно проводить «напрямую». Специальные конденсаторы большой емкости имеют встроенную систему контроля заряда и управления включением в бортовую сеть [107].

Если владелец отключает аккумулятор на ночь, для упрощения «утренней зарядки» конденсатора можно использовать несложную схему, показанную на рис. 9.14 [115].

Можно использовать выключатель любого типа, важно только, чтобы он был рассчитан на максимальный потребляемый системой ток. Обычно на выключателях указан ток, который они могут *прерывать*. Ток, который могут выдер-

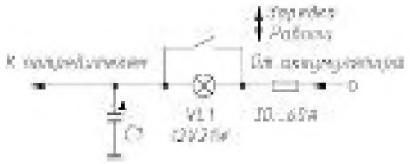


Рис. 9.14. Схема зарядки конденсатора

живать контакты *без разрыва* цепи, может быть в несколько раз больше. Если пользоваться выключателем только для отключения системы, находящейся в ждущем режиме, можно использовать выключатель с меньшим запасом по току без существенного снижения надежности.

9.4.3. Дополнительный аккумулятор

Если потребляемая аудиосистемой мощность значительна, длительное прослушивание музыки при неработающем двигателе может создать проблемы с последующим запуском. Чтобы исключить разрядку аккумулятора, можно использовать схемы контроля напряжения, блокирующие работу системы при чрезмерной разрядке. Однако для их успешного применения нужно знать зависимость остаточной емкости аккумулятора от напряжения на его клеммах (кривую разряда). Эта характеристика зависит от типа аккумулятора и ряда других условий (прежде всего от температуры среды), поэтому проще установить второй аккумулятор, предназначенный именно для питания аудиосистемы. В этом случае его разрядка не повлечет за собой никаких последствий, кроме отключения «музыки».

Для развязки аудиосистемы от основной бортовой сети можно использовать диодный коммутатор (рис. 9.15а) или мощное реле с нормально разомкнутыми контактами (рис. 9.15б).

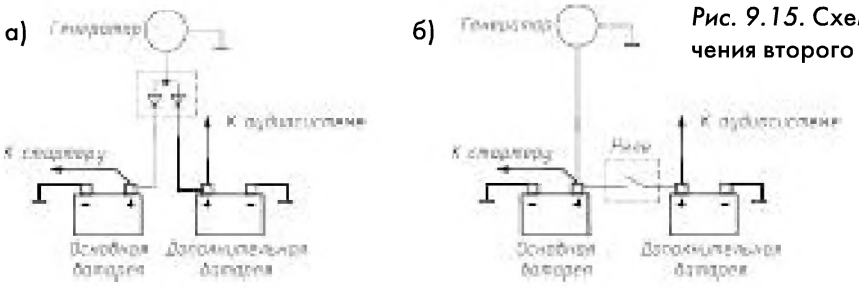


Рис. 9.15. Схема для подключения второго аккумулятора

Достоинство диодного коммутатора – простота конструкции и автоматический режим работы. При отсутствии готового коммутатора промышленного изготовления его вполне можно изготовить самостоятельно. В этом случае необходимо использовать мощные диоды с допустимым прямым током в несколько десятков ампер (в зависимости

от максимального тока нагрузки генератора) и минимальным прямым падением напряжения (диоды Шотки). В противном случае изменится режим зарядки аккумуляторов. При использовании обычных силовых диодов с прямым падением напряжения порядка 1 В нормальный режим зарядки можно восстановить настройкой или изменением схемы подключения реле-регулятора, но в его конструкции такая возможность предусмотрена редко.

Схема коммутации с использованием реле свободна от этого ограничения. Контакты должны быть рассчитаны на потребляемый аудиосистемой ток. Для включения реле можно использовать напряжение от замка зажигания, однако при включенном зажигании, но не работающем двигателе контакты реле будут замкнуты. Чтобы этого не произошло, можно использовать для управления реле напряжение на контрольном выходе генератора. В этом случае контакты будут замкнуты только при работающем двигателе, когда генератор обеспечивает нормальное напряжение в бортовой сети. Если у генератора нет контрольного выхода, управляющий сигнал можно получить от контрольной лампы работы генератора на панели приборов или от датчика давления масла. Однако в этом случае для управления коммутатором понадобится транзисторный ключ или промежуточное реле, поскольку в панели приборов использованы слаботочные цепи. Конкретная схема не приводится, поскольку в данном случае все зависит от типа автомобиля и рабочей логики датчиков. В любом случае, прежде чем вводить дополнительные элементы, тщательно изучите схему электрооборудования и соблюдайте осторожность.

9.4.4. Нестандартное напряжение бортовой сети

Особняком стоит проблема питания автомобильной аппаратуры в машинах, напряжение бортовой сети которых отличается от 12 В. Так, бортовая сеть большинства грузовиков и некоторых джипов имеет напряжение 24 В. Ассортимент радиоаппаратуры с таким напряжением питания крайне ограничен, и для использования стандартной техники приходится прибегать к различным ухищрениям.

Поскольку в данной ситуации используются соединенные последовательно стандартные аккумуляторы напряжением 12 В, необходимое напряжение можно получить от одного из них (рис. 9.16). Это решение пригодно только для магнитолы и других маломощных потребителей. Если в системе используются усилители, нагрузка на левый по схеме аккумулятор значительно возрастет, и для равномерного разряда (и износа) аккумуляторы придется периодически

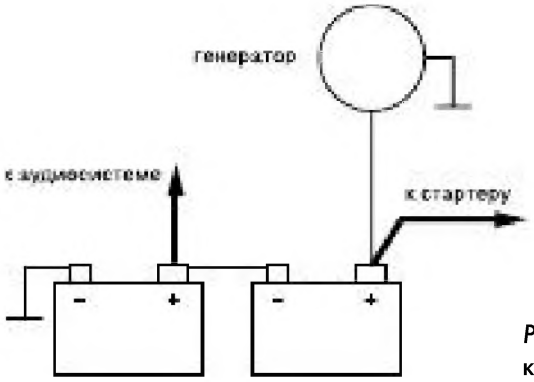


Рис. 9.16. Подключение к бортовой сети 24 В

менять местами. Это не только неудобно, но и ставит под угрозу нормальную работу стартера (под такой нагрузкой разница в степени разряда аккумуляторов проявляется особенно сильно).

Для радиолюбителя наиболее естественный выход из создавшейся ситуации – применить самодельный усилитель с напряжением питания 24 В. Выходная мощность обычного усилителя на нагрузке 4 Ом составит 15–18 Вт, а мостового – более 50 Вт.

При использовании промышленного усилителя с преобразователем напряжения питания его можно доработать. Для этого нужно ввести в блок питания маломощный стабилизатор напряжения 12 В (для питания контроллера и схем автоматики) и увеличить в два раза число витков первичной обмотки. Ее сечение, к счастью, можно во столько же раз уменьшить. Может также потребоваться замена силовых транзисторов преобразователя.

Другая крайность – машины-раритеты. Владельцы таких машин обычно ревностно относятся к «родному» оснащению, поскольку коллекционная ценность подобного автомобиля определяется именно степенью оригинальности (в том числе и схемой электропитания). К сожалению, век оригинальной радиоаппаратуры короток, и на ее место приходится устанавливать современные изделия. Проблема усугубляется тем, что многие старые автомобили оснащены маломощными генераторами постоянного тока напряжением 6 В, да еще с «плюсом» на корпусе. Естественно, об установке усилителей речь не идет: хоть бы магнитола работала.

В такой ситуации возможны два выхода. Первый – поискать магнитолу устаревшего типа, без микропроцессоров и дополнительных удобств, с усилителем мощности на микросхемах TDA2003, TDA2005 и аналогичных. Эти микросхемы рассчитаны на нагрузку 2 Ом и достаточно устойчиво работают при напряжении питания 6 В. Выходная мощ-

ность, правда, не превысит 1–2 Вт на канал. Двигатель ЛПМ придется заменить шестивольтовым. Тракт сигнала, за исключением усилителей мощности, обычно питается от внутреннего стабилизатора напряжением 5–6 В, его придется отключить и питать эти узлы от бортовой сети через фильтрующие цепи.

Второй выход из этой ситуации – преобразователь напряжения питания. Его можно выполнить по одной из рассмотренных ранее схем, изменив данные трансформатора. Числа витков обмоток при мощности преобразователя до 50–70 Вт приближенно определяются из соотношения 2–3 витка на вольт.

9.5. ЦЕПИ АКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Изложенные выше правила выбора провода и монтажа цепей питания справедливы и для сильноточных сигнальных цепей. При выборе сечения провода для подключения динамических головок можно с успехом воспользоваться той же таблицей (**приложение 3**), уменьшив ток соответственно числу каналов усилителя. Даже беглого взгляда достаточно, чтобы понять, что провода, предлагаемые изготовителем в комплекте динамических головок, в большинстве случаев совершенно не пригодны для этой цели. Сопротив-

Рис. 9.17. Защита проводки в двери

ление двойного провода длиной 2 м может иногда достигать 0,5–0,7 Ом, что при использовании усилителя магнитолы приводит к ощутимым потерям мощности. Поэтому на «колоночных» проводах экономить не стоит.

Особая надежность провода требуется при установке акустических систем в двери. Ни в коем случае нельзя пропускать провод «под обивку» – он должен проходить через отверстия в металле двери и стойки, обязательно под защитой направляющей трубки. Эти меры гарантируют отсутствие защемления, перегибов и петель провода.

Размещение проводов к акустическим системам обычно не вызывает проблем. Исключение составляют некоторые типы современных автомобилей зарубежного производства. Они настолько насыщены электроникой, что при неудачном монтаже наводки на провода АС или индуктивности пассивных кроссоверов могут быть заметны на слух даже при выключенной аудиосистеме. Чтобы избежать неудачи, следует предварительно уточнить местонахождение бортового компьютера и расположение кабелей, по которым происходит обмен данными.

9.6. СИГНАЛЬНЫЕ ЦЕПИ И ПОМЕХИ

Качество монтажа межблочной сигнальной проводки влияет на качество звуковоспроизведения намного сильнее. Конечно, при использовании магнитолы «в гордом одиночестве» эта проблема не возникает.

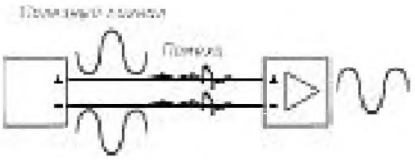
Основная проблема большинства принятых сегодня вариантов компоновки аудиосистемы – большая длина *межблочных кабелей*. В большинстве случаев CD-чейнджер устанавливается в багажнике. Сигнал для регулировки и дальнейшего усиления подается на вход магнитолы, установленной в панели приборов. При наличии дополнительного усилителя его обычно тоже устанавливают в багажнике, поэтому длина кабеля еще как минимум удваивается. Собственная емкость кабеля при такой длине уже может оказывать влияние на полосу пропускания тракта.

Особенно подвержены этому явлению бюджетные модели магнитол, у которых линейный выход не снабжен буферным каскадом. Выходное сопротивление линейного выхода в этом случае около 10 кОм, а погонная емкость межблочного кабеля среднего качества составляет примерно 150–200 пФ/м. Емкость кабеля составит при этом около 700 пФ. Прибавьте к этому входную емкость усилителя (500–700 пФ). Получившийся ФНЧ обладает частотой среза 12–15 кГц, что уже хорошо заметно на слух.

Поэтому входное сопротивление автомобильных усилителей по сравнению с домашними весьма низкое (поряд-

ка 10 кОм). Несмотря на это, лучший выход из положения – рациональная компоновка системы и использование межблочного кабеля минимально необходимой длины. Спрятанные «с глаз долой» излишки кабеля могут ухудшить воспроизведение высших частот. С этой точки зрения представляет интерес размещение усилителя в передней части салона: под сиденьем, на стенке моторного отсека или под торпедо.

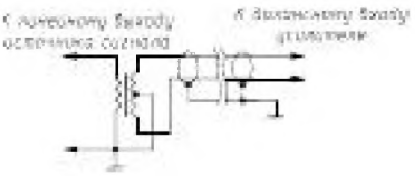
Рис. 9.19. Подавление помех дифференциальным усилителем



Для решения проблемы наводок пригодны несколько способов, но наиболее широко используются два – повышение выходного напряжения источников сигнала и применение *дифференциальных (балансных) линий* связи. Соответственно тому, как выполнены линейные выходы источника сигнала и вход усилителя, выбирается и тип межблочных соединений.

Применение балансных линий характерно для компонентов высокой ценовой категории и гарантирует прекрасную помехозащищенность. Напряжение сигнала поступает на входы дифференциального усилителя в противофазе, а помехи – в фазе и подавляются (рис. 9.19).

Рис. 9.19. Симметрирующий трансформатор



Однако это справедливо только при полной симметрии линии. Использование симметричного входа с несимметричным выходом (и наоборот) сводит на нет все преимущества этой схемы. В этом случае можно применять симметрирующее устройство. Наиболее изящное решение – трансформатор, но его конструкция для обеспечения необходимых качественных показателей может оказаться слишком дорогой.

Основных источников помех в автомобиле два – система зажигания («треск») и генератор («вой»). *Помехи от системы зажигания* полностью исключить нельзя, но можно

значительно уменьшить. В автомобилях с традиционной (контактной) системой зажигания применение распределителя зажигания со встроенным помехоподавляющим резистором или высоковольтных проводов с распределенным сопротивлением позволяет значительно снизить мощность помех. Дальнейшее снижение их уровня обеспечит хороший экранированный межблочный кабель.

Помехи от работы генератора могут быть вызваны плохим состоянием коллектора и реле-регулятора («таблетки»). Но при наличии в системе нескольких компонентов помехи могут прослушиваться даже при идеальном состоянии генератора, если заземление выполнено неправильно. Если в системе существует несколько точек заземления, то при соединении компонентов образуется паразитный контур. Поэтому не должно быть соединения общего провода компонентов через межблочные кабели. По этой же причине экран не должен служить сигнальным проводником. Реализовать это условие просто: при самостоятельном монтаже разъемов на кабель экран с одной стороны не припаивается. При использовании готовых кабелей лепестки RCA-штеккера можно изолировать от корпуса разъема тонким слоем изоляционной ленты. Этот же способ позволит выяснить, с какой стороны лучше изолировать экран: со стороны источника сигнала или со стороны усилителя. Если и эта мера не поможет – остается использовать для всей системы единственную точку заземления, лучше всего на минусовой клемме аккумулятора.

Рис. 9.20. Элементы отделки

9.7. СЕРВОПРИВОДЫ

В ряде конструкций для повышения удобства эксплуатации используются сервоприводы. Им можно найти немало применений: подстройка ориентации пищалок, открывание защитных крышек и шторок, дистанционная регулировка сечения порта фазоинвертора и многое другое. Силовые сервоприводы используют для перемещения рам и стоек с усилителями в многоэтажных конструкциях демонстрационных установок.

Помимо специальных автомобильных изделий, любители могут использовать различные подручные средства: шаговые двигатели от факсимильных аппаратов и принтеров, малогабаритные моторчики с редуктором от электрозеркал и самописцев и даже электромагниты. У каждого решения есть свои достоинства и недостатки.

Шаговые двигатели экономичны, обеспечивают хороший контроль перемещения, но им требуется достаточно сложная схема управления на специализированных микросхемах. Моторчики с редукторами удобны, но их габариты не всегда устраивают. Электромагнит обеспечивает только небольшое перемещение, да и ток потребляет значительный.

В тех случаях, когда требуются небольшие угловые перемещения, можно использовать двигатель привода диска от старого винчестера. В большинстве конструкций используется совершенно плоский трехфазный синхронный двигатель с магнитным ротором (полная высота – около 15 мм, посадочная глубина – всего 6 мм). Три обмотки двигателя соединены «в треугольник» или «в звезду», при подаче напряжения на одну из обмоток ротор поворачивается на небольшой угол и стабилизируется в этом положении. Пока в обмотке протекает ток, требуется немалое усилие, чтобы вывести ротор из занятого положения. Чтобы перевести его в другое положение, нужно подать напряжение на другую обмотку. Дальнейшее, как говорится, дело техники.

9.8. АНТЕННЫ

Радисты говорят: «хорошая антенна – лучший усилитель», но реализовать возможности любой антенны можно только при ее правильной установке. Многие автомобилисты убеждены, что лучшее место для наружной антенны – это крыша. Однако это не совсем верно. Эффективность антенны определяется высотой установки относительно *проводящей поверхности*. Это расстояние должно превышать 1/8 длины волны, а лучше – половину. Выполнить это условие можно только в диапазоне УКВ, и то с большим трудом. С этой позиции наилучшая антенна – та, у которой

нижняя несущая часть штыря выполнена из диэлектрического материала, но таких конструкций немного.

Поскольку весь автомобиль является проводящей поверхностью, нет особой разницы – на крыше стоит антенна или на крыле. Неудачным местом можно считать только бампер – значительная часть антенны при этом оказывается в непосредственной близости от кузова и диаграмма направленности антенны искажается. Для внутрисалонных антенн, особенно для «таблеток», выдержать необходимое удаление от проводящих поверхностей практически невозможно, поэтому место их установки – вопрос эстетики и эргономики. Размещать элементы антенны на лобовом стекле нужно так, чтобы не ухудшать обзора.

Наибольшая эффективность электрической антенны достигается в том случае, когда она находится в плоскости поляризации волны. В диапазонах ДВ и СВ используется вертикальная поляризация, на УКВ – горизонтальная, но в условиях города при многократных отражениях сигнала и различных атмосферных условиях плоскость поляризации может повернуться на неопределенный угол. Поэтому для наружных штыревых антенн обычно применяется компромиссное решение – установка антенны под углом к горизонту. При установке антенны-«таблетки» для повышения эффективности при работе с волнами различной поляризации один из ее элементов можно направить горизонтально, а второй – вертикально.

Симметричные вибраторы для телевизионного приема обычно монтируют на лобовое стекло (у верхней кромки) или заднее. В микроавтобусах его можно расположить и вдоль боковой «витрины». Неплохие результаты были получены также при установке антенны внутри пластикового бампера и даже внутри торпедо в районе нижнего среза лобового стекла. Конечно, варианты это экстремальные, прибегают к ним исключительно из соображений «вандалоустойчивости», чтобы не выдавать наличия в автомобиле телеаппаратуры. Однако качество приема несколько уступает тому, что можно получить при использовании традиционных вариантов установки. Кстати, при установке двух антенн такого типа во взаимно перпендикулярных направлениях их диаграмма направленности станет круговой. Это снизит влияние положения машины на качество приема, но сигналы двух антенн придется объединить.

При установке антенн на стекло нужно выполнить нехитрые правила, тогда крепление будет прочным и долговечным.

- Категорически не рекомендуется монтировать антенну в сырую или холодную погоду на улице.

- Стекло нужно тщательно очистить и обезжирить.
- Клеевую пленку для монтажа желательно прогреть.
- Перед приклеиванием основания на стекло – «семь раз отмерить», ибо ничего изменить уже нельзя, клей схватывается моментально.
- После монтажа не прикладывать сразу механические нагрузки.

9.9. НАСТРОЙКА

После того как все компоненты системы изготовлены, установлены и смонтированы, остается последний штрих – настройка [2, 115].

Главный критерий при настройке – получение максимально выразительного звучания. Как это ни парадоксально, но следует стремиться не к максимально плоской, а к максимально гладкой АЧХ. Из практики известно, что звучание автомобильных аудиосистем с безупречно плоской АЧХ в ряде случаев неприятно режет слух на высоких частотах. По-видимому, это объясняется избирательными свойствами человеческого уха, по-разному воспринимающего прямые и отраженные сигналы. Измерительный микрофон не способен их разделить.

Опытным путем установлено, что наиболее естественное и выразительное звучание в *неподвижном* автомобиле достигается в том случае, когда АЧХ по звуковому давлению имеет небольшой (3–5 дБ) подъем на частотах ниже 150–200 Гц и несколько меньший спад на частотах выше 7–10 кГц. Точные значения зависят от акустических свойств конкретного салона и находятся экспериментально. Шум движения сосредоточен преимущественно в области низких частот, поэтому для улучшения качества звучания в *движущемся* автомобиле может понадобиться дополнительный подъем частот ниже 100 Гц на величину от 3 до 8 дБ.

9.9.1. Абсолютная и относительная фазировка АС

Распространенная ситуация, с которой с которой сталкиваются в процессе настройки и профессионалы, и любители, – неожиданная «нехватка баса». Если динамики смонтированы по всем канонам, причина в неправильной абсолютной фазировке акустических систем. Хотя на выходах магнитол и усилителей, и динамиков указана полярность подключения, заранее неизвестно, инвертируется сигнал в тракте или нет. Далеко не все производители уделяют этому внимание.

Узнавание инструментов происходит на фазе атаки сигнала. Например, при неправильной полярности подключе-

ния в момент удара по барабану диффузор динамика втягивается, а не выталкивается. В результате атака сигнала «вывернута наизнанку», хотя низкочастотное заполнение есть. Возникает впечатление, что баса нет, или он «вялый». Особенно заметно это явление при широкой полосе частот мидбаса (при частоте раздела выше 400–500 Гц). Проверить абсолютную фазировку легко – достаточно одновременно сменить полярность подключения мидбасов. В одном из вариантов звучание будет более «сочным», его и принять за основу.

Фазировку всех остальных головок в системе нужно проводить относительно мидбасов. Смена фазировки ВЧ-головок обычно мало заметна. Если в системе используется фазовая коррекция, для подбора ее оптимальной величины потребуется прослушать разнообразный музыкальный материал. При этом нужно иметь в виду, что фазировка СЧ-головок относительно НЧ оказывает влияние как на фокусировку звуковых образов, так и на результирующую АЧХ *в точке прослушивания*. Поэтому для полной уверенности необходим контроль АЧХ.

9.9.2. Измерение и коррекция АЧХ

Измерить АЧХ системы можно двумя способами. Первый способ предполагает использование источника белого или розового шума и анализатора спектра звукового диапазона частот. Этот способ требует минимального времени, а результаты измерений наглядны. К сожалению, из-за высокой стоимости оборудования он практически недоступен любителям, но широко применяется в процессе настройки АЧХ в специализированных установочных студиях, и в ряде случаев можно прибегнуть к их помощи. Как вариант данного способа можно использовать ПК со звуковой платой и программу – анализатор спектра, но при отсутствии калиброванного измерительного микрофона точность измерений вряд ли будет удовлетворительной. Впрочем, если отказаться от измерения абсолютного уровня звукового давления и ограничиться только оценкой относительной неравномерности АЧХ (что, собственно, нас и интересует), этот метод вполне пригоден. Следует только учитывать, что некоторые звуковые платы неспособны одновременно работать на ввод и вывод сигнала. Микрофон (с учетом возможной неравномерности АЧХ) должен нормально функционировать при звуковом давлении хотя бы до 110 дБ. Измерения проводят при стандартном уровне 90 дБ, что на слух соответствует громкости немного выше средней.

Другой, более дешевый, но и несравненно более трудоемкий способ – снятие АЧХ по точкам. Для этого нужен ис-

точник тестовых сигналов (компакт-диск с записью третьоктавной сетки частот или генератор сигналов) и измеритель звукового давления. К сожалению, и этот прибор трудно достать, хотя он стоит не намного дороже китайского мультиметра. Его можно заменить микрофоном с известной АЧХ и милливольтметром. Качество измерений практически не пострадает, но придется учитывать АЧХ микрофона и оценивать только неравномерность АЧХ. При этом способе также можно использовать ПК со звуковой платой, что позволяет применить сколь угодно мелкую сетку частот, вплоть до скользящего тона. Программное обеспечение для подобных измерений можно найти в Интернете.

После анализа полученной АЧХ можно сделать заключение о необходимости частотной коррекции. Провалы и пики в области средних и высоких частот шириной не более 0,5 октавы и величиной до 4–5 дБ мало заметны на слух, бо**о**льшая неравномерность воспринимается как изменение тембровой окраски. В большинстве случаев «детальной» коррекции в этом диапазоне не требуется. Обычно можно обойтись интегральной коррекцией при помощи регулятора тембра ВЧ. Допустимая локальная неравномерность АЧХ в области нижних частот меньше 2–3 дБ, но провалы в этой области менее заметны на слух, чем пики. Неравномерность АЧХ в этом диапазоне частот воспринимается как разная громкость звучания отдельных нот на пассажах.

В зависимости от характера дефектов следует выбрать *метод коррекции*. При небольших погрешностях вблизи частот раздела полос нужно попытаться слегка разнести или, наоборот, перекрыть их, чтобы скомпенсировать подъемы и провалы АЧХ. Но возможности этого метода ограничены, поэтому для коррекции АЧХ на других участках необходим эквалайзер.

Коррекции при помощи эквалайзера подлежат участки с неравномерностью не более 6–8 дБ. Более глубокая коррекция может быть заметной на слух и свидетельствует прежде всего о серьезных просчетах в проектировании системы. Обычно подавление пиков более эффективно, чем «подтягивание» провалов, требующее к тому же запаса мощности (каждые 3 дБ соответствуют *удвоению* мощности сигнала в полосе коррекции). К сожалению, использование внешнего эквалайзера возможно обычно только с внешним усилителем, поскольку практически во всех магнитолах отсутствует вход усилителя мощности. Однако радиолюбитель может ввести соответствующие изменения в конструкцию магнитолы, воспользовавшись приведенными в предыдущей главе рекомендациями по подключению фильтров.

Описанный порядок создания аудиосистемы (выбор концепции – установка – измерения – выбор оптимального метода коррекции – настройка) предназначен для истинных ценителей, не ограниченных фактором времени. При профессиональной установке нередко предварительное снятие АЧХ не применяется вовсе. В системе изначально устанавливается графический эквалайзер, и регулировка при помощи анализатора спектра сводится к получению необходимых параметров. Степень реализации задуманного зависит при этом от профессионального уровня установщика и отведенного ему на работу времени. Во всяком случае, теперь читателю должно быть ясно, что за два часа «правильного» звука в машине никак не добиться...

Рис. 9.21. Компоновка мультимедийной системы

Рис. 9.22. Компоновка мультимедийной системы

Рис. 9.23. Компоновка мультимедийной системы

Рис. 9.24. Компоновка мультимедийной системы

10. ПОСЛЕДНЯЯ ГЛАВА

Эта глава последняя во всех смыслах. Ибо добавить к написанному мной в предыдущих изданиях можно очень немногое. За два с лишним года, прошедших с момента выхода в свет пятого издания книги, глобальных изменений ни в концепциях, ни в технологиях не было. Поэтому я не стал переписывать в очередной раз половину книги, а ограничусь лишь кратким обзором новинок и описаниями интересных самодельных конструкций.

Любое дело проходит в своем развитии ряд стадий: рано или поздно на смену любителям-энтузиастам приходят профессионалы, а за ними – промышленность. Любителям остается либо замкнуться в своем узком кругу, либо уйти – кустарям невозможно конкурировать с промышленным производством... Самодельные вездеходы, дельтапланы, приемники, усилители, магнитофоны – все это уже было и прошло, как только появились в достатке промышленные образцы. Но энтузиасты остались.

За десять лет, прошедшие с момента выхода первого издания книги, неизмеримо возрос технический и художественный уровень работ car audio, и этот потолок уже недостижим без металлорежущих и деревообрабатывающих станков, специального оборудования, опытных мастеров. В результате поклонники автозвука постепенно разделились на два почти не взаимодействующих лагеря: клиентов, идеи которых воплощают целые коллективы исполнителей-профессионалов, и «самодельщиков», объединяющих заказчика и исполнителя в одном лице (из любви к искусству, но чаще – от недостатка средств). Это – факт, закономерный финал.

Однако я верю, что car audio в России все же суждена долгая жизнь, хотя и в иных формах, нежели раньше. И любители делать все своими руками еще долго могут не беспокоиться – на их век работы хватит.

10.1. ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ CAR AUDIO

Главный козырь продукции after market, как и раньше – функции, которых нет у штатной аппаратуры. Поэтому дооснащение или замена, прежде всего, имеют целью получение дополнительных возможностей, отсутствующих у штатного оборудования. Однако и появление новых функций в OEM-аппаратуре уже не отстает от жизни на годы, как раньше.

Долгие годы автомобильная промышленность игнорировала car audio, фактически подарив этот сектор рынка производителям автоэлектроники – для этого были стандартизованы посадочные места и электрические соединения. Сегодня набирает обороты уже обратный процесс: штатная аудиосистема настолько интегрирована в автомобиль (и косметически, и электрически), что ее полная или даже частичная замена нередко становится невозможной. Понятно, что производители автоэлектроники в накладе не остались – они просто сменили розничного покупателя на оптового.

В то же время ничего уникального в штатных головных устройствах новых автомобилей нет – просто теперь их разработка ведется во взаимодействии с автопроизводителями, и все технологические новинки появляются там одновременно с массовыми моделями. Фактически новые штатные головные устройства выполняются на той же платформе и отличаются только нестандартными габаритами передней панели и интеграцией в систему управления (рулевые пульты, навигация, и т.д.). Параллельно некоторые производители выпускают в розничную продажу модели с развитым функциональным оснащением, полностью совместимые по интерфейсам и габаритам со штатными аппаратами. В этом случае замена сводится переключению разъемов (рис. 10.1).

Рис. 10.1. Мультимедийный центр Phantom DVM-9500hd, заменяющий штатное головное устройство в автомобиле Mazda CX-9

За последние годы структура автомобильного рынка сильно изменилась, в настоящее время в кредит приобретается порядка 50% новых машин. Из этого обстоятельства следует важный вывод. Покупаемые в кредит автомобили являются залогом (обеспечением кредита), поэтому страхуются на полную стоимость ***заводской комплектации***. По той же причине эти автомобили подвергаются особенному давлению со стороны сервисных служб, пресекающих любое несанкционированное вмешательство в штатное оборудование, тем более – переделку салона. Концепция «неизменяемой» аудиосистемы активно поддерживается и самими производителями автомобилей. Помимо оригинального внешнего вида и нестандартных габаритов, усложняющих замену головного устройства, во многих автомобилях его интеграция заходит слишком далеко – головное устройство и его дисплей все чаще неразрывно связаны с системами управления автомобилем, поэтому отказаться от них невозможно. К тому же большинство покупателей поначалу вполне довольны возможностями, надежностью и звучанием штатной аудиосистемы.

Впрочем, и желающих что-то менять становится все меньше – производители автомобилей и аппаратуры учли опыт, накопленный энтузиастами автозвука, и аудиосистемы современных автомобилей по своим функциональным возможностям и качеству звучания устраивают подавляющее большинство покупателей. Да и автомобиль уже приобретается не как раньше – на полжизни, а на два-три года, и желание вкладывать в его дооборудование значительные средства возникает все реже.

Эти тенденции подтверждаются статистикой.

Рост продаж автомобилей с предустановленной акустикой, звучание которой устраивает большинство покупателей, вызвал снижение розничного спроса на акустические системы нижнего и отчасти среднего ценового диапазона. За ними остался сегмент подержанных иномарок и недорогих отечественных автомобилей, не оснащаемых акустикой при продаже. В результате «центр тяжести» продаж акустики сместился в область среднего и верхнего ценового диапазона. Спрос в этом сегменте определяется медленно, но стабильно растущей группой покупателей с повышенными требованиями.

Снижение стоимости DVD-проигрывателей, DVD-ресиверов, мониторов и мультимедийных центров привело к тому, что за два последних года головные устройства с поддержкой DVD фактически вытеснили CD/MP3 ресиверы. Становится все больше многофункциональные моделей с поддержкой Bluetooth®, iPod®, SD/MMC, USB и на-

вигации. В области мультимедийных компонентов параллельно развиваются два класса устройств – мультимедийные центры со встроенными мониторами и автономные портативные устройства, пригодные к применению в автомобиле (LCD TV и DVD плееры с ЖК экраном). Немалая доля их популярности объясняется возможностью использования вне автомобиля, и простотой подключения к имеющейся аудиосистеме (встроенный FM-модулятор, держатели, кабели питания).

Широко распространившаяся цифровая обработка сигнала привела к тому, что различия в функциональных возможностях головных устройств определяются теперь лишь программным обеспечением, «младшие» версии которого получены усечением «старших». (*Например, у Panasonic головные устройства высшего класса оснащаются технологиями SRS CS Automotive, модели средней ценовой категории – пакетом SRS WOW®, а бюджетные – технологией TruBass®.*) Более того, оформление головных устройств уже не дает возможности судить о ценовой категории аппарата – все модели одного производителя выглядят практически одинаково, такая вот «аудиотолерантность».

В связи с распространением цифровой обработки сигнала позиции классических аналоговых устройств обработки (активных кроссоверов, эквалайзеров) стали неустойчивыми, спрос на них упал, и выпуск этих устройств неуклонно сокращается. Особенно активным этот процесс стал с распространением импульсных (цифровых) усилителей, качество звучания которых за последние годы заметно выросло. Ведущие производители уже начали внедрять полностью цифровой тракт (от источника до динамика), и по осторожным прогнозам переходный период может занять 3–5 лет. Этот процесс затронет продукцию как OEM, так и after market, но прогнозировать его динамику пока не представляется возможным.

В группе усилителей ярко выраженных тенденций пока не наблюдается. Так, например, фирма Kenwood в 2007 году сократила номенклатуру усилителей до двух(!) моделей – одной четырехканальной и одной двухканальной, обе – с минимальным набором функций. В то же время Matsushita Electric, ранее не выпускавшая автомобильные усилители, в том же году представила новую линейку Panasonic из трех моделей (четырехканальный, двухканальный и цифровой моноблок). У других производителей картина аналогичная – наблюдается как расширение, так и сокращение модельных рядов. Несмотря на это, отмечен рост продаж усилителей, но динамика по группам пока неустойчивая. Повсеместный переход на штатные акустические системы

с номинальным сопротивлением 2 Ом и удвоение вследствие этого выходной мощности головных устройств не способствуют повышению спроса на дополнительные усилители.

По-прежнему наиболее популярны четырехканальные модели, используемые в классической конфигурации «фронт-тыл» или «фронт+саб». Двухканальные модели небольшой мощности обычно используют для подключения сабвуфера, расширяющего возможности штатной аудиосистемы. Для упрощения подключения к штатным аудиосистемам в усилителях этой группы обязательно присутствуют входы высокого уровня, во многих моделях есть возможность включения низкочастотным сигналом. Спрос на достаточно сложные в функциональном отношении усилители невысок: с одной стороны, аудиосистемы высокого уровня (многоканальные, многополосные) так и не стали массовыми, с другой стороны – дополнительная обработка сигнала (цифровая) все чаще сосредоточена в головных устройствах или внешних процессорах.

Выше уже отмечались проблемы, возникающие при расширении глубоко интегрированных в автомобиль аудиосистем. В случае невозможности замены заводского головного устройства единственный выход – модернизация OEM-системы путем установки новых динамиков, дополнительных усилителей, DVD-проигрывателей и т.д. Задача усложняется закрытой архитектурой OEM-систем, поэтому для подключения дополнительных источников сигнала удобнее всего использовать FM-модулятор, хотя это и не самое удачное решение с позиции качества воспроизведения. В настоящее время все больше производителей дополнительного оборудования предлагают не просто FM-модуляторы, а настоящие коммутационные центры, рассчитанные на подключение нескольких источников сигнала, включая USB-накопители и iPod®, отличающиеся различным уровнем интеграции, способами управления. У самых современных систем коммутации предусмотрен даже обмен данными с бортовыми устройствами через шину CAN.

Однако самой важной тенденцией последних лет является постепенное отмирание лазерного диска как носителя информации. Этому способствует повсеместное увлечение сжатыми аудиоформатами, развитие других видов носителей информации и увеличение быстродействия интерфейсов обмена данными. Объемы карт памяти и возросли до десятков гигабайт, и теперь они способны хранить не только звуковые, но и видеофайлы. Малогабаритные винчестеры большой емкости (подключаемые через USB-интерфейс) и проигрыватели i-Pod позволяют воспроизводить и

несжатые аудиофайлы, и видео. Поэтому появляется все больше головных устройств, лишенных привычного дисковода, но оснащенных интерфейсами i-Pod (USB-порт давно стал само собой разумеющимся).

Примером могут служить новые головные устройства Clarion FZ709e и FZ409, появившиеся в России в конце 2009 года. Лишенные подвижных частей в проигрывающем тракте, эти модели используют в качестве носителя информации USB и флэш-карты с MP3/WMA/AAC файлами, а модель FZ709e также и любые Bluetooth-совместимые внешние устройства (мобильные телефоны). Фирменный «восстановитель звука» BBE-MP возвращает композициям утраченные при сжатии файлов гармоники и восстанавливает неподдельную теплоту, детальность и объемность живого звука. Цифро-аналоговый конвертер высшего класса с 24-битным разрешением увеличивает детальность стандартно записанных в 16-ти битном формате записей до следующего порядка и придает им максимальную детальность и чистоту. Новый сенсорный дисплей оснащен емкостными датчиками, которые избавили его от традиционных механических кнопок и сделали управление еще более комфортным. Контекстное меню в каждом режиме работы выводит на экран только необходимые «кнопки».

Основные технические особенности:

- Встроенная громкая связь с Bluetooth (HFP & OPP) и потоковая передача аудиоконтента (A2DP & AVRCP) (FZ709E).
- MP3, WMA и iTunes® AAC совместимость, отображение ID3-TAG.
- Прямое управление iPod через USB.
- Внешний вход с регулировкой чувствительности.
- Внешнее управление (разъем сзади).
- Регулировка уровня сабвуфера.
- 24-bit D/A ЦАП.
- BBE MP для улучшения качества сжатого звука.
- Beat EQ для персональной настройки звука.
- Встроенные ВЧ- и НЧ-фильтры.
- Сенсорное управление.
- Точечный OEL-дисплей.
- Выход предусилителя 4 В (6 каналов).
- Возможность подключения к штатным кнопкам управления магнитолой (опция).
- Пульт ДУ (опция для FZ409E).
- Готов к iPod-видео.
- Внешний микрофон в комплекте (FZ709E).
- Готов к подключению к интерфейсу Bluetooth BLT373 (FZ409E).

Рис. 10.2. Мультимедийный центр Clarion FZ709

10.2. ШАГИ В БУДУЩЕЕ

Приведенные примеры – это день сегодняшний, а производители автомобилей и аппаратуры уже заглядывают в завтрашний день. В новых концепциях автомобиль и его информационная и мультимедийная «начинка» рассматриваются как единое целое, и некоторые проекты уже воплощены в «железе».

10.2.1. Интернет-мобиль

Попытки связать автомобиль и Интернет многочисленны и очень разнообразны. В этом направлении работают все автопроизводители, но реальных успехов достигли немногие: до сих пор не решена главная инфраструктурная проблема – отсутствие единого для всех рынков стандарта телекоммуникации с распространенностью, равной ареалу распространения самого автомобиля. Автопроизводители работают над единой «глобальной» системой «авто-онлайн», но пока суть да дело, некоторые предлагают разработки локального применения. Например, Volkswagen.

Носителем экспериментального «железа» и ПО стал новейший кроссовер Tiguan, получивший от создателей прозвище «Вебмобиль». Посредником между ним и интернетом является аппаратно-информационная структура, названная WLAN-сеть. (буква W символизирует город Вольфсбург, где создана научно-исследовательская корпорация «Wireless Wolfsburg». Ее учредителями, помимо немецкого автоконцерна, выступили известные электронные и софтверные фирмы – Wolfsburg AG, AutoUni и WobCom.)

auto@web (пишется именно так, с маленькой буквы) позволяет не просто выходить в Сеть или прокладывать маршрут, а предоставляет водителю автомобильный Интернет-сервис. Для навигационной системы разработана оболочка, максимально «заточенная» под нужды водителей – разделы вроде «Путешествия», «Городская жизнь», «Здоровье» многоуровневая подробная информационная структура конкретной местности (Вольфсбурга, в данном случае). Ра-

зумеется, и «окно» в большой Интернет никто не закрывал (в систему входят поисковик и браузер). Для коммуникации используется сочетание Wi-Fi и сотовой связи (UMTS или GPRS).

Пользовательский интерфейс максимально упрощен: для поиска используется наглядное цветовое деление карты, маршруты прорисованы крупно, с большими стрелочкам подсказок. По специальному запросу (через мобильный телефон или коммуникатор) можно узнать местонахождение машины, запереть двери, выключить двигатель, посмотреть остаток топлива в баке. Короче, совершить любое действие, для которого существует датчик или исполнительное устройство.

10.2.2. Айфон-мобиль

Мировое автомобилестроение вступило в эпоху смены концепций: ДВС «уходит», уступая место более эффективным и экологичным двигателям. Ближайшее будущее – гибридные автомобили, сочетающие ДВС и электротягу, но это, очевидно, лишь промежуточная стадия на пути к электромобилю. Концепт-кар Chrysler 200C EV – гибридный автомобиль с увеличенным запасом хода на «чистой» электротяге, но самое интересное – так называемая «коммуникативная платформа» uConnect. Инженеры отказались от компромиссных попыток изобретения очередного форм-фактора для мультимедийной бортовой станции и предложили радикальное решение: пусть сама панель приборов станет интерактивным сенсорным дисплеем. И пусть все органы управления будут доступны сосредоточены на сенсорном экране.

Идея, вообще-то, не новая, но все прежние попытки разбивались об эргономические ограничения: все-таки в автомобиле средства отображения и средства управления должны быть разнесены, неудобно как-то нажимать виртуальные кнопки, продевая руки сквозь обод руля. Или отклонять взгляд туда, куда удобно подносить руку. Разработчики вышли из положения, так разделив зоны управления и отображения, что они совершенно друг с другом не конфликтуют. А дисплею придали такую форму, что он как бы обтекает рулевую колонку, стекая на консоль и застывая там каплеобразным треугольником (рис. 10.3).

Возможности интерактивной панели и спрятанного в недрах автомобиля процессора таковы, что позволяют реализовать все функции, присущие современным персональным компьютерам, мобильным и не очень. Прежде всего, инженерам «Крайслера» удалось предложить удобный вариант ввода информации – сенсорную клавиатуру, оптими-

Рис. 10.3. Интерьер салона Chrysler 200C EV

зированную под набор одной рукой (правой). «Клавиши» расположены в три дугообразных ряда на каплевидном «приливе», заходящим на центральную консоль. Ниже, под клавиатурой расположили виртуальный аналог четырехсегментного качающегося переключателя. В разных функциональных раскладках панели (всего их восемь) этот универсальный переключатель отвечает за разные функции, а в базовом варианте (то есть раскладке, появляющейся по умолчанию, при старте системы) он управляет включением-выключением, климат-контролем, аварийной сигнализацией и позволяет настроить положения кресел. Эмулятор «мыши» здесь не нужен – экран во всей зоне управления имеет сенсорную матрицу.

Клавиатура в этой системе требуется не только и не столько для работы над офисными приложениями, это как раз не главное. С ее помощью легко набирать различные сообщения, SMS или car-to-car. Она поможет и при вводе адреса или названия объекта в строку поиска навигационной системы. Дисплей навигации, кстати, располагается чуть выше клавиатуры, занимая пространство между физическими кромками панели и линией проекции обода руля на дисплей. Адрес набран и введен – клавиатура исчезает, уступая место «кнопкам», необходимым для прямого управления навигацией. Отметим, что решение с виртуальной клавиатурой более функционально, чем ввод текста посредством универсального джойстика в системах типа MMI или I-Drive. Там тоже задействована одна рука, но процесс сильно замедлен из-за необходимости постоянного перемещения курсора между буквами алфавита. СМС-ку так набрать еще можно, а вот набить страницу текста – едва ли.

Рис. 10.4. Интерактивная панельChrysler 200C EV

Свою дозу информационного удовольствия получит и передний пассажир, для которого предусмотрен отдельный сенсорный дисплей на правом торце центральной консоли. С помощью него можно управлять положением сиденья и климатом. А вот информационно-развлекательные удовольствия выведены на отдельный дисплей, выезжающий из «бардачка». Собственно говоря, это не дисплей, а самостоятельный планшетный компьютер, беспроводным образом поддерживающий постоянную связь с центральным процессором автомобиля. Его можно легко «отстегнуть» от подставки и захватить с собой или передать задним пассажирам. Он также способен служить и диагностическим монитором, и мультимедийной станцией.

Центральная и левая часть панели отведены под индикаторы текущего состояния автомобиля – спидометр, тахометр, индикатор положения АКП, кнопки управления освещением. Но на стоянке все центральное пространство отдается под мультимедиа, превращаясь в обычный компьютерный экран: хочешь – играй в игры, хочешь – броди по интернету. Архитектурная логика крайслеровской панели в чем-то схожа с логикой управления iPod, здесь тоже в ходу вариативность и способность распознавать направление движения пальца. Да и дизайнерские решения ближе к Apple, чем к Microsoft.

Кстати, про iPod, точнее – про iPhone. Создатели автомобиля утверждают, что его можно синхронизировать с этим коммуникатором, да и вообще с любым продвинутым сотовым телефоном (смартфоном). Тогда система сама будет соединяться с офисной или домашней сетью, проверять электронную почту, перекачивать «на борт» незавершенные заметки, синхронизировать записные книжки и ежедневники... Также с телефона (под iPhone уже готово соответствующее ПО) можно программировать температуру в салоне, открывать и закрывать двери, получать изображе-

ние с бортовой видеокамеры и информацию с датчика движения. И, разумеется, запрашивать текущие координаты автомобиля.

Особое место в идеологии Chrysler 200C EV отведено вышеупомянутой системе car-to-car, которую создатели называют социальной сетью для автомобилей, наподобие «человеческих» MySpace или Facebook. Это означает, что появление на дорогах некоторого количества автомобилей подобного типа должно привести к их взаимному «узнаванию», распознаванию подробностей о машине и владельце и даже возможность записать кого-то в друзья или враги. Допустим, некто ведет себя на дороге корректно, вовремя включает «поворотники», пропускает, не подрезает – такие свойства достойны того, чтобы быть запомненными. И при приближении к этой машине на панели приборов загорится символ «друг». Дескать, он и перестроиться не помешает, и «аварийкой» мигнет благодарно. Сразу у водителя настрой соответствующий, позитивный, благожелательный. И напротив: если за неким авто водится некорректное поведение, то он заносится в базу как недруг и при приближении к нему система предупредит: будь бдителен!

«Автомобильная социальная сеть» суть составная часть более общей системы под названием «интеллектуальная навигация». Предполагается, что помимо традиционных GPS и TMC, будут использованы и камеры слежения за транспортным потоком, размещаемые на городских магистралях. Эти камеры будут доступны в он-лайн режиме и каждый водитель сможет через их объективы посмотреть «пробочную» ситуацию на конкретных участках. Или, допустим, «визуализировать» нужную стоянку и убедиться в наличии свободных мест. Не последнюю роль в прогнозировании дорожной обстановки могут сыграть данные о скорости передвижения автомобилей, объединенных в социальную сеть: Chrysler 200C EV сам может отправлять запросы «друзьям», с тем, чтобы они поделились картинками со своих видеокамер или информацией с электронного спидометра. А взамен, в качестве благодарности, «другу» можно направить любимую песенку или видеоклип. Не забыта и коммерческая составляющая: постоянный Wi-Fi или Wi-Max-доступ в Сеть позволит подключать водителей к платному интернет-радио или сервисам по продаже мультимедийного контента.

Важной особенностью системы uConnect является ее полная интегрированность в «начинку» автомобиля. И при необходимости uConnect превращается в средство диагностики и – в некоторых случаях – устранения неисправностей. Существует два базовых режима – пользовательский

и сервисный. Первый доступен через меню, хотя и запрятан довольно глубоко. Он может рассказать владельцу о степени износа систем и агрегатов автомобиля, состоянии батарей, дать рекомендации по экономичному вождению и напомнить о необходимости проведения ТО. Доступ в пользовательский режим возможен и удаленно, через сотовый телефон или интернет. Вход же в сервисный режим, недоступный пользователю (ну да, конечно...) раскрывает все «карты»: температуры и напряжения в конкретных точках, коды неисправностей с подробной расшифровкой, позволяет корректировать параметры и, в том числе, перепрограммировать сам uConnect. То есть добавлять или отключать функции, «заливать» апдейты, новые языки, карты и т.д.

Все описанное не выглядит фантастично и может быть реализовано в серийном автомобиле уже сегодня. Этот автомобиль не обязан быть электрическим или гибридным – технология интерактивного управления универсальна и готова к использованию хоть в «Жигулях». Находки крайслеровцев – в эргономике, в сочетании зон управления и отображения, и, конечно, в идеях автомобильной социальной сети и интеллектуальной навигации – очевидны, даже странно, почему этого не сделали до сих пор. Ведь практически каждый крупный автопроизводитель ведет такие работы, и время от времени в печать проникают описания концепций «цифровых автомобилей». Да, эти концепции сильно различаются в деталях, но похожи в главном – автомобиль будущего не должен заменять собой домашний PC, он должен его дополнять. В этой парадигме много места остается для «цифрофизации» самого процесса перемещения в пространстве – навигация, дорожный сервис, пробки, развлечения... И проект Chrysler 200C EV интересен тем, что способен сформировать новую автомобильную реальность, не столько техническую, сколько социальную. «Выплеснуть» автовладельца из чатов и блогов в новые структуры, адаптированные и еще более удобные, дать ему иллюзию (хотя бы иллюзию!) неодиночества – и пожалуйста, человек привыкает и готов за эти сервисы платить. Немного, чтобы оправдать сетевой трафик и отчисления поставщикам контента и ПО. Остальное можно добрать за счет рекламы, возможности для которой в таких сетях открываются прямо-таки колоссальные.

В настоящее время Chrysler Group LLC находится в процессе преобразования – реструктуируются задолженности, часть акций приобретена FIAT. Дело идет к тому, что на базе этих двух компаний будет создан один очень сильный производитель автомобилей. Которому, конечно же, понадобится прорывной проект, дабы убедить измученную

кризисом общественность в технологических выгодах объединения таких разных фирм. И Chrysler 200C EV, будучи почти готовой к производству моделью, подходит на роль такого «прорыва» как нельзя более.

10.3. АУДИО ДЛЯ СКУТЕРА

Аудиосистемы на двухколесных транспортных средствах появились сравнительно недавно, и их история в известной степени повторяет (и, надо полагать, повторит и дальше) историю car audio. На сегодняшний день штатные аудиосистемы присутствуют лишь в самых дорогих моделях мотоциклов, владельцы «двухколесных коней» попроще добавляют аудиосистемы самостоятельно, преодолевая ряд проблем – в первую очередь, компоновочных и энергетических. В самом невыгодном положении находятся владельцы мопедов и скутеров. Резервы энергии в бортовой сети минимальны, да и место для установки стандартного головного устройства (не говоря уже об усилителе) найти непросто. Многие решают проблему при помощи плеера и наушников, но это небезопасно – «глухой» водитель мало чем отличается от слепого.

Плеер в качестве источника сигналов – отличное решение для скутера (компактен, удобен в управлении, уносится с собой). Но к нему необходимо добавить усилитель и акустическую систему. Вот об этом и поговорим подробнее.

10.3.1. Акустическая система

Из условий работы на открытом пространстве следует несколько выводов:

- Необходима стойкость к окружающей среде (влажность, ультрафиолет, и т.д.). Обычные автомобильные мидбасы с полипропиленовым диффузором справятся с влажностью, но под солнечными лучами, скорее всего, радикально изменят цвет диффузора. Если цвет имеет значение – можно воспользоваться специальными «морскими» сериями акустики со стойкой к солнечным лучам окраской.
- Необходим солидный басовый потенциал. Это только в салоне автомобиля нам помогает передаточная характеристика, а здесь единственным утешением послужит лишь то, что слушатель находится в ближней зоне (на открытом пространстве бас рассеивается практически бесследно уже на расстоянии в несколько метров).
- От пищалок требуется хорошая перегрузочная способность. В ближней зоне прослушивания малейшие искажения, возникающие в пищалках, особенно заметны.

Выбор мест, доступных для установки фронтальной акустики, весьма ограничен и фактически определяет тип применяемой акустики – коаксиальная или компонентная. Практически возможны только два места – в районе переднего щита (в нишах, багажных отсеках и т.д.) и в районе руля (в корпусах на кронштейнах). Или оба варианта совместно – что удобно для компонентной акустики. Коаксиальные динамики с учетом простоты установки приобретают ряд преимуществ, а недостатки становятся несущественными – в ближней зоне они могут звучать даже лучше, чем разнесенные.

Установка в «бардачок» предполагает хоть какой-то задний объем, и можно надеяться на некоторое подобие баса. Вариант «на руле» не оставляет иллюзий – в корпусах разумного размера баса не будет. Как вариант можно использовать суммарный низкочастотный канал с одним басовичком размером 6–8 дюймов, установив его в нижней части переднего щита, под ногами, в багажном кофре и т.д. По соображениям экономии места и энергии в системе с таким «квазисабвуфером» будет удобно использовать двухканальный усилитель, а динамики подключить как «трифоник» (варианты подключения приведены далее).

Скутер все же не мотоцикл, поэтому «нормальный» сабвуфер не рассматриваем в принципе. Даже если и удастся пристроить его без особого ущерба для эстетики и управляемости, вреда от него будет больше, чем пользы – слабенький генератор и крошечный аккумулятор умрут в страшных муках через 10–15 минут работы.

10.3.2. Усилитель

Во главу угла придется поставить малое энергопотребление при возможно большей мощности – весьма противоречивые требования. От применения готовых автомобильных усилителей, скорее всего, придется отказаться – маломощных моделей (по 20–25 Вт на канал) сегодня практически нет, а усилитель большей мощности будет убийцей аккумулятора. Импульсные усилители класса D тоже вряд ли помогут – их достоинства проявляются при мощностях в сотни ватт, а при малой выходной мощности они ненамного эффективнее аналоговых. И при этом существенно дороже.

Наиболее полно поставленным условиям удовлетворяют усилители на микросхемах. Отсутствие преобразователя напряжения повышает общий к.п.д. усилителя и удешевляет его, а дополнительную мощность можно получить, если перейти к акустике сопротивлением 2 Ом. Сегодня та-

ких динамиков немало – тот же JBL, например. При напряжении питания 12 В получить от микросхемы неискаженную мощность 20–25 Вт на канал – не проблема. Пиковая достигнет 40–50 Вт – даже больше, чем нужно. Проблема только в одном. Сегодня таких усилителей промышленного изготовления не найти днем с огнем. Лет пятнадцать назад была такая модель у Pioneer, лет шесть назад – Premiera PRA-240. Иногда их можно найти на вторичном рынке – но чаще всего в плачевном состоянии. Остается делать усилитель своими руками.

На страницах радиолюбительских изданий опубликовано немало вариантов автомобильных усилителей любительской разработки, но для решения поставленной задачи они малопригодны. В большинстве конструкций использована устаревшая элементная база, большое количество дополнительных элементов. Некоторые любительские разработки насыщены электронными регулировками, коммутаторами, устройствами индикации и другими элементами, усложняющими и удорожающими конструкцию – и совершенно бесполезными для водителя.

Другой путь – использовать имеющиеся в продаже готовые узлы и наборы для самостоятельной сборки. Однако при этом приходится сопрягать между собой блоки, разработанные разными конструкторами, согласовывать импедансы и уровни сигнала, что для неспециалистов тоже непросто. Всегда лучше проектировать изделие комплексно, а не строить «Тришкин кафтан».

Простоту конструкции и приличные характеристики можно совместить, применив в самодельном усилителе современные микросхемы УМЗЧ, предназначенные для автомобильной радиоаппаратуры. Они не требуют внешних цепей ООС и коррекции, обходятся минимальным количеством навесных элементов и снабжены встроенной защитой от короткого замыкания выходных клемм, перегрева и других превратностей судьбы.

Удобно выполнить усилитель на основе распространенной микросхемы TDA8560Q (Philips). В нее входит два мостовых усилителя, максимальный выходной ток которых составляет 7,5 А. Благодаря этому усилитель легко переносит комплексную нагрузку – пассивные разделительные фильтры многополосных АС, и может работать с нагрузкой 2 Ом.

Параметры усилителя таковы:

- Чувствительность – 500 мВ.
- Сопротивление нагрузки – 2–4 Ом.
- Номинальная выходная мощность на нагрузке 4 Ом – 2×15 Вт ($U_п$ = 12 В, $K_г$ = 0,5%).

- Номинальная выходная мощность на нагрузке 2 Ом – 2 × 20 Вт ($U_п$ = 12 В, $K_г$ = 0,5%).
- Максимальная выходная мощность на нагрузке 4 Ом – 2 × 30 Вт ($U_п$ = 12 В, $K_г$ = 10%).
- Максимальная выходная мощность на нагрузке 2 Ом – 2 × 40 Вт ($U_п$ = 12 В, $K_г$ = 10%).
- Коэффициент гармоник при выходной мощности 1 Вт – 0,1%.
- Напряжение питания – 10–16 В.
- Максимальный потребляемый ток – 10 А.
- Ток покоя – не более 0,15 А.
- Ток потребления в состоянии «standby» – 0,1 мА.

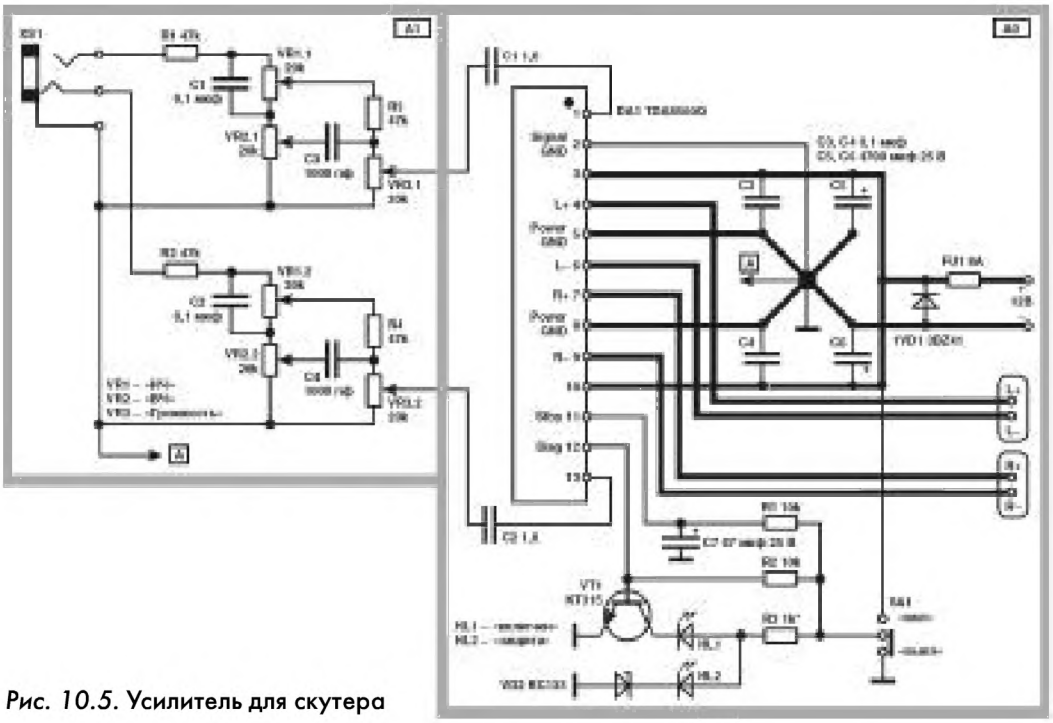


Рис. 10.5. **Усилитель для скутера**

Конструкция усилителя максимально упрощена, а номиналы элементов унифицированы. Схема (рис. 10.5) содержит элементы топологии монтажа и поэтому отличается от требований ГОСТ.

Сигнал с входного гнезда XS1 типа jack поступает на пассивный регулятор тембра (A1). Необходимый диапазон регулирования обеспечивается за счет запаса усиления микросхемы (40 дБ). Это решение не только проще и дешевле, чем применение специализированных микросхем аудиорегулировки, но и обеспечивает более высокое качество звучания.

В основу блока регулировки громкости и тембра положена схема, применявшаяся в приемниках и магнитолах фирмы Grundig в конце 70-х годов. Незначительные изменения вызваны стремлением сократить количество деталей и изменить диапазон регулирования. Как показывает практика, глубокая регулировка тембра в современном аудиотракте не требуется, а регулятор баланса – и вовсе атавизм. Поэтому принята несимметричная регулировка тембра – «завал» намного меньше «подъема». Сдвоенные переменные резисторы VR1, VR2, VR3 регулируют соответственно тембр НЧ, тембр ВЧ и громкость.

С выхода блока регулировок сигнал поступает на усилитель мощности (A0), выполненный на микросхеме TDA8560Q в типовом включении. Для получения максимальной неискаженной выходной мощности большое значение имеет емкость фильтра в цепи питания микросхемы. В большинстве автомагнитол и CD-ресиверов эта емкость не превышает 2200 мкФ, поэтому качество звучания часто оставляет желать лучшего. Особенно заметно это при воспроизведении современных записей с расширенным низкочастотным диапазоном. Чтобы устранить это недостаток, в предлагаемой конструкции емкость фильтра составлена из двух конденсаторов емкостью не менее 4700 мкФ, расположенных в непосредственной близости от микросхемы.

Микросхема подключена к источнику питания постоянно, для включения на вывод 11 нужно подать высокий логический уровень (>7 В). В выключенном состоянии выходы переводятся в высокоимпедансное состояние, а ток потребления не превышает 100 мкА. Состоянием микросхемы управляет выключатель питания SA1, через него же подается напряжение питания на каскад управления индикацией состояния. Диод VD1 защищает микросхему от подачи напряжения питания в обратной полярности.

В составе микросхемы имеется детектор динамических искажений DDD (Dynamic Distortion Detector) и схема защиты от короткого замыкания и перегрева, ограничивающая ток выходного каскада на уровне 40 мА. Информация этих систем выводится на диагностический вывод 12. В нормальном состоянии на выходе диагностики присутствует высокий логический уровень. В моменты ограничения (клиппирования) сигнала на время перегрузки высокий уровень сменяется низким, при срабатывании схемы защиты устанавливается постоянный низкий уровень.

Микропроцессор магнитолы анализирует состояние диагностического вывода и предпринимает соответствующие действия (ограничивает усиление, выводит на дисплей грозные предупреждения). В нашем случае значение имеет

только то, что любая нештатная ситуация сопровождается появлением на выводе 12 сигнала низкого уровня – постоянного при замыкании и перегреве, импульсного – при перегрузке. Этот сигнал закрывает нормально открытый транзистор VT1, в результате светодиод HL1 гаснет, а HL2 начинает светиться, сигнализируя о проблеме. Стабилитрон VD2 исключает свечение HL2 в нормальном режиме работы.

10.3.3. Детали и конструкция

Оксидные конденсаторы C5–C7 (A0) – К50-16 или аналогичные импортные на рабочее напряжение не ниже 25 В. Конденсаторы C1,C2 (A0, A1), C3,C4 (A1) – К73-17, БМ, МБМ, ПМ, КСО. Блокирующие конденсаторы C3,C4 (A0) – керамические любого типа. Все постоянные резисторы – МЛТ 0,125. Сдвоенные переменные резисторы должны быть с показательной зависимостью сопротивления от перемещения (В).

Тип остальных деталей не критичен. Ключевой транзистор КТ315В(Г) можно заменить любым npn-транзистором с коэффициентом передачи тока не менее 50 и допустимым током коллектора не менее 20 мА. Светодиод HL2 желательно выбрать красного цвета свечения, HL1 – любого другого, но с близким значением рабочего тока. Можно использовать и двухцветный светодиод. Рабочий ток (яркость свечения) устанавливается резистором R3 (A0), для номинала 1 кОм он примерно равен 10 мА.

Стабилитрон VD2 необходим в случае применения светодиодов с резко отличающимся прямым падением напряжения (например, HL2 – красный, HL1 – голубой). При близких значениях падения напряжения стабилитрон вполне можно заменить одним-двумя кремниевыми диодами, включенными в проводящем направлении. В любом случае сумма напряжения стабилизации VD2 и прямого падения напряжения на HL2 должна быть хотя бы на 0,6 В больше, чем прямое падение напряжения на HL1.

Тип защитного диода VD1 значения не имеет, важен только максимальный ток (не менее 10 А в импульсе). Его задача – «выстоять» 1–2 секунды, пока будет перегорать предохранитель. Если вероятность неправильного подключения питания исключена, диод можно не устанавливать.

В силу простоты усилитель вполне можно собрать на макетной плате или навесным монтажом на плате из изоляционного материала, используя для соединения выводы деталей и монтажный провод. При использовании печатной платы проводники питания следует облудить, а лучше –

припаять поверх дорожки медный проводник диаметром 0,8–1 мм. Конденсаторы С3, С4 (А0) необходимо разместить как можно ближе к микросхеме.

Для монтажа цепей питания и акустических систем необходимо использовать провод сечением не менее 0,75 мм^2. Радиатор можно изготовить из дюралевого уголка 30 × 50 мм, или использовать готовый радиатор от автомагнитолы (такой радиатор использовался в авторском варианте).

Учитывая огромное разнообразие типов переменных резисторов и разъемов, темброблок в любом случае удобнее собрать навесным монтажом, поскольку все детали можно разместить на выводах переменных резисторов. Компоновка и внешнее оформление определяется поставленной задачей и возможностями радиолюбителя.

Налаживания собранный усилитель не требует. При включении достаточно убедиться в наличии на выводах 4, 6, 7, 9 напряжений, равных половине напряжения питания. Допустимое отклонение – 10%.

10.3.4. Подключение нагрузки

Рассмотрим схему подключения к АС усилителя с двумя мостовыми выходами каналов. Динамические головки левого и правого каналов ВА1, ВА2 условно показаны широкополосными. Низкочастотная головка ВА3 подключена между выходами усилителей левого и правого каналов, при этом сигналы суммируются и головка воспроизводит *монофонический сигнал*. Мощность подводимого сигнала для всех трех головок одинакова, поэтому они должны быть примерно одинаковой чувствительности (рис. 10.6А).

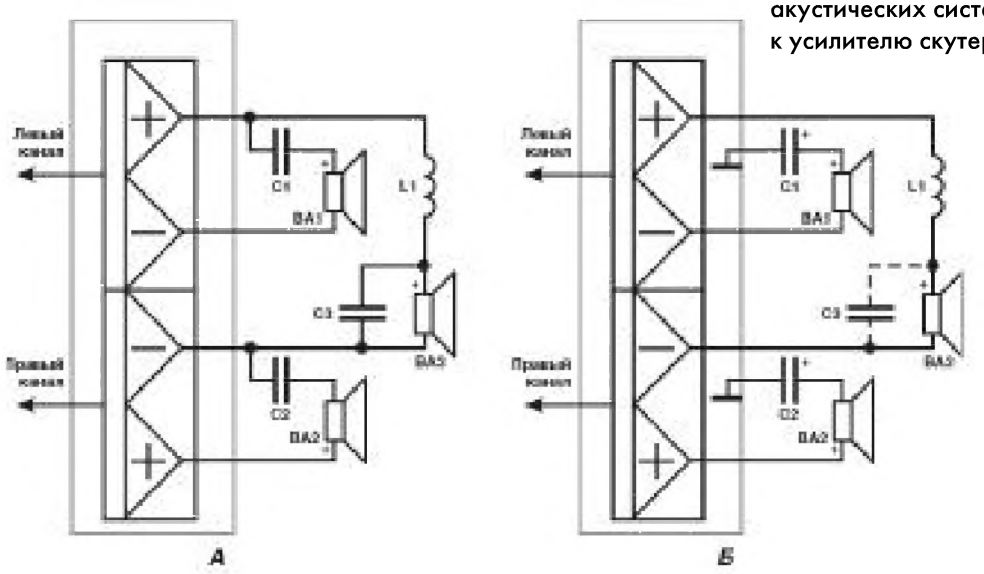


Рис. 10.6. Подключение акустических систем к усилителю скутера

В этой схеме подключения обязательно наличие двух ФВЧ для стереоканалов и ФНЧ для суммарного канала. Их задача – исключить параллельную работу головок и перегрузку усилителя. Обычно для стереоканалов используются фильтры первого порядка (C1, C2), для суммарного – второго (C3L1) или третьего. Расчет их производится обычным способом. Частоту раздела вполне можно выбрать и 400 Гц, если низкочастотная головка расположена в передней части скутера – заодно упростится конструкция катушки фильтра.

Поскольку оба канала усиления мостовые, можно использовать и еще одну схему подключения, невозможную в случае обычных усилителей (рис. 10.7Б). Низкочастотная головка подключается по мостовой схеме, а канальные – как к обычному усилителю с однополярным питанием. Необходимые в этом случае разделительные конденсаторы играют роль фильтров, ограничивающих низкие частоты. Достоинство такой схемы подключения в том, что полосу частот для динамика суммарного канала специально можно не ограничивать – будучи распложенным внизу, он и так растеряет большую часть средних и высоких частот, а остатками можно пренебречь. Поскольку в таком варианте используются инвертирующие и неинвертирующие выходы усилителя, обратите внимание на полярность подключения головок. Этот вариант подключения особенно удобен при использовании канальных головок с более высокой чувствительностью, чем у низкочастотной – мощность каждого стереоканала в 4 раза ниже, чем у мостовой пары.

10.4. АДАПТИВНЫЙ ТЫЛОВОЙ КАНАЛ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗВУЧАНИЯ

Первая разработка автора появилась еще в 1999 году, но за прошедшее время принцип работы был пересмотрен, а сама система серьезно доработана. Вниманию читателей предлагается несколько конструкций, доводящих звучание обычных двухканальных фонограмм до уровня дискретных многоканальных.

Понятно, что многоканальная запись лучше, чем ее имитация, даже весьма совершенная. Но что делать с имеющимися двухканальными записями? Ждать, пока их перемикшируют в многоканальные, да так, что будет не узнать? Или решать проблему своими силами? Конечно, современные цифровые звуковые процессоры могут многое, но пока что радиолюбителям аналоговые методы обработки сигнала более доступны.

10.4.1. Из истории систем объемного звучания

Более чем полувековое господство монофонической записи пошатнулось в конце 50-х годов прошлого века. Уже в начале 60-х годов двухканальная стереофония получила широкое распространение в мире, и обеспечивала объемное звучание, устраивающее большинство слушателей. Но известная истина гласит, что лучшее – враг хорошего. Последующие эксперименты с многоканальными стереофоническими системами были убедительными и обнадеживающими, а главное – сулили новые рынки сбыта.

Наиболее перспективной тогда казалась система с четырьмя равноценными каналами – возник даже термин «Квадрафония», и в начале 70-х появились первые серийные квадрасистемы. Однако чрезмерная поспешность в разработке коммерческих систем привела к тому, что все проекты оказались весьма «сырыми» (подробнее о квадрасистемах в разделе 6.4.). Камнем преткновения стала совместимость с существующими двухканальными системами радиовещания и механической звукозаписи, плюс техническая сложность кодирования и декодирования информации дополнительных каналов. Грампластинки оказались «не совсем стерео» и «не до конца квадра», а с радиовещанием так и вообще ничего не вышло. Единственной альтернативой на короткое время стал четырехканальный магнитофон. Как бы то ни было, в конце 70-х о квадрафонии уже и не вспоминали. (Любопытный факт: в СССР во второй половине 70-х серийно выпускался и бесполезно лежал на прилавках маломощный усилитель «Ростов-Дон 101 квадро» с четырьмя неплохими лабиринтыми АС 6АСЛ-1, а в начале 80-х даже промелькнули квадрафонические головные телефоны – с опозданием «всего» на 10 лет...)

Однако еще в 60-е годы было обнаружено, что можно добиться значительного расширения зоны стереоэффекта и даже «эффекта присутствия» более простым способом. Необходимо лишь подать на отдельные тыловые АС разность сигналов двух стереоканалов. Причем тыловые каналы не должны быть равноценны фронтальным – мощность порядка 10-15% от фронтальных, а полоса частот примерно от 200 Гц до 6 кГц. В простейшем варианте не требуется даже дополнительный усилитель – тыловые АС противофазно включаются между выходами усилителей левого и правого каналов – это устраняет их локализацию (рис. 10.7).

Такие псевдоквадрафонические системы пришли в середине 70-х на смену квадрафоническим, и имели определенный успех. В более сложных вариантах стали использо-

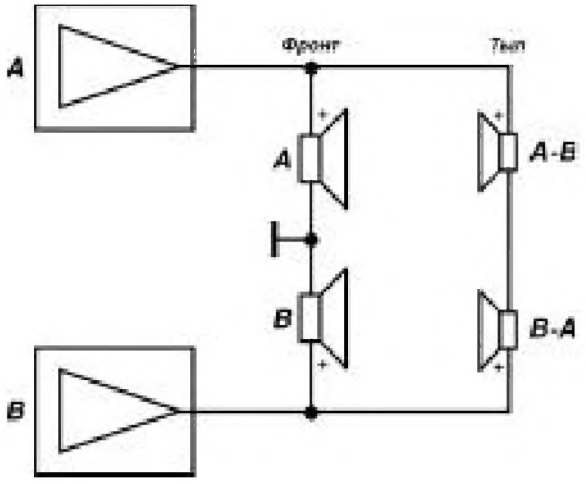


Рис. 10.7. Формирование разностного сигнала для тыловых АС

вать не только разность сигналов, но и их сумму, а также частотную коррекцию. Появилось множество промышленных конструкций, и ряд любительских разработок. Собственно говоря, все они были вариациями на одну и ту же тему, и отличались только схемной реализацией и коэффициентами в уравнениях преобразования сигналов. Как пример удачных решений можно отметить систему 4D Kvadrasound, запатентованную западногерманской фирмой Elac, и отечественную АВС (не имевшую, впрочем, принципиальных отличий от немецкого прототипа, и так и не дошедшую до внедрения). Однако интерес ко всем этим системам достаточно быстро угас, а звучание, поначалу вызывавшее восторг, стало предметом критики.

Для понимания дальнейшего важно отметить, что студийные записи музыкальных произведений, исполнявшихся на электронных инструментах, в 60-е годы проводились по традиционной технологии – с использованием микрофонов и, как правило, за одну сессию. Это объясняет «живой» характер звучания: в фонограмме было естественное соотношение между всеми сигналами – суммарным и разностным, прямым и реверберационным. Широкое распространение в 70-х многоканальной прямой (без использования микрофонов) записи электронных инструментов с последующим сведением, хотя и упростило работу музыкантов и звукорежиссера, одновременно «убило» атмосферу зала. Исчез диффузный (рассеянный) звук, и даже технически безупречные записи стали звучать весьма плоско и невыразительно, а после обработки системами объемного звучания – и вовсе неестественно.

Причина этого явления – фиксированное соотношение суммарных и разностных составляющих в студийной записи, не зависящее ни от уровня громкости, ни от характера

фонограммы. Соотношение, заданное звукорежиссером в соответствии с его эстетическими критериями применительно к двухканальной стереозаписи. Поэтому для большинства студийных записей того периода характерна прямая зависимость уровня разностного сигнала от уровня громкости. В реальной же звуковой картине соотношение между суммарным и разностным сигналами непрерывно изменяется, причем относительный уровень разностного сигнала максимален именно при малых уровнях громкости и уменьшается с ее ростом. При достаточно больших уровнях содержание разностной информации падает на 30–40%.

Это обстоятельство стали учитывать много позже, и именно в нем заключается причина провала простейших систем объемного звучания: в первозданном виде они были пригодны лишь для обработки записей, созданных в микрофонной технике – то есть имеющих естественное распределение суммарных и разностных составляющих. На студийных фонограммах прямой записи при малом относительном уровне тылового сигнала пространственный эффект был малозаметен, а при его увеличении появлялся разрыв звуковой сцены и ее перемещение назад (эффект «окружения оркестром»). В принципе, обеспечить совместимость студийной стереозаписи с такими системами объемного звучания было бы проще всего именно в процессе сведения записи (об этом упоминали и создатели системы ABC) – но это требовало от звукорежиссеров соблюдения определенных правил, и процесс «не пошел».

Проблему попытались решить с другого конца – и появились системы с автоматической регулировкой уровня сигнала тыловых каналов. Но принятые модели регулирования были крайне упрощенными, результатом стало хаотическое изменение уровня тыловых сигналов (эффект «тяжелого дыхания» или «всхлипывания») и невысокое отношение «сигнал/шум». В придачу к этому, реализованные практически полностью на дискретных элементах системы оказались сложными и дорогими, поэтому успеха не имели.

Короткий ренессанс аналоговых систем объемного звучания настал в конце 80-х, и причина этого, как ни удивительно, компакт-диск. Малый уровень собственных шумов фонограммы позволил проводить аналоговую обработку разностного сигнала, не ухудшая заметно его качество. Изменилась и элементная база, что позволило сделать систему массовой. Чтобы не вспоминать неудачные кдварафонические системы, маркетологи придумали новый термин «окружающее звучание» (surround sound). Яркие представители таких систем – Dolby Surround и Circle Surround. Но и они для безупречной работы требовали фонограмм, сведен-

ных определенным образом – и, хотя большинство звукорежиссеров придерживалось этих требований, системы surround все же приказали долго жить...

Последним аналоговым чудом стала система Dolby ProLogic. Термин Surround исчез из названия неспроста – разработчики полностью отказались от попыток извлекать пространственную информацию из стереосигнала, и сигналы тыловых каналов записывались вместе с фронтальными при помощи аналогового кодирования. Но – лучшее враг хорошего, и дискретная многоканальная цифровая запись в формате 5.1 Dolby Digital похоронила все другие системы объемного звучания.

10.4.2. Теория

Вернемся к уже упомянутой зависимости уровня разностного сигнала от уровня громкости. Кривые, показанные на рис. 10.8, дают представление о том, какова может быть вероятная доля разностного сигнала Us при различных уровнях суммарных сигналов Um для систем микрофонной записи AB, XY и смешанной. Результаты были получены в 1968 году при введении стереофонического радиовещания в СССР на основе статистического анализа микрофонных записей симфонической, оперной и эстрадной музыки.

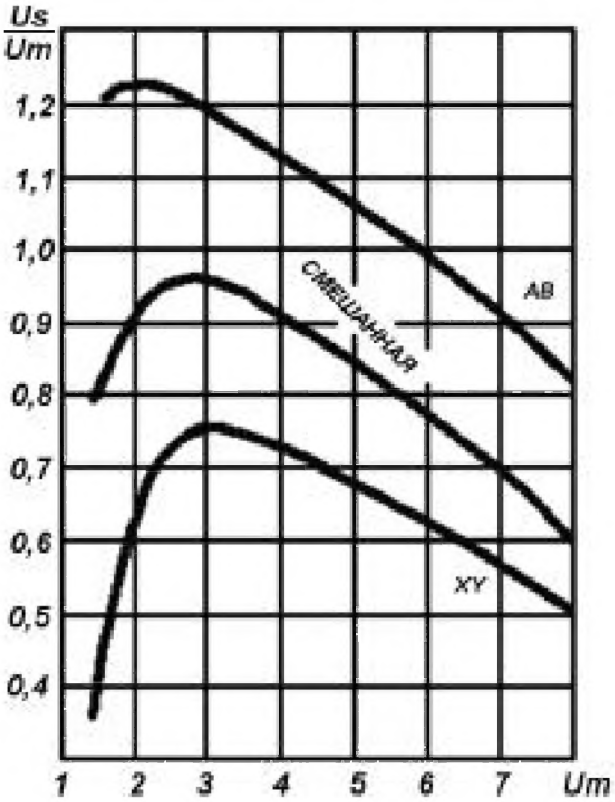


Рис. 10.8. Вероятная доля разностного сигнала в зависимости от уровня для различных систем записи

- При записи по системе XY уровень разностного сигнала существенно ниже, поскольку теряется стереоинформация, связанная с разностью фаз сигналов, поступающих с левой и правой половин сцены.
- Вероятная доля разностного сигнала существенно зависит от общей громкости, или, иначе говоря, от уровня суммарного (монофонического) сигнала. Если отбросить начальный участок кривых, соответствующий весьма малым уровням громкости, то с увеличением уровня громкости доля разностного сигнала заметно уменьшается. При достаточно больших уровнях содержание разностной информации падает на 30–40% при всех системах записи.

Поскольку авторы исследования представляли интересы радиовещания (как известно, разностный сигнал передается на поднесущей частоте вместе с основным, и важно знать его максимальный возможный уровень), начальный участок кривых не представлял для них интереса и был отброшен без объяснений. А нам интересен именно он, поскольку в нем ключ к решению нашей проблемы. Высокие относительные уровни разностного сигнала при малой громкости, как и само поведение кривой, можно объяснить только реверберационным откликом помещения, когда прямой звук уже затихает, а отраженный еще силен. Очевидно, что звучание студийных записей можно приблизить к «живым», если имитировать аналогичное изменение уровня разностного сигнала.

Для проверки идеи было собрано устройство, компрессирующее разностный сигнал. Компрессор формирует аналогичную рассмотренной выше зависимость между громкостью звучания сигналов фронтальных и тыловых каналов. Иными словами, при большой громкости (атака сигнала, общее увеличение громкости) сигналы тыловых сигналов ограничиваются определенным уровнем, что уменьшает их долю в общей громкости (вспомним, что если уровень одного из сигналов отличается от другого в точке послушивания более, чем на 12–14 дБ, звук кажется приходящим только от более громкого источника, тихий маскируется). В результате исключается разрыв звуковой сцены и кажущееся перемещение инструментов в «зал» независимо от характера фонограммы и метода записи. При малом общем уровне громкости (тихие места фонограммы, затухание сигнала, послезвучание) доля тылового сигнала увеличивается, и он непосредственно участвует в формировании объемного звучания и даже «эха» (начальный участок графиков).

Полученные результаты были вполне удовлетворительными, но их интерпретация была не совсем точной и

далеко не однозначной (в частности, ошибочным было объяснение эффекта «виртуального эха») – но желание быстрее опубликовать результаты перевесило другие соображения, что, впрочем, имело и положительные последствия: широкое обсуждение позволило уточнить выводы.

А они таковы:

- порог срабатывания управляющего канала (детектора АРУ) должен быть переменным и зависеть от уровня сигнала на входе, то есть АРУ должна быть следящей;
- длительность послезвучания (эхо) зависит от исходного усиления в управляемом канале (чем больше глубина компрессии, тем дольше длится поддержка затухающего разностного сигнала);
- при малом времени восстановления детектора АРУ выражен эффект «виртуальное эхо»;
- при большом времени восстановления сигнал в тыловом канале будет затухать с той же скоростью, что и на фронте, поэтому «эха» не будет;
- регулировка спектра сигнала в тыловом канале оказывает значительное влияние на акустические свойства «виртуального зала»;
- для исключения влияния атаки сигнала на работу АРУ сигнал на детектор АРУ необходимо подавать через ФНЧ;
- найденное опытным путем время восстановления АРУ 100–200 мс оптимально – при его уменьшении начинает искажаться огибающая сигнала.

10.4.3. Принцип работы

Блок-схема адаптивного тылового канала представлена на рис. 10.9.

На вход суммарно-разностного преобразователя подаются сигналы левого и правого стереоканалов. Суммарный сигнал управляет порогом срабатывания следящей АРУ, охватывающей канал разностного сигнала. Помимо следящей АРУ, поддерживающей постоянный уровень разностного сигнала относительно суммарного, разностный сигнал подвергается также частотной коррекции. После обработки разностный сигнал подается на усилитель мощности и АС тылового канала.

Распределение усиления и коррекции по тракту позволило повысить перегрузочную способность и улучшить отношение сигнал/шум. Как правило, звукорежиссеры позиционируют инструменты с высоким уровнем НЧ составляющих (большой барабан, бас-гитара) приблизительно в центр звуковой картины и ожидаемый уровень разностно-

го сигнала в этом диапазоне невелик. Тем не менее, вероятность появления низкочастотного сигнала только в одном из каналов не исключена. ФВЧ на входе каскада регулирования уровня устраняет возможность перегрузки регулятора.

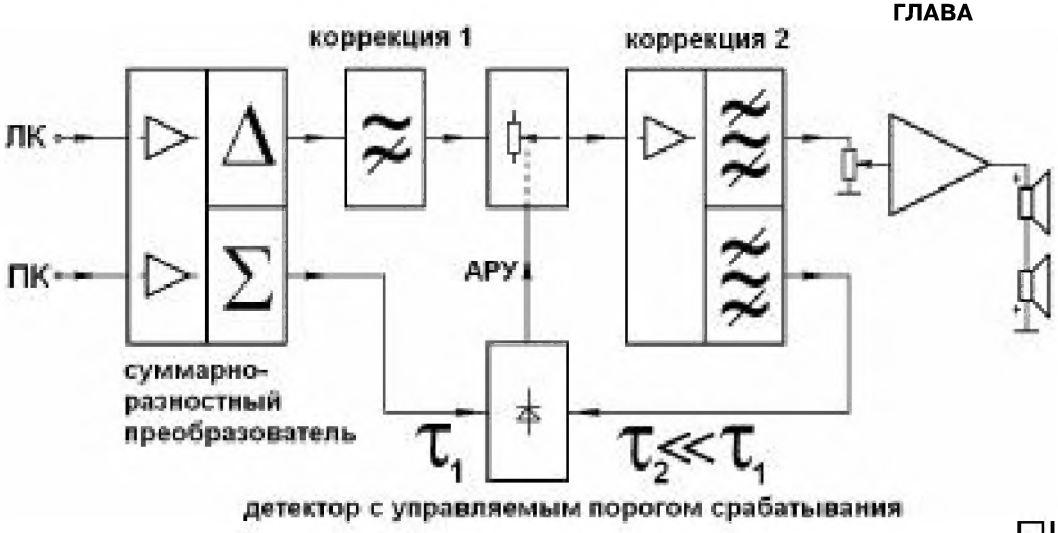


Рис. 10.9. Блок-схема устройства

Полосовой фильтр на выходе канала обработки завершает формирование АЧХ и ограничивает уровень шумов разностного сигнала. Сформированная АЧХ соответствует спектру диффузного эхо-сигнала – уровень НЧ составляющих ограничен, подчеркнуты средние частоты. Сигнал, подаваемый на вход детектора АРУ, в общем случае должен формироваться отдельным фильтром. Раздельная фильтрация сигналов, подаваемых на УМЗЧ и в цепь АРУ, позволяет независимо устанавливать их оптимальный спектр.

Для оценки эффективности метода сравнивалось звучание концертных и студийных записей электронных музыкальных инструментов с включенным и выключенным тыловым каналом. Во всех случаях эксперты отдавали предпочтение звучанию с включенным тыловым каналом. По сравнению с первоначальным вариантом заметно улучшилось звучание студийных записей, они приобрели объемность и глубину, несмотря на малый объем фазоразностной информации. Хотя в данном случае имело место не восстановление пространственной информации, а лишь ее имитация – но достаточно правдоподобная.

Наиболее интересен оказался эффект послезвучания, подчеркнутый работой АРУ. На концертных записях аплодисменты и другие второстепенные звуки локализовывались по бокам и сзади, создавая ярко выраженный эффект присутствия в концертном зале.

В процессе исследования предлагаемого метода обработки сигнала было разработано несколько вариантов схемной реализации устройства, отличающихся построением, элементной базой и дополнительными функциями. Вниманию читателей предлагаются три наиболее интересных варианта.

10.4.4. АТК – вариант 1

Принципиальная схема первого варианта устройства представлена на рис. 10.10.

При разработке этого устройства ставилась задача добиться максимальной простоты и функциональности, что определило выбор элементной базы и схемотехнических решений. Сначала рассмотрим канал основного сигнала. На полевых транзисторах VT1, VT2 выполнен комбинированный каскад, объединяющий истоковый повторитель и стоковый сумматор. Сигналы двух стереоканалов с напряжением 500 мВ суммируются на общей нагрузке – резисторе R5. Коэффициент передачи повторителей 0,85–0,9, усиление суммарного сигнала – 2–4 дБ. Суммарный сигнал используется для управления порогом срабатывания АРУ (работа этого узла рассматривается далее).

Для выделения разностной составляющей стереосигнала использован дифференциальный усилитель на ОУ DA1. Необходимое для работы ОУ при однополярном питании напряжение смещения получено от встроенного стабилизатора режима микросхемы DA2 (вывод 5). Усиление дифференциального усилителя с учетом коэффициента передачи истоковых повторителей составляет около 12 дБ, и выбрано из условия согласования чувствительности устройства и максимально допустимого входного напряжения следующего каскада – электронного потенциометра TDA8196 (DA2). При входном напряжении 2,0 В коэффициент нелинейных искажений TDA8196 достигает 1%, поэтому повышать усиление не следует.

Имеющийся в микросхеме TDA8196 электронный коммутатор входов использован для дискретного изменения коэффициента передачи канала разностного сигнала. При указанном на схеме положении переключателя SA1 входом является вывод 4, и коэффициент передачи по входу составляет 0 дБ. В среднем положении переключателя входом становится вывод 2, и сигнал поступает на регулятор через резистор R11, образующий с входным сопротивлением микросхемы (10–13 кОм) делитель напряжения. В этом режиме коэффициент передачи каскада составляет приблизительно –16 дБ.

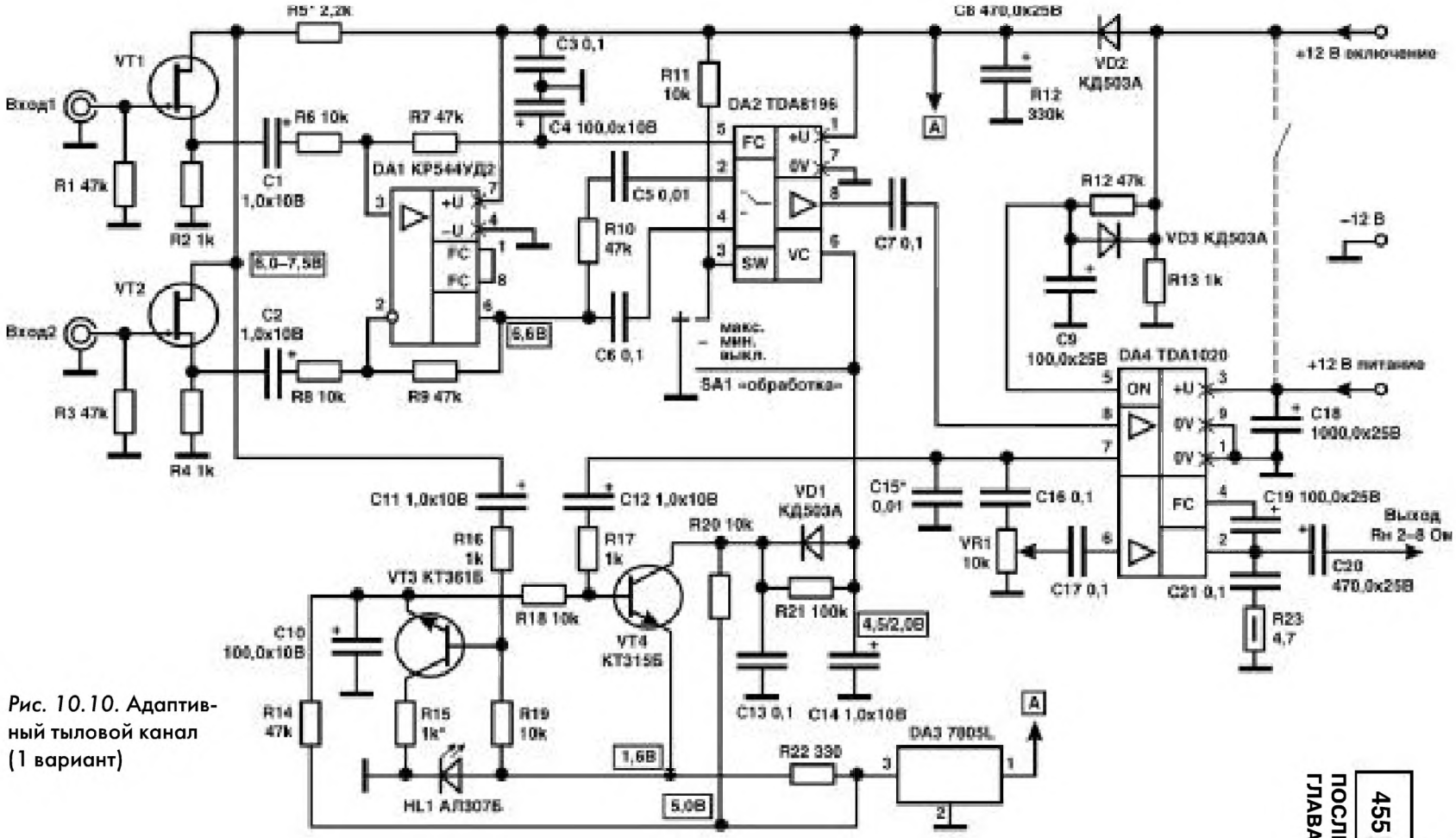


Рис. 10.10. Адаптивный тыловой канал (1 вариант)

Одновременно с изменением коэффициента передачи изменяется частота среза ФВЧ, образованного конденсаторами C5,C6 и входным сопротивлением микросхемы DA2. В режиме ослабления частота среза составляет 250 Гц, при полном усилении – 150 Гц. Изменение коэффициента передачи разностного сигнала и уровня его низкочастотных составляющих позволяет имитировать помещения с различными акустическими свойствами.

После коммутатора сигнал поступает на электронный потенциометр, управляемый напряжением (по выводу 6). При снижении управляющего напряжения с 4,5 до 2,0 В коэффициент передачи изменяется от 0 до –40 дБ. В крайнем нижнем (по схеме) положении переключателя SA1 управляющее напряжение блокируется, коэффициент передачи DA2 уменьшается до –80 дБ, что равноценно отключению тылового канала.

С выхода регулятора сигнал поступает на микросхему TDA1020 (DA4), в которую входят два усилителя – предварительный с коэффициентом передачи 17 дБ и усилитель мощности. Емкость переходных конденсаторов C7, C16, C17, C20 уменьшена против типовой, что дополнительно ограничивает низкочастотные составляющие сигнала.

С выхода предварительного усилителя (вывод 7) сигнал поступает на вход усилителя мощности, а также на детектор АРУ. Выходное сопротивление предварительного усилителя (2 кОм) и конденсатор C15 образуют ФНЧ с частотой среза порядка 3 кГц. Ограничение спектра разностного сигнала преследует две цели – приблизить его спектр к спектру эхо-сигнала и ослабить реакцию АРУ на атаку сигнала. В зависимости от АЧХ тыловых АС, акустических свойств помещения и требуемых динамических свойств АРУ может потребоваться подбор емкости этого конденсатора в диапазоне 0,01–0,047 мкФ.

Усилитель мощности традиционный, с вольтодобавкой и корректирующей RC-цепью на выходе. Его достоинство – возможность работы с нагрузкой сопротивлением 2 Ом, при этом максимальная выходная мощность достигает 10 Вт. Этого достаточно для совместной работы со стереосистемой суммарной мощностью до 100 Вт.

Цепи C8VD2 и C9R12R13VD3 обеспечивает беспомеховое включение и выключение устройства. При подаче управляющего напряжения конденсатор C8 быстро заряжается через диод VD2, а усилитель мощности включается с задержкой в 2–3 секунды (она определяется постоянной времени цепи C9R12). К моменту включения УМ переходные процессы в предварительных каскадах заканчиваются, остаточные помехи подавляются работой АРУ. Для выклю-

чения устройства управляющее напряжение снимается. Конденсатор C9 при этом быстро разряжается через цепь VD3R13, и усилитель мощности блокируется до начала переходных процессов в предварительных каскадах. Небольшие остаточные щелчки обусловлены зарядкой и разрядкой оксидного разделительного конденсатора C20, и, к сожалению, неустранимы при стандартной схеме включения. Вводить реле коммутации АС нецелесообразно – помехи невелики.

Теперь рассмотрим работу канала управления. Его основа – пиковый детектор с изменяемым порогом срабатывания, выполненный на транзисторах VT3, VT4 [4]. Для управления порогом срабатывания используется суммарный сигнал, сформированный комбинированным каскадом на транзисторах VT1, VT2. Порог срабатывания АРУ формируется каскадом на транзисторе VT3. Выпрямленное VT3 и сглаженное конденсатором C10 напряжение является напряжением смещения для порогового элемента АРУ (VT4). Переходы база-эмиттер транзисторов VT3, VT4 включены встречно-параллельно, что не только компенсирует нелинейность входных характеристик транзисторов, но и обеспечивает термостабильность устройства. Минимальный порог срабатывания АРУ (U_0) составляет 70–100 мВ, что соответствует напряжению 2–3 мВ на входе устройства. При увеличении суммарного сигнала порог срабатывания увеличивается практически линейно. Зависимость описывается формулой:

$$U_{пор} = K \times U_{сумм} + U_0,$$

где K – коэффициент передачи делителя R16R19;
U_0 = 0,1 В.

Такое построение детектора позволяет «привязать» порог срабатывания АРУ в канале разностного сигнала к среднему уровню суммарного сигнала. Это делает работу устройства независимой от положения регулятора громкости источника сигнала в широком диапазоне входных напряжений и обеспечивает слежение за общим уровнем громкости.

Теперь рассмотрим динамические характеристики устройства. Каскад управления порогом срабатывания представляет собой детектор средних значений. Время интеграции суммарного сигнала (порядка 0,15 с) определяется постоянной времени цепи C10R15 и внутренним сопротивлением VT3, время восстановления детектора (порядка 3 с) определяется постоянной времени цепи C10R14. Время интеграции можно уменьшить до десятков миллисекунд, заменив резистор R15 перемычкой. Изменять время восстановления не стоит.

Детектор АРУ с переменным временем интеграции выполнен на транзисторе VT4. Изменение времени интеграции реализовано аналогично детектору системы шумопонижения Dolby-B. Входной сигнал открывает транзистор VT4, разряжая конденсатор C14. Для медленно нарастающих сигналов постоянная времени детектора определяется постоянной времени C14R21 (0,1 с). Для сигналов с большой скоростью нарастания падение напряжения на резисторе R21 превышает 0,5 В, открывшийся диод VD1 ускоряет разрядку конденсатора C14. Это улучшает отслеживание импульсных сигналов (а разностный сигнал в основном из них и состоит). Время восстановления АРУ (порядка 0,1–0,2 с) определяется сопротивлением резисторов R20R21 и током управления DA2.

Управляющий каскад питается от микромощного стабилизатора напряжения 5 В. Светодиод HL1 красного цвета свечения (его можно использовать как индикатор включения) стабилизирует напряжение смещения управляющего каскада и ограничивает минимальное управляющее напряжение на уровне 2,0 В. Ограничение пределов снижения усиления в тракте исключает колебательные процессы в петле АРУ.

Управляющему напряжению 2,0 В соответствует коэффициент передачи DA2 –40 дБ (–55 дБ в режиме ослабления по входу). С учетом коэффициента передачи истоковых повторителей максимальное усиление в канале разностного сигнала составляет примерно 27–28 дБ в режиме полного сигнала и 10–12 дБ в режиме ослабления. Большая степень компрессии обеспечивает эхо-эффект (осуществляется поддержка тылового сигнала за счет АРУ), меньшая – диффузный звук.

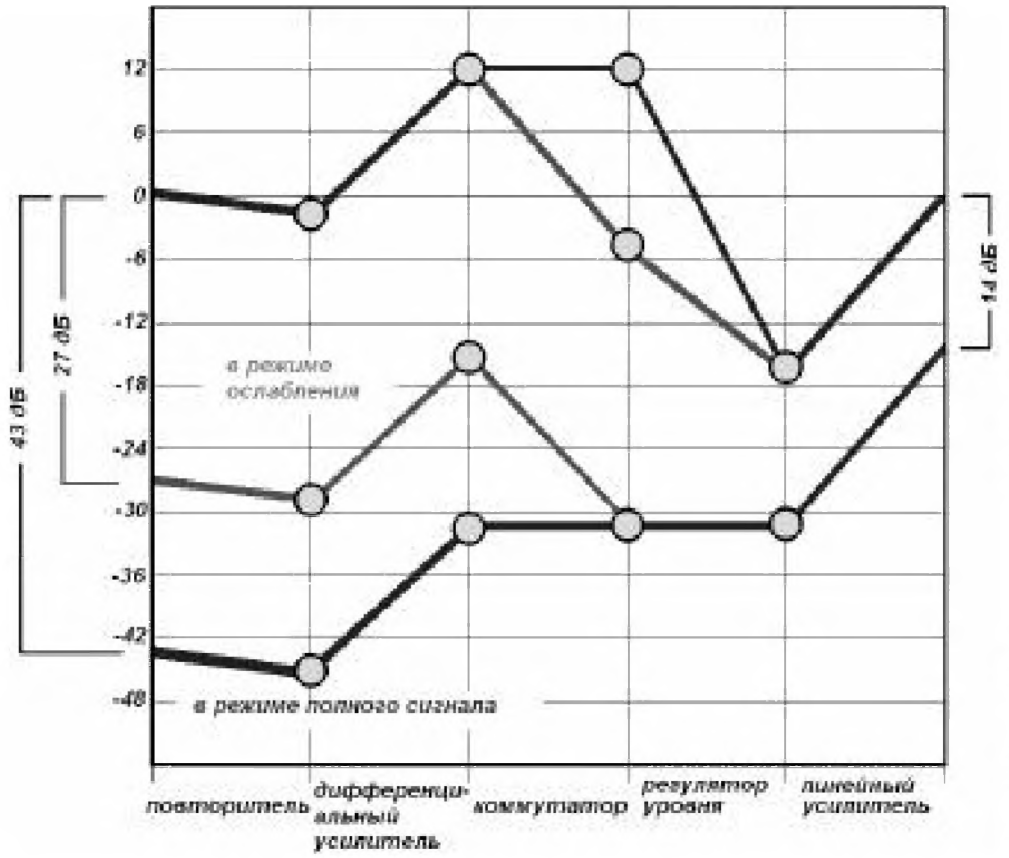
Диаграмма уровней (рис. 10.11) иллюстрирует работу тракта при разных уровнях сигнала. Верхний график соответствует номинальному входному уровню 0 дБ (500 мВ на входе). Регулятор уровня вносит в сигнал переменное затухание (до 30 дБ), а уровень разностного сигнала в этом режиме зафиксирован АРУ на уровне, определяемом уровнем суммарного сигнала. Снижение уровня суммарного сигнала вызывает пропорциональное уменьшение порога срабатывания АРУ. При снижении уровня суммарного сигнала ниже 100 мВ (–14 дБ) канал слежения исключается из работы, и порог срабатывания далее не снижается.

Нижний график соответствует предельному случаю работы АРУ, когда вносимое регулятором затухание минимально. При дальнейшем снижении уровня разностного сигнала работа АРУ прекращается. Таким образом, рабочая зона АРУ заключена между верхним и нижним графиками,

и в режиме полного сигнала диапазон работы АРУ составляет 43 дБ, в режиме ослабления – 27 дБ.

В процессе отладки устройства было установлено, что некоторое расширение спектра разностного сигнала, подаваемого на тыловые АС, улучшает восприятие звуковой картины. В то же время детектор АРУ начинает реагировать на высокочастотные составляющие разностного сигнала, что подавляет атаку разностного сигнала и эффект присутствия снижается. Поэтому верхняя граница полосы частот разностного сигнала была установлена компромиссно, что, впрочем, не слишком сказалось на восприятии эффекта.

Рис. 10.11. Диаграмма уровней сигнала в тракте



Достоинство данного варианта конструкции – предельная простота и хорошая повторяемость. Определенным недостатком, ограничивающим область применения устройства, стала невысокая перегрузочная способность по входу. Она оказалась недостаточной для работы с некоторыми автомобильными головными устройствами – напряжение на линейном выходе у моделей высокого класса достигает 4 В, что приводит к значительным искажениям в дифференци-

альном усилителе. Но для головных устройств среднего класса напряжение линейного выхода не превышает 1,5 В, и перегрузка не возникает. В большинстве случаев эта конструкция оптимальна по соотношению «простота/качество».

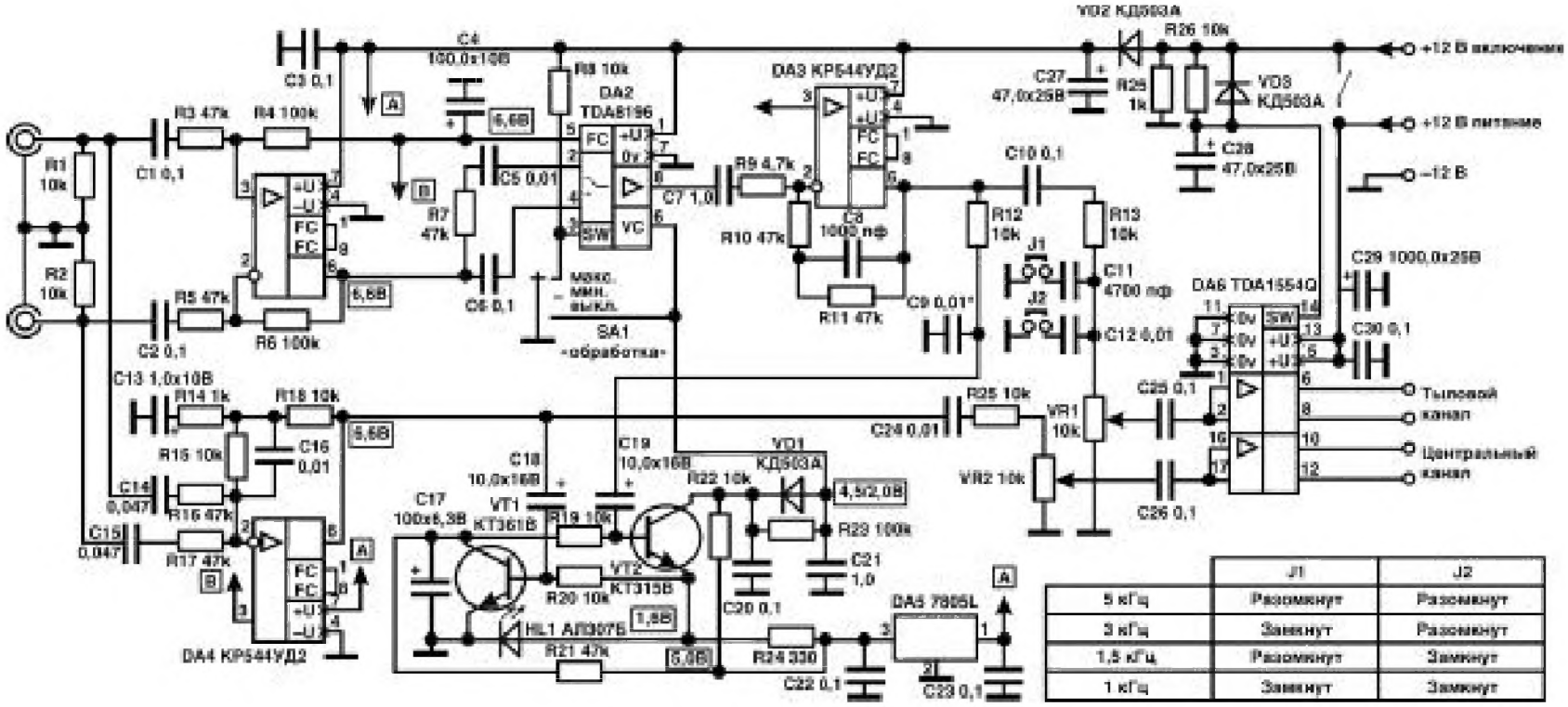
10.4.5. АТК – вариант 2

Для устранения недостатков, обнаруженных при повторении и эксплуатации устройства, был разработан улучшенный вариант с расширенными возможностями, схема которого приведена на рис. 10.12. В конструкцию добавлен центральный канал (далее ЦК), улучшающий формирование фронтальной звуковой сцены.

Принцип работы остался неизменным, изменилось только распределение усиления и коррекции, а также построение отдельных каскадов. Исключен сумматор на полевых транзисторах, вызывавший нарекания радиолюбителей из-за необходимости подбора транзисторов и установки режима. Взамен него введен фильтр-сумматор (DA4), формирующий сигнал с ограниченным спектром для УМЗЧ ЦК и управления порогом АРУ. Поскольку ограничение спектра сигнала по высоким частотам никак не влияет на работу детектора среднего уровня, оказалось удобным совместить все функции в одном каскаде и не городить лишние узлы специально для ЦК. Коэффициент передачи каскада около 7 дБ.

Коэффициент усиления дифференциального усилителя снижен до 6 дБ, что значительно повысило перегрузочную способность по входу. При том же номинальном входном напряжении (500 мВ) устройство нормально работает при увеличении уровня сигнала до 2,0 В. В канале разностного сигнала появился отдельный усилитель-формирователь (DA3), осуществляющий предварительную коррекцию АЧХ и основное усиление (26 дБ). Он включен после регулятора уровня и охвачен АРУ, поэтому вероятность возникновения искажений практически исключена. С учетом коэффициента передачи дифференциального усилителя и частотозадающих звеньев максимальное усиление в канале разностного сигнала составляет примерно 30 дБ в режиме полного сигнала и 14 дБ в режиме ослабления. В сочетании с увеличенным коэффициентом усиления в суммарном канале это несколько расширило диапазон слежения за уровнем сигнала (до 20 дБ). В режиме полного сигнала диапазон работы АРУ составляет 46 дБ, в режиме ослабления – 30 дБ. Работу тракта при разных уровнях сигнала иллюстрирует диаграмма уровней (рис. 10.13).

Принципиальное отличие канала разностного сигнала от первого варианта схемы – независимое формирование



	J1	J2
5 кГц	Разомкнут	Разомкнут
3 кГц	Замкнут	Разомкнут
1,5 кГц	Разомкнут	Замкнут
1 кГц	Замкнут	Замкнут

Рис. 10.12. Адаптивный тыловой канал (2 вариант)

АДАПТИВНЫЙ ТЫЛОВОЙ КАНАЛ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗВУЧАНИЯ

сигналов для цепи АРУ и для подачи на УМЗЧ. Принятое распределение усиления в тракте несколько увеличивает уровень шума в канале разностного сигнала, поэтому цепь частотнозависимой ООС C7R9R10C8R11 формирует спад АЧХ на частотах выше 3 кГц. Это снижает уровень слышимого шума и облегчает последующую фильтрацию сигналов.

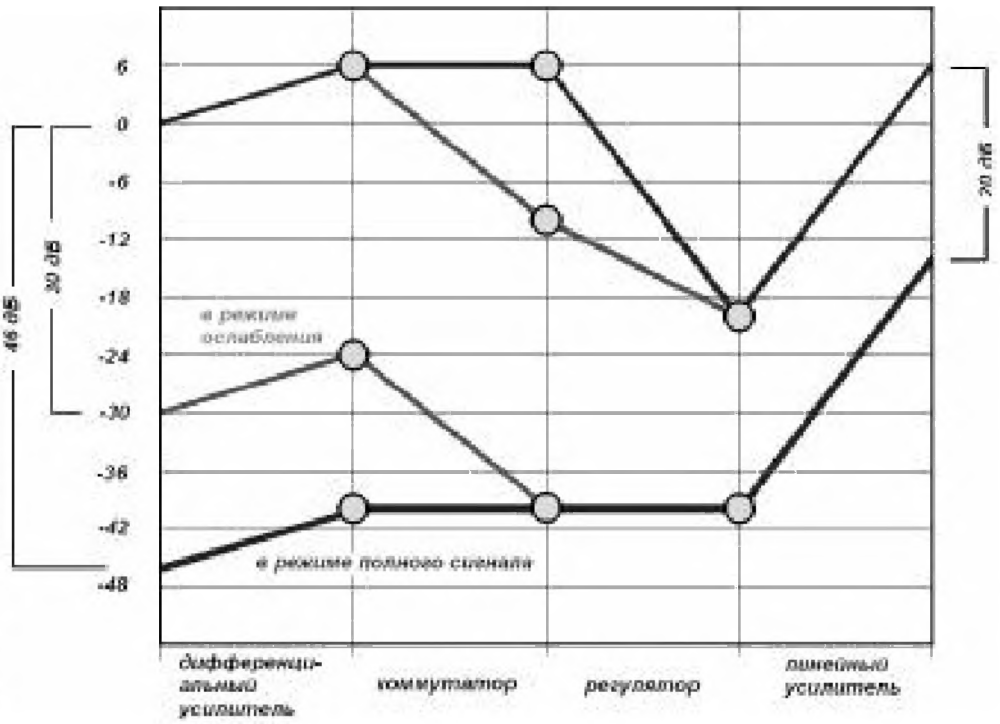


Рис. 10.13. Диаграмма уровней сигнала

Сигнал на детектор подается через ФНЧ R12C9 с частотой среза около 1,5 кГц, что исключает реакцию АРУ на фронты сигнала. На УМЗЧ разностный сигнал можно подать как в полосе, определяемой формирователем DA3, так и с дополнительным ограничением высокочастотных составляющих (выбирается при настройке перемычками J1,J2 в соответствии с таблицей). Это позволяет выбрать оптимальный спектр сигнала, подаваемого на тыловые АС – в зависимости от примененных динамических головок и акустических особенностей установки.

Усилитель мощности заменен. Это вызвано двумя причинами – достаточно заметными и практически неустранимыми помехами от переходных процессов при включении-выключении, а также сложностью приобретения архаичной микросхемы TDA1020. Выбран более современный УМЗЧ TDA1554Q, практически не требующий внешней «обвяз-

ки». Усилитель включен по двухканальной мостовой схеме, что обеспечивает коммутацию режимов без помех. Регулятор уровня, детектор и цепи управления аналогичны рассмотренным ранее.

Достоинство данного варианта конструкции – отличная повторяемость и гибкость настройки, а также наличие центрального канала. Недостаток – несколько усложненная схемотехника, достоинства которой полностью раскрываются лишь в высококачественных трактах.

10.4.6 АТК – вариант 3

Если у радиолюбителя уже есть одноканальный УМЗЧ чувствительностью 30–50 мВ (например, из набора-конструктора на базе К174УН14 или TDA2003), определенный интерес представит максимально упрощенный вариант конструкции. Схема приведена на рис. 10.14.

Принцип действия все тот же, изменено только построение детектора и усилителя в канале разностного сигнала. При большом времени усреднения нет принципиальной разницы – детектировать суммарный сигнал, или максимальный в одном из каналов. Поэтому в детектор были введены два параллельных канала управления порогом срабатывания (транзисторы VT2, VT3). Для развязки низкоомного и нелинейного входа детектора от источника сигнала установлены резисторы R12, R13. Конечно, такое построение каскада несколько нарушило его термостабильность и линейность регулировочной характеристики, но заметных на слух изменений в работе устройства нет.

Каскад на транзисторе VT1 выполнен по схеме с разделенной нагрузкой. С коллектора усиленный до 300–500 мВ сигнал через ФНЧ R8C8 с частотой среза около 700 Гц подается на детектор АРУ. Сигнал с эмиттера (величиной 30–50 мВ) через ФНЧ R10C10VR1 подается на УМЗЧ. Частоту среза этого ФНЧ устанавливают подборным конденсатором C10 в соответствии с таблицей в зависимости от примененных динамических головок и акустических особенностей установки. Можно также использовать набор конденсаторов с переключателем или перемычками.

10.4.7. Детали, конструкция, возможные замены

Пользуюсь случаем, хочу выразить свою благодарность всем радиолюбителям, повторившим различные варианты схемы и поделившимся со мной опытом (как положительным, так и отрицательным). Ряд моментов был уточнен и отработан только благодаря обратной связи автора с добровольными помощниками, которых было немало.

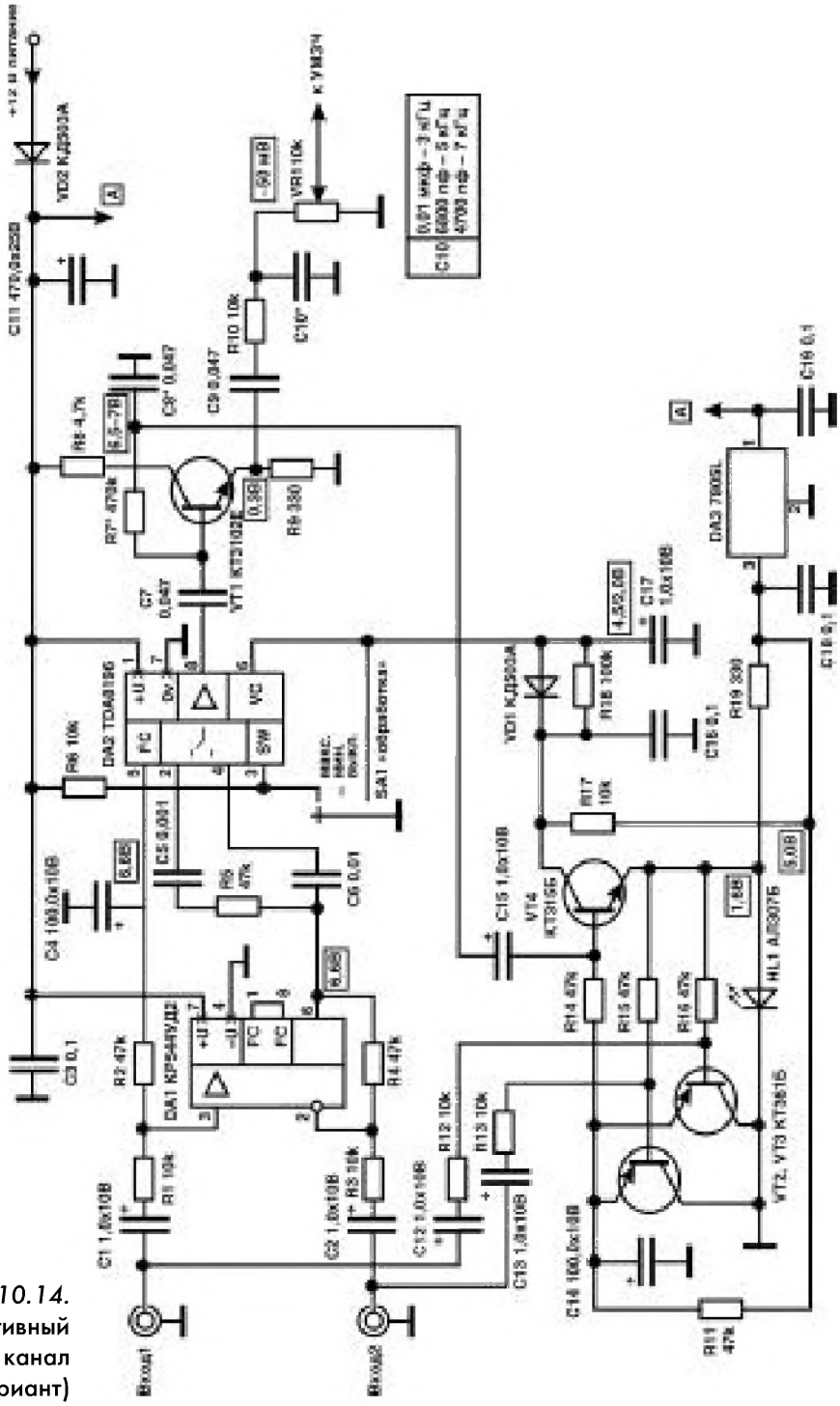


Рис. 10.14. Адаптивный тыловой канал (3 вариант)

При проектировании схем особое внимание уделялось сокращению номенклатуры и унификации номиналов используемых деталей. Ряд схемотехнических решений неразрывно связан с примененной элементной базой – так, коммутатор-регулятор TDA8196 замене на функциональ-

ные аналоги не подлежит, поскольку все остальные участки схемы изначально строились «вокруг него». Не подлежит замене и TDA1020 – в случае невозможности ее приобретения лучше использовать второй вариант конструкции, или разработать свой собственный на основе опубликованных выше схем (например, выполнить усилитель-формирователь на ОУ по варианту 2 или на транзисторе по варианту 3 и добавить любой УМЗЧ). Такие варианты также разрабатывались и испытывались, но не публикуются из-за ограниченного объема журнальной публикации.

Все предлагаемые схемы проверены и отличаются хорошей повторяемостью (естественно, при использовании кондиционных деталей). Единственный проблемный узел – сумматор на полевых транзисторах в первом варианте конструкции. Из-за значительного разброса параметров транзисторов КП303Е может потребоваться их подбор в пары. Этого можно избежать, применив в этом каскаде сборку полевых транзисторов КПС102. В любом случае необходимо проконтролировать напряжение на стоках VT1,VT2 (оно должно составлять 6,0–7,5 В), и при необходимости подобрать резистор R5.

В детекторе во всех вариантах можно использовать практически любые транзисторы соответствующей структуры с Вст>50 – КТ315/361 с любой буквой, КТ3102/3107 с любой буквой, и т.д. В третьем варианте конструкции усилительный каскад выполнен на КТ3102Е. Взамен него можно использовать любой другой малошумящий транзистор структуры n-p-n с Вст>100. Можно использовать и p-n-p транзистор, «перевернув» каскад – принципиальной разницы нет.

При повторении всех вариантов конструкции помимо широкодоступных КР544УД2 с любой буквой можно использовать любые ОУ (лучше – с внутренней коррекцией), надежно работающие при напряжении питания 2 × 5 В и выше. Здесь нет никаких принципиальных ограничений, кроме уровня шумов, поэтому ОУ старых серий 140, 153 использовать не стоит – зато стоит попробовать малошумящие современные ОУ зарубежного производства. Применение сдвоенных ОУ не рекомендуется из-за возможных паразитных связей между каскадами.

Микромощный стабилизатор напряжения 7805L можно заменить обычной версией пятивольтового стабилизатора (7805Н, КР142ЕН5А) с учетом цоколевки. Светодиод – любого типа с допустимым током не менее 10 мА, но обязательно красного цвета свечения. Во всех схемах он используется как низковольтный стабилитрон с напряжением стабилизации 1,5–1,6 В. Его можно заменить цепочкой из двух

маломощных кремниевых диодов любого типа, включенных последовательно в прямом направлении. Диоды VD1–VD3 во всех вариантах конструкции можно использовать любые кремниевые с допустимым током не менее 50 мА.

Усилитель мощности в вариантах 2 и 3 можно использовать любой, лучше интегральный – их номенклатура достаточно широка. Если в варианте 2 не нужен ЦК – можно исключить связанные с ним детали (C24R25VR2) и применить одноканальный УМЗЧ. И в том, и в другом случае можно использовать готовые модули УМЗЧ или наборы-конструкторы.

Постоянные резисторы – любого типа с мощностью рассеяния 0,125–0,25 Вт. Переменные резисторы (регуляторы уровня) – с показательной зависимостью сопротивления от угла поворота. В вариантах 1 и 2 оксидные конденсаторы используются только в цепях питания и во времязадающих цепях. Блокировочные конденсаторы в цепи питания ОУ и в обвязке стабилизатора напряжения – керамические. В остальных цепях используются конденсаторы К73-17 или аналогичные импортные (лавсановые, майларовые).

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
БАЗОВЫЕ СВЕДЕНИЯ

АЧХ салонов некоторых автомобилей

Рис. П.1.1. АЧХ салона автомобиля ВАЗ 2106

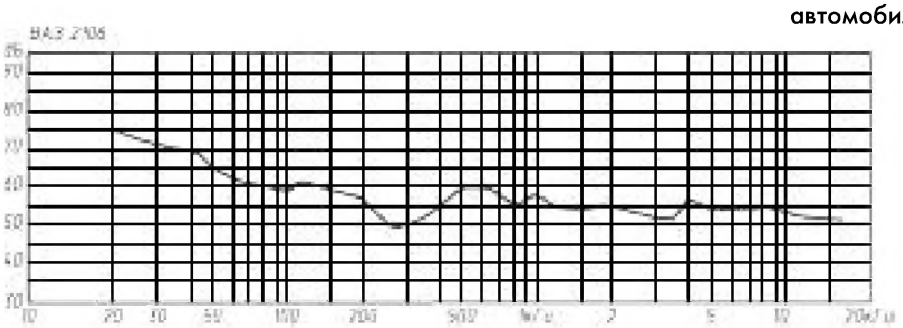


Рис. П.1.2. АЧХ салона автомобиля ВАЗ 2108

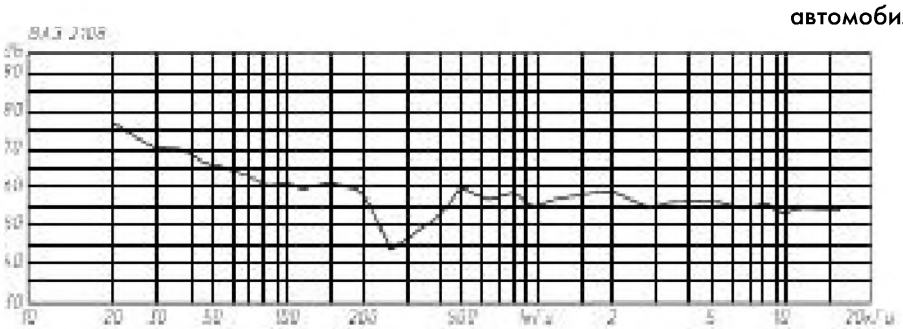


Рис. П.1.3. АЧХ салона автомобиля ВАЗ 21099

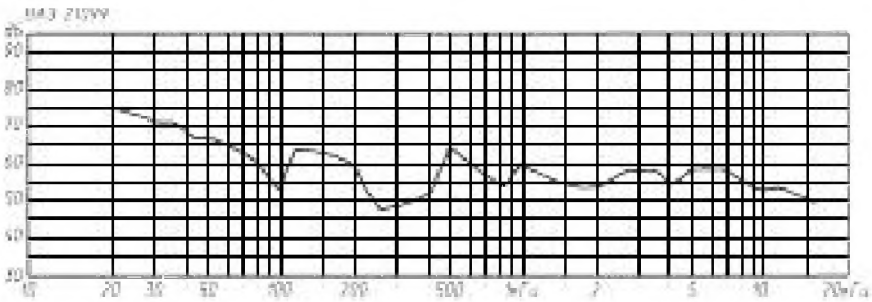


Рис. П.1.4. АЧХ салона автомобиля «Шкода-Фелиция»

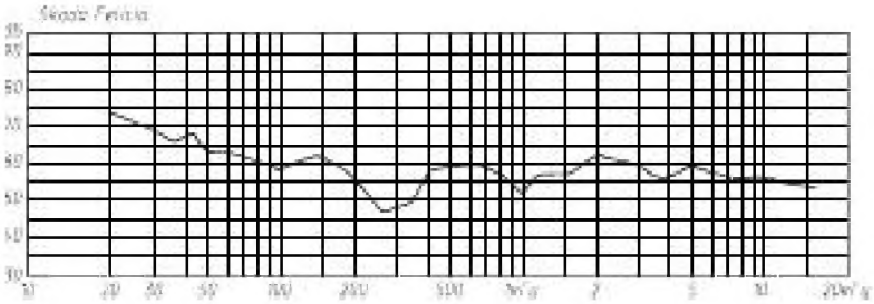


Рис. П.1.5. АЧХ салона автомобиля «Форд Сьерра»

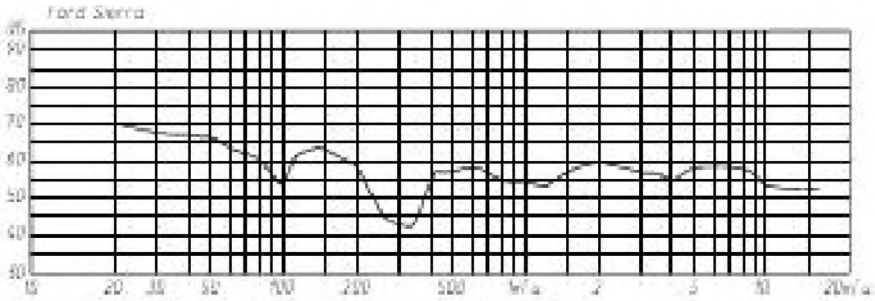
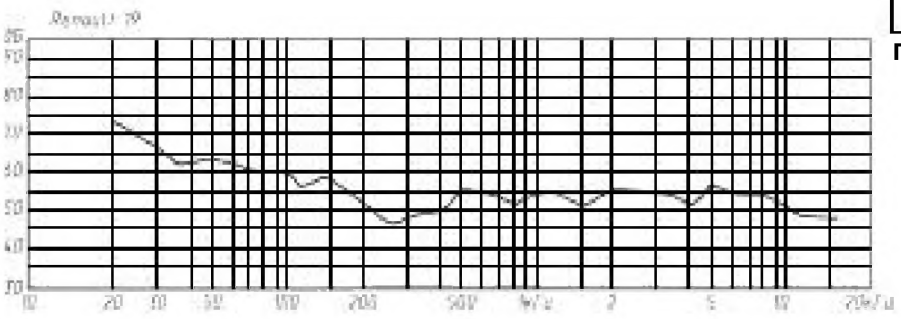


Рис. П.1.6. АЧХ салона автомобиля «Renault 19»



Автомобильные лампы в роли нелинейных сопротивлений

На графиках точкой отмечен момент начала свечения нити накала.

Рис. П.1.7. Автомобильная лампа 21 Вт

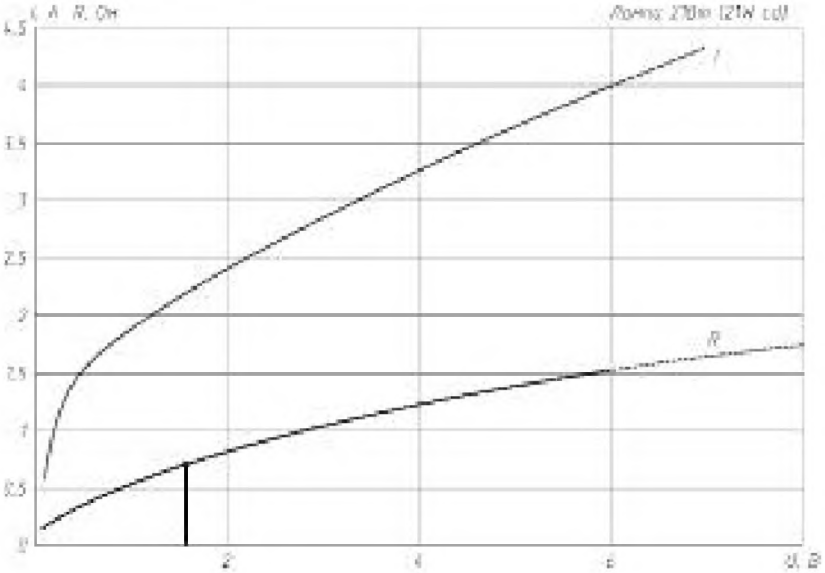


Рис. П.1.8. Автомобильная лампа 10 Вт

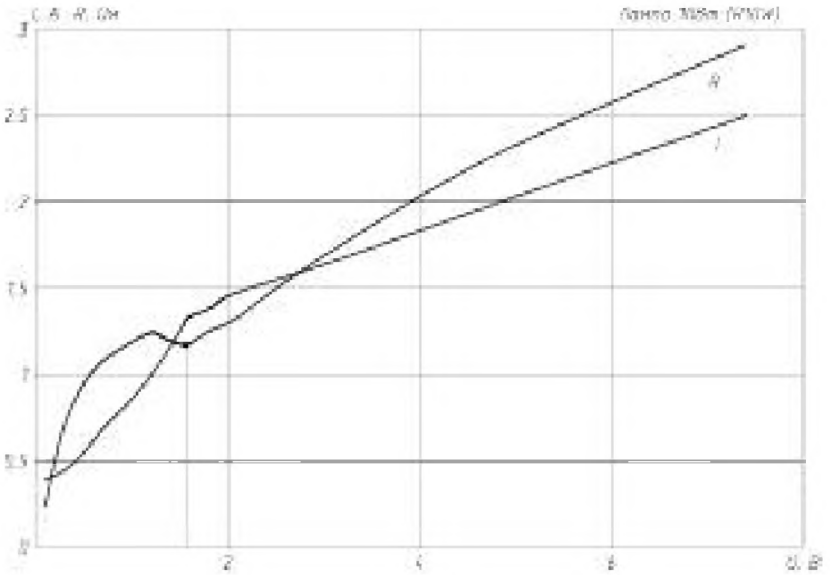
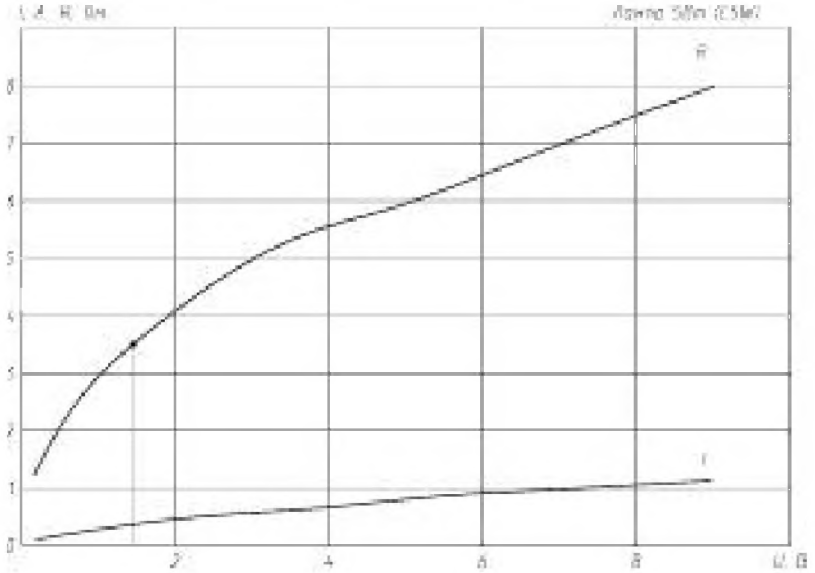


Рис. П.1.9. Автомобильная лампа 5 Вт



Выбор сечения проводов

I (A)	Минимальный калибр провода по AWG (диаметр, мм)							
0–20	14(2)	10(3)	10(3)	8(4.25)	8(4.25)	8(4.25)	8(4.25)	8(4.25)
20–35	10(3)	10(3)	8(4.25)	8(4.25)	8(4.25)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)
35–50	8(4.25)	8(4.25)	8(4.25)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)
50–65	8(4.25)	8(4.25)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	2(7.5)
65–85	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	2(7.5)	2(7.5)	2(7.5)	1(9.5)
85–105	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	2(7.5)	2(7.5)	2(7.5)	2(7.5)	1(9.5)
105–125	4(6.5)	4(6.5)	4(6.5)	2(7.5)	2(7.5)	1(9.5)	1(9.5)	1/0(11)
125–150	2(7.5)	2(7.5)	2(7.5)	1(9.5)	1(9.5)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)
150–225	1(9.5)	1(9.5)	1(9.5)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)
225–300	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)	1/0(11)
Длина провода (м)	1	1...2	2...3	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Динамические головки отечественного производства

Старое обозначение	Новое обозначение	Частота основного резонанса, Гц	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Сопротивление, Ом	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт*м	V_{as}, л	Q_{ms}	Q_{es}	Полная добротность, Q_{ts}	Габариты в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
Широкополосные и устаревших типов													
2А-9		40	40...1000	16	12						D=341	195	13,5
2А-11		35	35...3000	16	12						D=500	190	15
2А-12		40	40...3500	16	12	95					D=341	190	
4А-28		60	70...14000	16	15	93					D=258	90	1,5
4А-30		60	60...12000	14	5	94					D=258	90	1,5
4А-32		40	40...16000	12	16	95					D=335	215	10
4А-36		80	80...10000	12	15	94					D=258	106	
1ГД-4		100	100...10000	12	8	94					D=150	58	
1ГД-37	2ГДШ-4-8	160	125...10000	14	8	92				3,5	125*80	42	0,19
1ГД-48	2ГДШ-2-8	120	100...10000	12	8	93(94)				1,2	160*100	60	0,33
1ГД-50	1ГДШ-4-8	180	180...8000	12	8	90					100*100	36	0,2
1ГД-54	2ГДШ-3-8	125	125...10000	16	8	93					125*80	47	0,19
1ГД-55	1ГДШ-5-4	180	200...10000	16	4	90					125*80	36,5	0,19
2ГДВЭФ		90	80...7000	15	4,5	91					D-152	75	0,5
2ГД-3		80	70...10000	14	4,5	92					D-152	69	0,4
2ГД-4		80	70...10000	14	5	91					D-152	54	0,3
2ГД-7		80	70...10000	15	4,5	91					D-152	62	0,23

Старое обозначение	Новое обозначение	Частота основного резонанса, Гц	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Сопротивление, Ом	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт*м	V_{as}, л	Q_{ms}	Q_{es}	Полная добротность, Q_{ts}	Габариты в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
2ГД-19		80	80...10000	15	4,5	90					D-152	54	0,35
2ГД-22		100	100...10000	15	12,5	90					280*82	77	0,45
2ГД-28		80	70...10000	15	4,5	90					D-152	55	0,25
2ГД-35		100	80...12000	15	4,5	90					D-152	52	0,3
2ГД-38	3ГДШ-1-8	100	100...12500	14(12)	8	90				1,7	160*100	59	0,25
2ГД-40(А)	3ГДШ-2-4(8)	100(140)	100...12500	14(12)	4(8)	92				1,7	160*100	51	0,33
	3ГДШ-4-4(8)	100	100...12500	14	4(8)	92				1,7	160*100	51	0,33
	3ГДШ-7-4(8)	200	180...12500	14	4(8)	90				2,4	100*100	36	0,23
3ГД-1РР3		120	120...5000	10	8	94					D-150	54	0,4
3ГД-2		80	80...6000	15	4,5	94					D-202	100	1,2
3ГД-7		90	80...7000	14	4,5	92					204*134	77	0,65
3ГД-9		80	80...7000	14	5	92					204*134	65	0,9
3ГД-16		80	80...8000	18	4,5	92					204*134	67	0,33
3ГД-28		80	80...8000	18	4,5	92					204*134	55	0,41
3ГД-32	6ГДШ-1-4	75	80...12500	12(10)	4	92	10			1	200*125	76,3	0,48
3ГД-38Е	5ГДШ-1-4	80	80...12500	15	4	90					D-160	55	0,3
3ГД-40	5ГДШ-2-4	75	80...12500	14	4	90					D-160	58	0,4
3ГД-42	5ГДШ-3-8	100	100...12500	12	8	92,5				1,3	125*100	52	0,58
3ГД-45	5ГДШ-4-4	80	80...16000	16	4	90				2	D-148	55	0,33

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Старое обозначение	Новое обозначение	Частота основного резонанса, Гц	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Сопротивление, Ом	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт*м	V_{as}, л	Q_{ms}	Q_{es}	Полная добротность, Q_{ts}	Габариты в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
4ГД-1		60	60...12000	14	4,5	92					D-202	100	0,6
4ГД-2		60	60...12000	14	5	92					D-202	80	0,9
4ГД-4		55	60...12000	10	8	93					D-202	100	1,5
4ГД-5		55	60...5000	10	8	94					D-202	100	1,5
4ГД-6		200	200...5000	10	8	90					D-80	38	0,35
4ГД-7		60	60...12000	15	4,5	92					D-202	80	0,43
4ГДЕ-8Е	4ГДШ-1-4	120	125...7100	16(14)	4	93,5(94)				2,5	125*125	49	0,6
	4ГДШ-5-4	175	200...10000	14	4	90				1,1	100*100	52	0,25
4ГД-9		120	100...8000	18	4,5	92					204*134	54	
4ГД-28		60	120...12000	15	4,5	90					D-202	71	0,535
4ГД-35	8ГДШ-1-4	65	63...12500	16	4	92	30			1,4	200*200	76	0,88
4ГД-36		60	63...12500	10	8	90					D-200	85	0,65
4ГД-43		80	63...5000	12	4								
4ГД-53	5ГДШ-5-4	150(130)	100...12500	14(16)	4	92				1,3	125*125	49	0,6
5ГД-1РР3		65	80...10000	14	4,5	96					260*180	108	0,75
5ГД-3РР3		30	40...5000	12	10	94					D-252	106	1,3
5ГД-10		50	50...12000	15	4,5	94					D-252	126	1,7
5ГД-14		70	70...12000	14	4,5	92					252*170	100	0,7
5ГД-18		70	70...12000	15	4,5	92					254*170	80	0,45

Старое обозначение	Новое обозначение	Частота основного резонанса, Гц	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Сопротивление, Ом	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт*м	V_{as}, л	Q_{ms}	Q_{es}	Полная добротность, Q_{ts}	Габариты в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
5ГД-19		90	100...10000	18	4,5	92					254*170	91	0,525
5ГД-28		90	100...10000	18	4,5	92					254*170	68	0,54
6ГД-1РР3		48	60...6500	15	7	96					327*255	130	1,3
6ГД-2		30	40...5000	10	8	94					D-252	135	1,56
6ГД-3		85	100...10000	12	4	96					240*160	87	1,2
	6ГДШ-3-4	140	160...12500	14	4	92				1,1	125*125	50	0,33
	8ГДШ-2-4(8)	100	100...12500	16	4(8)	91				2	D-160	54	0,4
8ГД-1РР3		55	40...7000	14	12	97					D-300	150	5
8ГД-1		30	40...1000	10	8	90		8,95	0,85	0,82	D-252	135	5,8
10ГД-17		50	40...8000	14	4,5	94					D-295	140	1,5
10ГД-18		50	50...8000	12	8	94					324*212	128	2
10ГД-28		40	40...6000	12	4,5	94					D-295	112	1,3
10ГД-36	10ГДШ-2-4	40	63...20000	16	4	87,5	45			1	200*200	82	1,2
10ГД-36К	10ГДШ-1-4	40	63...20000	16	4	90	45			0,8	200*200	87	1,2
15ГД-10		60	63...12500	12	15	92					D-270	115	1,4
Широкополосные сотовые													
	25ГДШ-2М	50	80...16000		4(8)	87					D-125	65	
Низкочастотные и компрессионные													
6ГД-6	10ГДН-1	55	63...5000	15	4	84					D-125	80	1,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Старое обозначение	Новое обозначение	Частота основного резонанса, Гц	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Сопротивление, Ом	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт*м	V_{as}, л	Q_{ms}	Q_{es}	Полная добротность, Q_{ts}	Габариты в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
10ГД-30Е	20ГДН-1-8	32	63...5000	14	8	86	20			1	200*200	97	2,1
10ГД-30(Б)	20ГДН-1	28(32)	30...5000	15	8	86					D-240	126	2,5
10ГД-34	25ГДН-1-4	80	63...5000	14(16)	4	83	11			0,55	125*125	75,5	1,3
15ГД-14	25ГДН-3-4	55	50...5000	14	4	84	8			0,5	125*124	76	2
15ГД-14	25ГДН-3-8	40	40...5000	12(16)	8	86	30			0,35	160*160	78	1,4
15ГД-17	25ГДН-4-4	40	40...5000	14	4	88	30			0,65	160*160	78	1,4
15ГД-18	25ГДН-2	63(75)	80...3150	14(12)	4	81					125	75,5	
25ГД-4	50ГДН-3	25	31,5...2000		8	85					250	120	
25ГД-26Б	25ГДН-1-4(8)	30	40...5000	14	4(8)	84	30	4,72	0,375	0,35	200*200	97	2,1
25ГД-26	35ГДН-1-4	30	40...5000	14(12)	4	86	50			1	200*200	126	2,4
	35ГДН-1-8	33	40...5000	14(12)	8	87	45	5,8(6,8)	0,44(0,51)	0,4(0,47)	200*200	126	2,4
30ГД-2(А)	75ГДН-1-4(8)	25(31)	31,5...1000	12	4(8)	86	80(28)	3,25(6,17)	0,225(1)	0,21(0,88)	250*250	124	5,5
30ГД-6	75ГДН-6	33	31,5...1000		4	88					250	124	
35ГД-1	50ГДН-1	25	31,5...4000		8	85					200	100	
35ГД-2	75ГДН-2	30	31,5...5000		8	87,5					250	120	
50ГД-2-25		25	30...1000	12	4	90					D-315	156	4
	75ГДН-01	28	31,5...1000		8	86,5					320	175	
75ГД-1	100ГДН-3	32	31,5...1000		8	90					315	190	

Старое обозначение	Новое обозначение	Частота основного резонанса, Гц	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Сопротивление, Ом	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт*м	V_{as}, л	Q_{ms}	Q_{es}	Полная добротность, Q_{ts}	Габариты в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
Низкочастотные сотовые													
	25ГДН	50	70...6300		4	87					D-125	65	
	100ГДН	40	63...5000		8	87					D-200	90	
	200ГДН	25	31,5...4000		8	88					D-250	120	
	300ГДН-1	18	20...3150		4(8)	90					D-315	130	
Среднечастотные													
15ГД-11А	20ГДС-1-4(8)	110	200...5000	12(10)	4(8)	90					125*125	77	1,3
15ГД-11	20ГДС-4-8	120	200...5000	12(10)	8	89	3				125*125	73,5	1,3
20ГД-1	20ГДС-2	450	630...8000		8	87,5					140*140	45	
	20ГДС-01	200	315...6300		8	88,5					170*170	140	
25ГД-43	25ГДС-1	250	400...8000		8	92					170	50	
30ГД-11	30ГДС-1	170	250...8300		8	92					125	65	
Среднечастотные сотовые													
	50ГДС	100	250...6300		8	89					D-125	65	
	75ГДС	80	200...6300		4(8)	92					D-160	85	
Высокочастотные													
1ГД-56	1ГДВ-1-8	3000	6300...16000	14(12)	8	88			0,1		40*40	29	
2ГД-36	6ГДВ-2-8(3ГДВ-1-8)	2800–3000	3150...20000	16(12)	8	90			0,16		80*50	35(29)	
3ГД-15(М)		270	1000...18000	15	6,5	92					D-105	64	0,23

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Старое обозначение	Новое обозначение	Частота основного резонанса, Гц	Полоса воспроизводимых частот, Гц	Неравномерность АЧХ, дБ	Сопротивление, Ом	Уровень характеристической чувствительности, дБ/Вт*м	V_{as}, л	Q_{ms}	Q_{es}	Полная добротность, Q_{ts}	Габариты в плане, мм	Высота, мм	Масса, кг
3ГД-2	6ГДВ-1-16	4500	5000...18000	14(16)	16	90(92)			0,2		63*63(80)	31	
3ГД-31	5ГДВ-1-8	3000	2800...20000	16(14)	8	90			0,4		100*100	48,3	
3ГД-47	4ГДВ-1-8	3000	2000...20000	14(12)	8	91			0,35		65*65	44	
4ГД-56	6ГДВ-2		3000...20000		8	90					50	80	
6ГД-13	6ГДВ-4-8	3000	3000...25000	14(12)	8	92			0,9		100*100	45	
10ГД-35	10ГДВ-2-16	3000	5000...25000	14(12)	16	92			1		100*100	35	
10ГИ-1-8		2000	2000...25000	10		90			0,4		100*100	25	
	10ГДВ-4-16		5000...25000		16	94					110*110	40	
	10ГДВ-01		5000...35000		8	92					120*170	40	
10ГД-20	10ГДВ1		5000...30000		8	92					110*110	44	
20ГД-4	20ГДВ-1		5000...35000		8	90					125*125	40	
Высокочастотные сотовые													
	10ГДВ-5	1100	2000...31500		8	91					110*110	35	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
АУДИОКАРТЫ ИНСТАЛЛЯЦИЙ

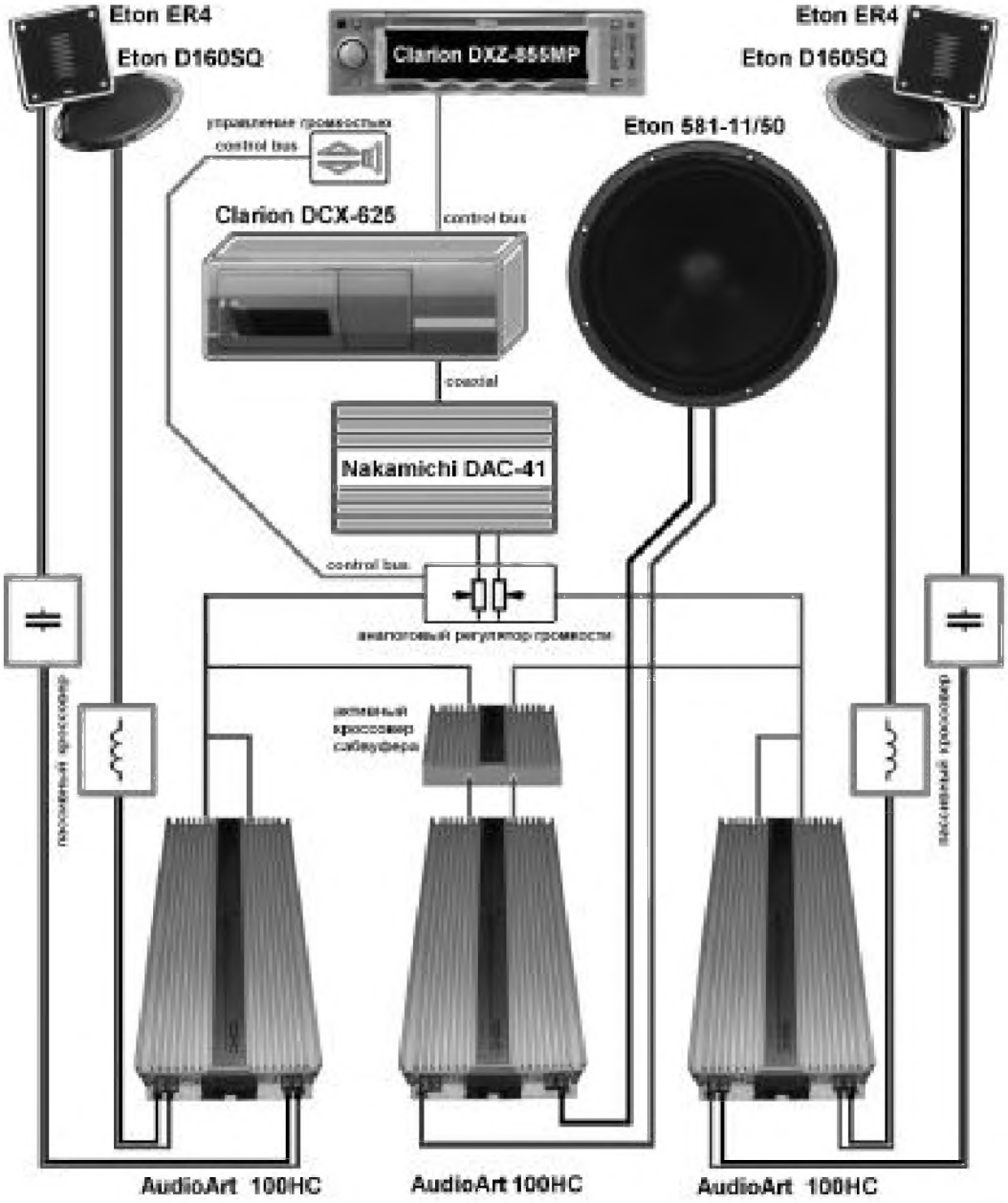


Рис. П.2.1. Аудиокарта инсталляций

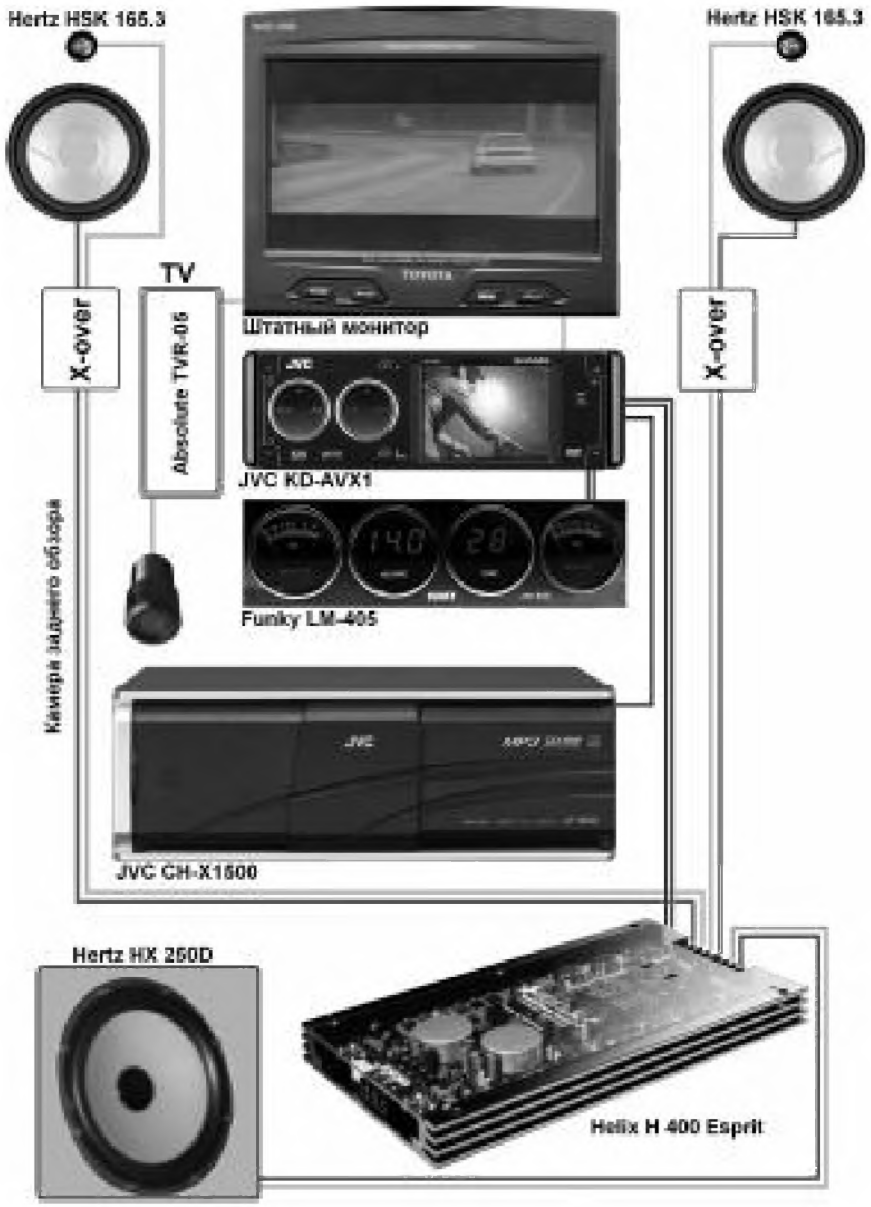


Рис. П.2.2. Аудиокарта инсталляций

Рис. П.2.3. Аудиокарта инсталляций

Рис. П.2.4. Аудиокарта инсталляций

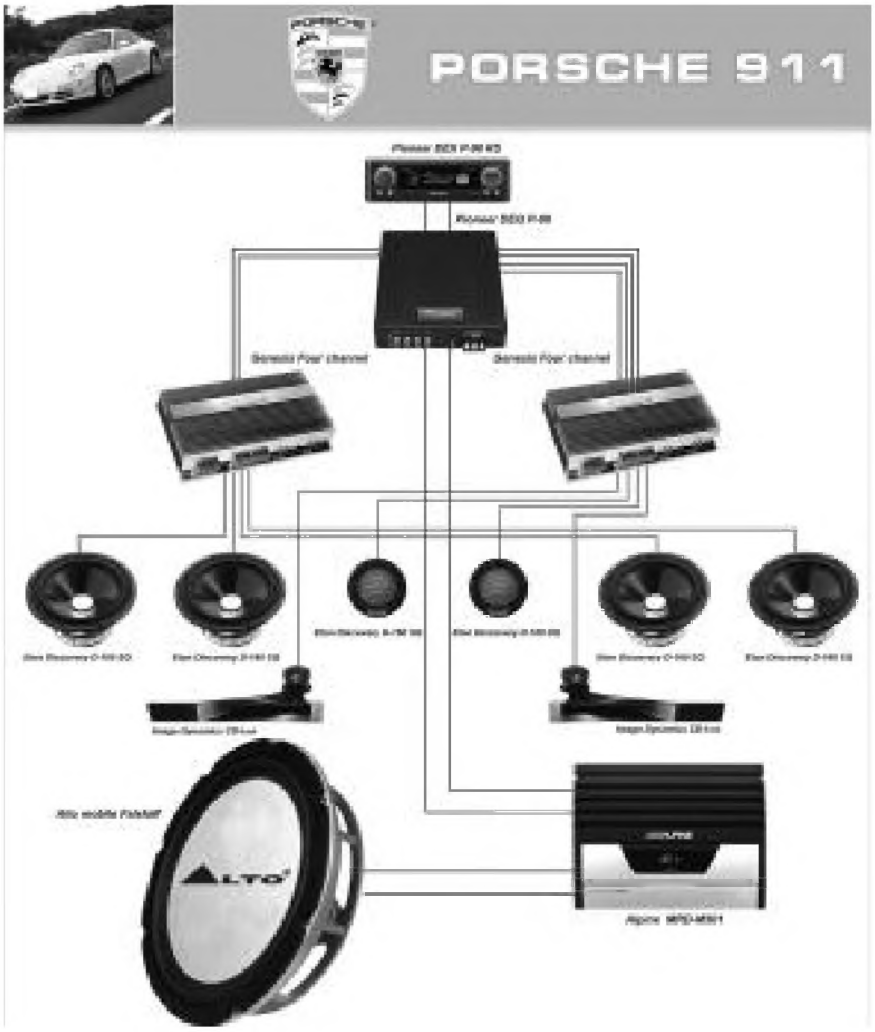


Рис. П.2.5. Аудиокарта инсталляций

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СТАНДАРТОВ

Обозначение стандарта	Число строк/кадров	Сдвиг несущей звука	Полярность модуляции несущей изображения	Модуляция несущей звука
B/G	625/25	5,5	Негативная	ЧМ
D/K	625/25	6,5	Негативная	ЧМ
H	625/25	5,5	Негативная	ЧМ
I	625/25	6,0	Негативная	ЧМ
L	625/25	6,5	Позитивная	АМ
M	525/30	4,5	Негативная	ЧМ
N	625/25	4,5	Негативная	ЧМ

Система	Строк/кадров	Поднесущая частота, МГц	Вещание	Разработка
NTSC (National Television Standards Committee)	525/30	3,58, АМ	Северная Америка, Япония	США в черно-белом варианте в 1940 году, в цветном – в 1953 году
PAL (Phase Alternative Line System)	625/25	4,43, АМ	Большинство стран Европы, Африки, Южная Америка (кроме Бразилии) и Австралия, Индия, Китай	Германия. Принят в 1967 году
PAL-M	525/30	3,58, АМ	Бразилия	Модификация PAL, структура сигнала сохранена
SECAM (Sequentiel couleur a memoire)	625/25	4,25/4,40, ЧМ	Франция, страны Восточной Европы и бывшего СССР	Франция в 1953 году, в 1967 модифицирован с участием советских инженеров. Принят в СССР в 1974 году, вещание начато в 1976 году
SECAM-M (MESECAM)	525/30	4,43, АМ	Ближний и Средний Восток, Африка, Азия	Модификация SECAM, сигнал по структуре приближен к PAL

№ п/п	Наименование диапазона частот	Наименование канала	Полоса частот радиоканала, МГц	Несущие частоты, МГц		Несущие гетеродинов, МГц		Зеркальные полосы частот радиоканала, МГц	
				изображения	звука	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц
1	МВ I	R1	48,5-56,5	49,75	56,25	87,75	88,65	119,0-127,0	120,8-128,8
2		R2	58,0-66,0	59,25	65,75	97,25	98,15	128,5-136,5	130,3-138,3
3		R3	76,0-84,0	77,25	83,75	115,25	116,15	146,5-154,5	148,3-156,3
4	МВ II	R4	84,0-92,0	85,25	91,75	123,25	124,15	154,5-162,5	156,3-164,3
5		R5	92,0-100,0	93,25	99,75	131,25	132,15	162,5-170,5	164,3-172,3
6	КАТВ I	СК-1	110,0-118,0	111,25	117,75	149,25	150,15	180,5-188,5	182,3-190,3
7		СК-2	118,0-126,0	119,25	125,75	157,25	158,15	188,5-196,5	190,3-198,3
8		СК-3	126,0-134,0	127,25	133,75	165,25	166,15	196,5-204,5	198,3-206,3
9		СК-4	134,0-142,0	135,25	141,75	173,25	174,15	204,5-212,5	206,3-214,3
10		СК-5	142,0-150,0	143,25	149,75	181,25	182,15	212,5-220,5	214,3-222,3
11		СК-6	150,0-158,0	151,25	157,75	189,25	190,15	220,5-228,5	222,3-230,5
12		СК-7	158,0-166,0	159,25	165,75	197,25	198,15	228,5-236,5	230,3-238,3
13		СК-8	166,0-174,0	167,25	173,75	205,25	206,15	236,5-244,5	238,3-246,3
14	МВ III	R6	174,0-182,0	175,25	181,75	213,25	214,15	244,5-252,5	246,3-254,3
15		R7	182,0-190,0	183,25	189,75	221,25	222,15	252,5-260,5	254,3-262,3
16		R8	190,0-198,0	191,25	197,75	229,25	230,15	260,5-268,5	262,3-270,3
17		R9	198,0-206,0	199,25	205,75	237,25	238,15	268,5-276,5	270,3-278,3
18		R10	206,0-214,0	207,25	213,75	245,25	246,15	276,5-284,5	278,3-286,3
19		R11	214,0-222,0	215,25	221,75	253,25	254,15	284,5-292,5	286,3-294,3
20		R12	222,0-230,0	223,25	229,75	261,25	262,15	292,5-300,5	294,3-302,3
21	КАТВ II	СК-11	230,0-238,0	231,25	237,75	269,25	270,15	300,5-308,5	302,3-310,3
22		СК-12	238,0-246,0	239,25	245,75	277,25	278,15	308,5-316,5	310,3-318,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

№ п/п	Наименование диапазона частот	Наименование канала	Полоса частот радиоканала, МГц	Несущие частоты, МГц		Несущие гетеродинов, МГц		Зеркальные полосы частот радиоканала, МГц	
				изображения	звука	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц
23		СК-13	246,0-254,0	247,25	253,75	285,25	286,15	316,5-324,5	318,3-326,3
24		СК-14	254,0-262,0	255,25	261,75	293,25	294,15	324,5-332,5	326,3-334,3
25		СК-15	262,0-270,0	263,25	269,75	301,25	302,15	332,5-340,5	334,3-342,3
26		СК-16	270,0-278,0	271,25	277,75	309,25	310,15	340,5-348,5	342,3-350,3
27		СК-17	278,0-286,0	279,25	285,75	317,25	318,15	348,5-356,5	350,3-358,3
28		СК-18	286,0-294,0	287,25	293,75	325,25	326,15	356,5-364,5	358,3-366,3
29		СК-19	294,0-302,0	295,25	301,75	333,25	334,15	364,5-372,5	366,3-374,3
30	Hyperband	S20	302,0-310,0	303,25	309,75	347,25	342,15	372,5-380,5	374,3-382,3
31		S21	310,0-318,0	311,25	317,75	355,25	350,15	380,5-388,5	382,3-390,3
32		S22	318,0-326,0	319,25	325,75	363,25	358,15	388,5-396,5	390,3-398,3
33		S23	326,0-334,0	327,25	333,75	371,25	366,15	396,5-404,5	398,3-406,3
34		S24	334,0-342,0	335,25	341,75	379,25	374,15	404,5-412,5	406,3-414,3
35		S25	342,0-350,0	343,25	349,75	387,25	382,15	412,5-420,5	414,3-422,3
36		S26	350,0-358,0	351,25	357,75	395,25	390,15	420,5-428,5	422,3-430,3
37		S27	358,0-366,0	359,25	365,75	403,25	398,15	428,5-436,5	430,3-438,3
38		S28	366,0-374,0	367,25	373,75	411,25	406,15	436,5-444,5	438,3-446,3
39		S29	374,0-382,0	375,25	381,75	419,25	414,15	444,5-452,5	446,3-454,3
40		S30	382,0-390,0	383,25	389,75	427,25	422,15	452,5-460,5	454,3-462,3
41		S31	390,0-398,0	391,25	397,75	435,25	430,15	460,5-468,5	462,3-470,3
42		S32	398,0-406,0	399,25	405,75	443,25	438,15	468,5-476,5	470,3-478,3
43		S33	406,0-414,0	407,25	413,75	451,25	446,15	476,5-484,5	478,3-486,3
44		S34	414,0-422,0	415,25	421,75	459,25	454,15	484,5-492,5	486,3-494,3

№ п/п	Наименование диапазона частот	Наименование канала	Полоса частот радиоканала, МГц	Несущие частоты, МГц		Несущие гетеродинов, МГц		Зеркальные полосы частот радиоканала, МГц	
				изображения	звука	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц
45		S35	422,0-430,0	423,25	429,75	467,25	462,15	492,5-500,5	494,3-502,3
46		S36	430,0-438,0	431,25	437,75	475,25	470,15	500,5-508,5	502,3-510,3
47		S37	438,0-446,0	439,25	445,75	483,25	478,15	508,5-516,5	510,3-518,3
48		S38	446,0-454,0	447,25	453,75	491,25	486,15	516,5-524,5	518,3-526,3
49		S39	454,0-462,0	455,25	461,75	499,25	494,15	524,5-532,5	526,3-534,3
50		S40	462,0-470,0	463,25	469,75	507,25	502,15	532,5-540,5	534,3-542,3
51	ДМВ	k,21	470,0-478,0	471,25	477,75	509,25	510,15	540,5-548,5	542,3-550,3
52		k,22	478,0-486,0	479,25	485,75	517,25	518,15	548,5-556,5	550,3-558,3
53		k,23	486,0-494,0	487,25	493,75	525,25	526,15	556,5-564,5	558,3-566,3
54		k,24	496,0-502,0	495,25	501,75	533,25	534,15	564,5-572,5	566,3-574,3
55		k,25	502,0-510,0	503,25	509,75	541,25	542,15	572,5-580,5	574,3-582,3
56		k,26	510,0-518,0	511,25	517,75	549,25	550,15	580,5-588,5	582,3-590,3
57		k,27	518,0-526,0	519,25	525,75	557,25	558,15	588,5-596,5	590,3-598,3
58		k,28	526,0-534,0	527,25	533,75	565,25	566,15	596,5-604,5	598,3-606,3
59		k,29	534,0-542,0	535,25	541,75	573,25	574,15	604,5-612,5	606,3-614,3
60	IV	k,30	542,0-550,0	543,25	549,75	581,25	582,15	612,5-620,5	614,3-622,3
61		k,31	550,0-558,0	551,25	557,75	589,25	590,15	620,5-628,5	622,3-630,3
62		k,32	558,0-566,0	559,25	565,75	597,25	598,15	628,5-636,5	630,3-638,3
63		k,33	566,0-574,0	567,25	573,75	605,25	606,15	636,5-644,5	638,3-646,3
64		k,34	574,0-582,0	575,25	581,75	613,25	614,15	644,5-652,5	646,3-654,3
65		k,35	582,0-590,0	583,25	589,75	621,25	622,15	652,5-660,5	654,3-662,3
66		k,36	590,0-598,0	591,25	597,75	629,25	630,15	660,5-668,5	662,3-670,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

№ п/п	Наименование диапазона частот	Наименование канала	Полоса частот радиоканала, МГц	Несущие частоты, МГц		Несущие гетеродинов, МГц		Зеркальные полосы частот радиоканала, МГц	
				изображения	звука	$f_{пч}$ = 38,0 МГц	$f_{пч}$ = 38,9 МГц	$f_{пч}$ = 38,0 МГц	$f_{пч}$ = 38,9 МГц
67		k,37	598,0-606,0	599,25	605,75	637,25	638,15	668,5-676,5	670,3-678,3
68		k,38	606,0-614,0	607,25	613,75	645,25	646,15	676,5-684,5	678,3-686,3
69		k,39	614,0-622,0	615,25	621,75	653,25	654,15	684,5-692,5	686,3-694,3
70		k,40	622,0-630,0	623,25	629,75	661,25	662,15	692,5-700,5	694,3-402,3
71		k,41	630,0-638,0	631,25	637,75	669,25	670,15	700,5-708,5	702,3-710,3
72		k,42	638,0-646,0	639,25	645,75	677,25	678,15	708,5-716,5	710,3-718,3
73		k,43	646,0-654,0	647,25	653,75	685,25	686,15	716,5-724,5	718,3-726,3
74		k,44	654,0-662,0	655,25	661,75	693,25	694,15	724,5-732,5	726,3-734,3
75		k,45	662,0-670,0	663,25	669,75	701,25	702,15	732,5-740,5	734,3-742,3
76		k,46	670,0-678,0	671,25	677,75	709,25	710,15	740,5-748,5	742,3-750,3
77		k,47	678,0-686,0	679,25	685,75	717,25	718,15	748,5-756,5	750,3-766,3
78	ДМВ	k,48	686,0-694,0	687,25	693,75	725,25	726,15	756,5-764,5	758,3-766,3
79		k,49	694,0-702,0	695,25	701,75	733,25	734,15	764,5-772,5	766,3-774,3
80		k50	702,0-710,0	703,25	709,75	741,25	742,15	772,5-780,5	774,3-782,3
81		k,51	710,0-718,0	711,25	717,75	749,25	750,15	780,5-788,5	782,3-790,3
82		k,52	718,0-726,0	719,25	725,75	757,25	758,15	788,5-796,5	790,3-798,3
83		k,53	726,0-734,0	727,25	733,75	765,25	766,15	796,5-804,5	798,3-806,3
84		k,54	734,0-742,0	735,25	741,75	773,25	774,15	804,5-812,5	806,3-814,3
85		k,55	742,0-750,0	743,25	749,75	781,25	782,15	812,5-820,5	814,3-822,3
86		k,56	750,0-758,0	751,25	757,75	789,25	790,15	820,5-828,5	822,3-830,3
87	V	k,57	758,0-766,0	759,25	765,75	797,25	798,15	828,5-836,5	830,3-838,3
88		k,58	766,0-774,0	767,25	773,75	805,25	806,15	836,5-844,5	838,3-846,3

№ п/п	Наименование диапазона частот	Наименование канала	Полоса частот радиоканала, МГц	Несущие частоты, МГц		Несущие гетеродинов, МГц		Зеркальные полосы частот радиоканала, МГц	
				изображения	звука	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,0 МГц	$f_{ПЧ}$ = 38,9 МГц
89		k,59	774,0-782,0	775,25	781,75	813,25	814,15	844,5-852,5	846,3-854,3
90		k,60	782,0-790,0	783,25	789,75	821,25	822,15	852,5-860,5	854,3-862,3
91		k,61	790,0-798,0	791,25	797,75	829,25	830,15	860,5-868,5	862,3-870,3
92		k,62	798,0-806,0	799,25	805,75	837,25	838,15	868,5-876,5	870,3-878,3
93		k,63	806,0-814,0	807,25	813,75	845,25	846,15	876,5-884,5	878,3-886,3
94		k,64	814,0-822,0	815,25	821,75	853,25	854,15	884,5-892,5	886,3-894,3
95		k,65	822,0-830,0	823,25	829,75	861,25	862,15	892,5-900,5	894,3-902,3
96		k,66	830,0-838,0	831,25	837,75	869,25	870,15	900,5-908,5	902,3-910,3
97		k,67	838,0-846,0	839,25	845,75	877,25	878,15	908,5-916,5	910,3-918,3
98		k,68	846,0-854,0	847,25	853,75	885,25	886,15	916,5-924,5	918,3-926,3
99		k,69	854,0-862,0	855,25	861,75	893,25	894,15	924,5-932,5	926,3-934,3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Соответствие зон DVD странам

1. США и Канада.
2. Европа, Ближний Восток, Южная Африка и Япония.
3. Юго-Восточная Азия.
4. Австралия, Новая Зеландия, Океания, Мексика, Центральная и Южная Америка, страны Карибского бассейна.
5. Бывшый СССР, Индия, Африка, Северная Корея и Монголия.
6. КНР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Becker: Как остаться легендой в цифровой век // Мастер 12 вольт. – 1998. – № 6.
2. Car Audio в вопросах и ответах // Мастер 12 вольт. – 2000–2004.
3. Cyclone делает погоду // Мастер 12 вольт. – 1997. – № 2.
4. David Navone, Richard Clark. Secrets For The Great Car Sound – Car Sound Books, A Division of Miller Freeman PSN, 1999.
5. Dinsdale J. / пер. О. Леонов. Проектирование рупорных громкоговорителей // Мастер 12 вольт. – 2004. – №62
6. К вопросу о шумоизоляции передних дверей // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 39.
7. Монитор смотрит в будущее // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 34.
8. Народный рупор – возможно ли это? // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 26.
9. Обустраиваем «Святогор» // Мастер 12 вольт. 2001. – №35
10. Отображение информации в автомобиле // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 39.
11. Сжатая цифра // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 25.
12. Справочная книга радиолюбителя-конструктора (книга 1 гл. 4.4) / под ред. М. М. Чистякова. – М.: Радио и связь, 1993 (Массовая радиобиблиотека, вып. 1195).
13. Агеев С. Должен ли УМЗЧ иметь малое выходное сопротивление? // Радио. – 1997. – № 4.
14. Бабиченко Е., Гапонов И., Леонов О. Последняя скрипка // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 20.
15. Берендюков Ю. и др. Квадрофония или система АВС? // Радио. – 1982. – № 9.
16. Боздех Й. Конструирование дополнительных устройств к магнитофонам (1977, пер. с чешского). – М.: Энергоиздат, 1981. – С. 165–188.

17. Бурундуков В. Прибор для измерения резонансной частоты динамической головки // Радио. – 1967. – № 4.
18. Виноградова Э. Л. Конструирование громкоговорителей со сглаженными частотными характеристиками – М.: Энергия, 1978 (Массовая радиобиблиотека, вып. 966).
19. Габриэлов А. Концерт мастеров эстрады // Автозвук. 1998. – № 2.
20. Гасанов М. Власть переменилась // Автозвук. 2000. – №8
21. Гасанов М. Квадриги // Автозвук. – 2001. – № 6.
22. Давыдов М. Акустические системы радиовещательных приемников // Радио. 1956. – № 4.
23. Денин А., Кацнельсон Л. Система цифрового радиовещания «Эврика-147». // Радио. – 1996. – № 8.
24. Джалалов В. Открытый корпус // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 31.
25. Евтушенко Ю. Штучный товар // Автозвук. – 2000. – №8
26. Елютин А. А нужен ли крепкий тыл // Салон AV. – 1998. – № 3.
27. Елютин А. Вопросы пола // Мастер 12 вольт. – 1997/ 1998.
28. Елютин А. Конец алфавита // Автозвук. – 2001. – № 4.
29. Елютин А. Мотор // Мастер 12 вольт. – 1998. – № 4.
30. Елютин А. Пенсионеры в шелках и кевларе // Мастер 12 вольт. – 1998. – № 3.
31. Елютин А., Евтушенко Ю. Право на передачу // Автозвук. – 2000. – № 8.
32. Кацнельсон Л. Результаты сравнительного испытания систем цифрового звукового радиовещания. // Радио. – 1998. – № 4.
33. Кисельгоф В. HD Radio – еще один шаг к цифровому радиовещанию // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 62.
34. Кисельгоф В. LANZAR OPTI4X400D: волк в овечьей шкуре // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 62.
35. Кисельгоф В. Кроссовер-эквалайзер DXE // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 61.
36. Кисельгоф В. Ломка стереотипов: Коаксиальная акустическая система AS-P1326 // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 62.
37. Кисельгоф В. Умные вещи // Мастер 12 вольт. – 2004. – №62.
38. Кисельгоф В., Рябов А. У истоков автозвука // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 56.

39. Кононович Л. Стереофоническое радиовещание. – М.: Связь, 1974. – С. 87–92.
40. Леонов О. Музыкальный ликбез // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 59–61.
41. Леонов О. Параметры Тиэле-Смолла – пожалуйста // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 25.
42. Леонов О. Строим саб // Мастер 12 вольт. – 2004. – №59.
43. Онуфриев Н. Схемотехника блоков питания автомобильных усилителей // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 51.
44. Павлов А. Новая профессия лампочки Ильича... // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 34.
45. Романова Т., Божко А., Попов В. Электродинамические головки с плоскими диафрагмами // Радио. – 1998. – № 8.
46. Смирнов С. Hi-End, и не только // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 55.
47. Смирнов С. Хрупкий «high-end»: Butler Audio и Poweramper // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 57.
48. Хохлов П. Экономический класс // Автозвук. – 2001. – № 4.
49. Шихатов А. АХЮМА // Мастер 12 вольт. – 2004. – №59.
50. Шихатов А. INFINITY Kappa 102a // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 27.
51. Шихатов А. Lanzar DVI-1000 // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 53.
52. Шихатов А. Lanzar OptiDrive SL-50 // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 36.
53. Шихатов А. Lanzar Street Vision // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 38.
54. Шихатов А. Lanzar Vibe 421 // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 60.
55. Шихатов А. Lanzar VIberant // Мастер 12вольт. – 2001. – № 37.
56. Шихатов А. Lanzar Viberant // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 52.
57. Шихатов А. Porology ZX-9050 // Мастер 12 вольт. – 2003, №50.
58. Шихатов А. Prology DVD-777 // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 54.
59. Шихатов А. Prology DVM-3000 // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 57.
60. Шихатов А. Prology: новый PAScaж // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 42.

61. Шихатов А. Pyle, брат Daewoo // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 25.
62. Шихатов А. Requem // Car & Music. – 2000. – № 8.
63. Шихатов А. TOYOTA PRIUS // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 57.
64. Шихатов А. VolksMagen // Мастер 12 вольт. – 2004. – №55.
65. Шихатов А. А и Б сидели на трубе... // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 39.
66. Шихатов А. Автомобильные магнитолы // Радио. – 1999. – № 4–8.
67. Шихатов А. Автомобильные мониторы Videovox // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 48.
68. Шихатов А. Автомобильные усилители // Радио. 2001. – № 10, 11, 12; 2002. – № 1,2.
69. Шихатов А. Адаптивный тыловой канал системы пространственного звучания // Радио. – 1999. – № 9.
70. Шихатов А. Активные кроссоверы // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 50.
71. Шихатов А. Активный фильтр для сабвуфера // Конструкции и схемы для прочтения с паяльником. – М.: Солон-Р, 2001.
72. Шихатов А. Активный фильтр на полевых транзисторах // Радио. – 2002. – № 11.
73. Шихатов А. Акустические резонаторы // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 55.
74. Шихатов А. Антенны // Мастер 12 вольт. – 2001. – №34
75. Шихатов А. Арифметика для усилителей // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 39.
76. Шихатов А. БРАТ-3 // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 59.
77. Шихатов А. Братья по крови // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 58.
78. Шихатов А. Вскрываем усилитель // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 24.
79. Шихатов А. Вскрываем усилитель – 2 // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 43.
80. Шихатов А. Голубой огонек // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 37.
81. Шихатов А. Горбатого могила исправит // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 35.
82. Шихатов А. Громкоговорители в автомобиле // Радио.– 1999. – № 11, 12.
83. Шихатов А. Демпинг-фактор – мифы и реальность // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 33.

84. Шихатов А. Дешево и сердито // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 37.
85. Шихатов А. Динамики и полка // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 48.
86. Шихатов А. Единство и борьба противоположностей // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 46.
87. Шихатов А. Звук в автомобиле // Радио. – 1999. – №2.
88. Шихатов А. Как выбирать магнитолу // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 25.
89. Шихатов А. Когда колонок больше, чем каналов // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 30.
90. Шихатов А. Кроссовер и сцена // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 28.
91. Шихатов А. Любовь к трем полосам // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 28.
92. Шихатов А. Мичуринцы car audio // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 27.
93. Шихатов А. Многофункциональный индикатор FUNKY LM-402 // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 61.
94. Шихатов А. Монитор спешит на помощь // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 44.
95. Шихатов А. Наш размерчик // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 46.
96. Шихатов А. Недопетая песня // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 46.
97. Шихатов А. Новая буква в алфавите // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 33.
98. Шихатов А. Новый PAScaж // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 42.
99. Шихатов А. О бедной пищалке замолвите слово // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 47.
100. Шихатов А. Первый класс // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 49.
101. Шихатов А. По седлам // Мастер 12 вольт. – 2001. – №31.
102. Шихатов А. Показометры // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 32.
103. Шихатов А. Призрак центрального канала // Мастер 12 вольт. – 2001. – № 35.
104. Шихатов А. Развитие систем объемного звучания – от монофонии к 3D // Мастер 12 вольт. – 1999. – № 20.
105. Шихатов А. Сиамские близнецы // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 57.
106. Шихатов А. Снова Pyle // Мастер 12 вольт. – 2000. – №29

107. Шихатов А. Суперконденсаторы // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 50.
108. Шихатов А. Твикаем усилитель // Мастер 12 вольт. 2004. – № 56.
109. Шихатов А. Тоже мне усилитель // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 49.
110. Шихатов А. Улучшение звучания коаксиальных динамиков // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 60.
111. Шихатов А. Усилитель JBL BP300.1 // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 26.
112. Шихатов А. Усилитель JBL P180.2 // Мастер 12 вольт. – 2000. – № 28.
113. Шихатов А. Усилитель Vibe 1800D // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 55.
114. Шихатов А. Устанавливаем мультимедийную систему // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 55.
115. Шихатов А. Устанавливаем сами // Радио. – 2000. – №1–7.
116. Шихатов А. Что такое DDX? // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 43.
117. Шихатов А. Эквалайзеры // Мастер 12 вольт. – 2003. – № 51.
118. Шихатов А. Этот грозный Си-бемоль // Мастер 12 вольт. – 2002. – № 41 (новости).
119. Александров С. Мал, да удал: Prology DVS-1125 // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 82.
120. Александров С. Связующее звено // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 81.
121. Шихатов А. Твердость духа: Prology CMU-400 // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 84.
122. Шихатов А. Синий Зуб: Mystery MMD-995BT // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 85.
123. Шихатов А. Первая ласточка: Медиа-центр Prology DVD-350U // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 85.
124. Шихатов А. Сумма технологии: Videovox AVM-750HD и AVT-750HD // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 81.
125. Шихатов А. PROLOGY DVD-525UR – просто добавь монитор // Мастер 12 вольт. – 2006. – №77.
126. Шихатов А. Ванька-Встанька // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 83.
127. Шихатов А. Право на самоопределение // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 72.
128. Шихатов А. Широта, долгота... MB QUART Q-LINE QSF Nano // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 83.
129. Шихатов А. NEOклассицизм // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 86.

130. Шихатов А. Акустические резонаторы // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 55.
131. Шихатов А. Укрощение резонанса // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 68.
132. Шихатов А. Дело – труба ... // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 77.
133. Шихатов А. Характеристики усилителей // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 79.
134. Шихатов А. Повесть о «двойке» // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 77.
135. Шихатов А. BUTLER – лампа возвращается! // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 66.
136. Шихатов А. ADAGIO VAC 75.4N // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 80.
137. Шихатов А. Белый Тезис // Мастер 12 вольт. – 2006. – №77.
138. Шихатов А. Что нам стоит саб настроить // Мастер 12 вольт. – 2007. – № 79.
139. Шихатов А. PROLOGY ADSP-2351 // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 70.
140. Шихатов А. Предусилитель // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 68.
141. Шихатов А. Мастер иллюзий // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 68.
142. Шихатов А. Видеомастер // Мастер 12 вольт. – 2006. – №70
143. Шихатов А. Другой путь // Мастер 12 вольт. – 2006. – №71.
144. Шихатов А. В поисках Святого Грааля // Мастер 12 вольт. – 2006. – № 75.
145. Эфрусси М. М. Громкоговорители и их применение. – М.: Энергия, 1971 (Массовая радиобиблиотека, вып. 769).
146. Юренин А. Легенды и мифы «последовательных миров» // Мастер 12 вольт. – 2004. – № 58, 60.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

A

AV-коммутатор, 31, 50, 51, 80, 325

B

BBE, коррекция, 292

C

CD-ресивер, 18, 20, 21, 34, 49, 56
CD-транспорт, 19, 43, 53, 71, 385
CD-чейнджер, 37, 57, 417

D

DIN, 43, 46, 48, 55, 251, 288
DVD, 28, 51, 79
DVD, носитель, 27, 50
DVD, формат, 26, 28, 29
DVD-проигрыватель, 21, 31, 48, 77
DVD-ресивер, 21, 34, 38, 40, 46, 48, 56
DVD-транспорт, 46, 53, 71
DVD-чейнджер, 31, 45

J

JPEG, 28, 48

M

MD, формат, 19
MD-ресивер, 19, 34, 72
MD-транспорт, 19, 71
MD-чейнджер, 37
mixed mono, 338, 340, 380, 381
MP-3, 20, 27, 29
MP-3 ресивер, 20
MP3, 37, 48
MP3 ресивер, 72

N

NTSC, 25, 47, 48, 79

P

PAL, 25, 47, 48, 78, 79, 325

R

RDS, 37, 62

S

S-video, 26, 48, 80
SCART, 80
SECAM, 24, 25, 48, 78, 79, 325

T

TFT-дисплей, 76
tri-mode, 380, 381, 386
TS-параметры, 92, 119, 123, 126

V

VHS, 27, 31, 51, 79
Video CD, 27, 29, 48

W

WMA, 20, 37

Z

Z-характеристика, 127, 128, 129, 166, 169, 232

А

акустическая нагрузка, 146
акустическая система, 83
акустически нагруженное оформление, 137
акустически разгруженное оформление, 137
акустические системы лабиринтные, 140
акустический экран, 139
акустического сопротивления панель, 140
акустическое короткое замыкание, 83, 394
акустическое оформление, 83
антенны разнесенные, 23, 324
АС, 83
АС корпусная, 392, 401
АС, монтаж, 417
АС распределенная, 83, 372, 378
АС сосредоточенная, 83
АС тыловая, 372
АЧХ, коррекция, 189, 232, 237, 238, 239, 252, 255, 257, 276, 280, 284
АЧХ, коррекция, методы, 424
АЧХ, коррекция параметрическая, 189
АЧХ, крутизна спада, 230, 231, 235, 248, 250, 252, 260, 274, 279
АЧХ результирующая, 260, 277, 285, 286
АЧХ системы, 422

Б

балансная линия, 182, 418
бас-бустер, 252, 257, 286
бустер, 171, 288

В

вибродемпфирование, 396, 398, 401, 405
вибродемфирование, материалы, 407
виток короткозамкнутый, 100
вкладыш противоинтерференционный, 113
вкладыш фазовыравнивающий, 113
вход балансный, 182
вход высокого уровня, 182
вход линейный, 37, 52, 65
вход усилителя мощности, 67
выход балансный, 68
выход линейный, 52, 67

Г

гармонайзер, 292
гиратор, 261, 286
головка громкоговорителя, 83
головка, звуковая катушка, 93
головка изодинамическая, 86
головка коаксиальная, 113
головка, магнитная система, 86, 93, 110, 117
головка, магнитная система обращенная, 111
головка, подвижная система, 86, 92
головка полосовая, 84
головка прямого излучения, 85
головка, пылезащитный колпачок, 109
головка роторная, 86
головка триаксиальная, 113
головка широкополосная, 84, 120, 236
головка электростатическая, 87
головка эллиптическая, 118

головка-трансформер, 116, 121
головки, защита, 124, 239
головки кроссаксиальная, 113
головное устройство, 34
гофр кольцевой, 101
гофр тангенциальный, 101
громкоговоритель, 83

Д

декодер многоканального звука, 49, 50
дельта-модуляция, 222
демпинг-фактор, 176, 179, 224
демпфирование, 179, 204, 230
демпфирование импульсное, 224
демпфирование резонанса, 177, 224
диаграмма направленности, 91
диапазон воспроизводимых частот, 90
динамические головки, защита, 393
динамические головки, установка, 393
динамический оптимизатор баса, 187
диссипатор, 234, 237
дистанционное управление, 16, 49, 57
дистанционное управление включением, remote, 205
дифракция, 83, 108, 113, 115
диффузный звук, 293
диффузор секционированный, 120
диффузородержатель, 92, 112
добротность, 63, 127, 132, 135, 137, 149, 164, 186
добротность механическая, 126
добротность, нормирование, 239
добротность полная, 92, 119, 125, 126, 152, 159, 373
добротность результирующая, 127, 137, 149, 153, 165
добротность, характер звучания, 154
добротность электрическая, 126

З

звуковая сцена, 357
звуковой процессор цифровой, 293
звукопоглотитель, 159, 396
зона поршневого действия, 103
зона совместного действия, 375
зонное излучение, 103

И

излучатели дополнительные, 113
излучатель пассивный, 145
изображение, регулировки, 79
импеданс, 89, 232
индикатор выходной мощности, 334
индикатор напряжения питания, 334, 346
индикатор температуры, 334
интерференция, 83, 103, 110, 112, 114, 154, 155, 156, 323, 324, 359, 360, 392
искажения, 13, 66, 91, 109, 117, 138, 140, 141, 175, 192, 218, 221, 273, 278
искажения АЧХ, 393
искажения геометрические, 27
искажения интермодуляционные, 100, 103, 112, 152, 174, 221, 237
искажения нелинейные, 64, 65, 86, 89, 91, 98, 101, 111, 146, 164, 174, 179, 218, 246, 268, 274, 281
искажения перекрестные, 63, 321
искажения переходные, 89, 103
искажения фазовые, 104, 106, 137, 230, 250, 252, 273, 283, 376, 377

К

камера обзора, 30, 77, 81
клеммы, 410
коммутатор диодный, 413

компенсатор Цобеля-Буше, 235
компенсация басовой атаки, 365
компрессионная зона, 155
корпус закрытый, 141
корпус открытый, 139
коэффициент гармонических искажений, 91
коэффициент демпфирования, 176
кроссовер, 230
кроссовер-эквалайзер, 282
кроссовер-эквалайзер, 284

Л

локализация источника звука, способы, 360, 375
ЛПМ управление, 56

М

макет, 401
материалы композитные, 389, 395
межблочный кабель, 417
мертвое время, 208, 218
монтаж, 77, 80, 199, 275, 281, 348, 385
монтажная глубина, 110, 394
мощность выходная, 37, 53, 67, 68, 69, 70
мощность номинальная, 91
мощность паспортная, 91
мощность пиковая, 91
мощность потребляемая, 77

Н

надежность, 36, 52, 53

О

объем эквивалентный, 92
ориентация излучателей, 361

П

пайка, 410
память противоударная, 72
память фиксированных настроек, 37, 61
панорамирование, 295
ПАС, 140
пенополиэтилен, 408
передаточная характеристика салона, 154
передняя панель откидная, 57
передняя панель съемная, 36, 52, 58
переходная характеристика, 88, 105, 141, 143, 145, 153, 178, 282, 283, 287
пик-фактор, 174
плата печатная, 36, 53
подиум, 394, 399
поле рассеяния, 99
полоса частот сабвуфера, 373
полоса энергетическая, 152
помехи, 24, 262, 321, 323, 325, 418, 419
предохранитель, 410
преобразователь напряжения, 172, 205
принцип размещения АС, 370
прослушивание, 358
процессор, 230, 292

Р

радиатор, 53, 193, 199, 207, 208, 210, 212, 225
радиоприемный тракт, 25, 54, 60, 61, 64
развитие системы, 51
распределение мощности, 374
расширение стереобазы, 302, 311
реверберация, 302
резонанс салона, 156
резонансная камера, 147
рупор узкогорлый, 150
рупор укороченный, 151

рупор широкогорлый, 150

С

сабвуфер активный, 385
санкционирование доступа, 58
сдвиг фазы, 366
сдвиг фазы абсолютный, 376
сдвиг фазы относительный, 376
сетка частот, 54, 58, 59, 60, 61
силовой фактор, 97
синтезатор частоты, 79
система мультимедийная, 29, 34, 81
системы двойного действия, 138
системы одинарного действия, 137
скорость нарастания, 175
слух, возрастные особенности, 360
соединения внешние, 53
соединители ISO, 55
сопротивление активное, 131, 232
сопротивление входное, 235
сопротивление выходное, 176, 179
стабилизатор магнитного потока, 100
стелс, 398
стереопанорама, 357
структура, 182
схема Хаффлера, 298, 372
сэндвич, 396

Т

тонкомпенсация, 58, 66
тыловой канал, 292

У

угол установки, 73
уровень проектирования, 53
уровень характеристической чувствительности, 90
усиление многополосное, 386
усиление раздельное, 377
усилители, классы, 215
усилитель DDX, 223
усилитель класса A, 215
усилитель класса AB, 215
усилитель класса B, 215
усилитель класса D, 217, 385
усилитель класса H, 70
усилитель класса T, 220
усилитель мостовой, 69
усилитель фильтрующий, 199, 231

Ф

фаза, 83, 86, 112, 138, 140, 158, 230, 249, 252, 261, 268, 295, 301, 302, 365, 373, 376
фазировка абсолютная, 375, 422
фазировка относительная, 375, 423
фазовый корректор, 261, 267, 284, 373
фазоинвертор, 122, 143, 163
фейдер, 58, 67
фильтр активный, 231
фильтр Баттерворта, 186, 231, 233
фильтр Бесселя, 231, 233
фильтр ВЧ, 67, 182, 186, 231
фильтр, добротность, 187, 252, 257, 266, 267, 282
фильтр дополнительной функции, 187, 250
фильтр инфранизких частот, 143, 259, 283, 284
фильтр квазивторого порядка, 235
фильтр Линквитца-Райли, 231, 233
фильтр неинвертирующий (Саллена-Ки), 185, 249
фильтр НЧ, 182, 186, 231
фильтр пассивный, 183, 231
фильтр переменной крутизны, 252, 279, 283
фильтр полосовой, 63, 234, 275
фильтр ПЧ, 62, 63
фильтр равнокомпонентный, 249
фильтр разделительный, 230
фильтр режекторный, 238, 279

фильтр, тип, 248
фильтр Чебышева, 231
фильтрующий усилитель, 199, 231
фильтры встроенные, 67, 182, 184, 188, 357
фильтры разделительные, 122
формат звука, 50, 292, 302
формат кадра, 27, 48

Х

ход диффузора линейный, 97, 117

Ц

центральный канал, 292, 301
центральный канал фантомный, 371

Ч

частота резонанса, 92, 131
частоты раздела, 372
чувствительность головок, согласование, 232

Ш

шайба центрирующая, 102
ШИМ, широтно-импульсная модуляция, 218
шумоизоляция, 405

Э

эквалайзер, 52, 66, 230, 277
эквалайзер графический, 277, 288
эквалайзер, добротность, 278, 286, 287
эквалайзер окружения, 280
эквалайзер параметрический, 278, 287
эквалайзер с анализатором спектра, 278
эквалайзер фильтровый, 284
элементы жесткости, 395, 398
Эффект Хааса, 313
эффективное расстояние, 364

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «АЛЬЯНС-КНИГА» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу: **123242, Москва, а/я 20** или по электронному адресу: **orders@alians-kniga.ru**.

При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя. Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.

Эти книги вы можете заказать и в Интернет-магазине: **www.alians-kniga.ru**.

Оптовые закупки: тел. **(495) 258-91-94, 258-91-95**; электронный адрес **books@alians-kniga.ru**.

Шихатов Анатолий Иванович

КОНЦЕРТНЫЙ ЗАЛ НА КОЛЕСАХ

6-е издание, дополненное

Главный редактор *Мовчан Д. А.*
dm@dmk-press.ru
Корректор *Синяева Г. И.*
Верстка *Чаннова А. А.*
Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Подписано в печать 13.08.2010. Формат 70×100 $^{1}/_{16}$.
Гарнитура «Петербург». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 47,25. Тираж 1000 экз.
№
Web-сайт издательства: www.dmk-press.ru