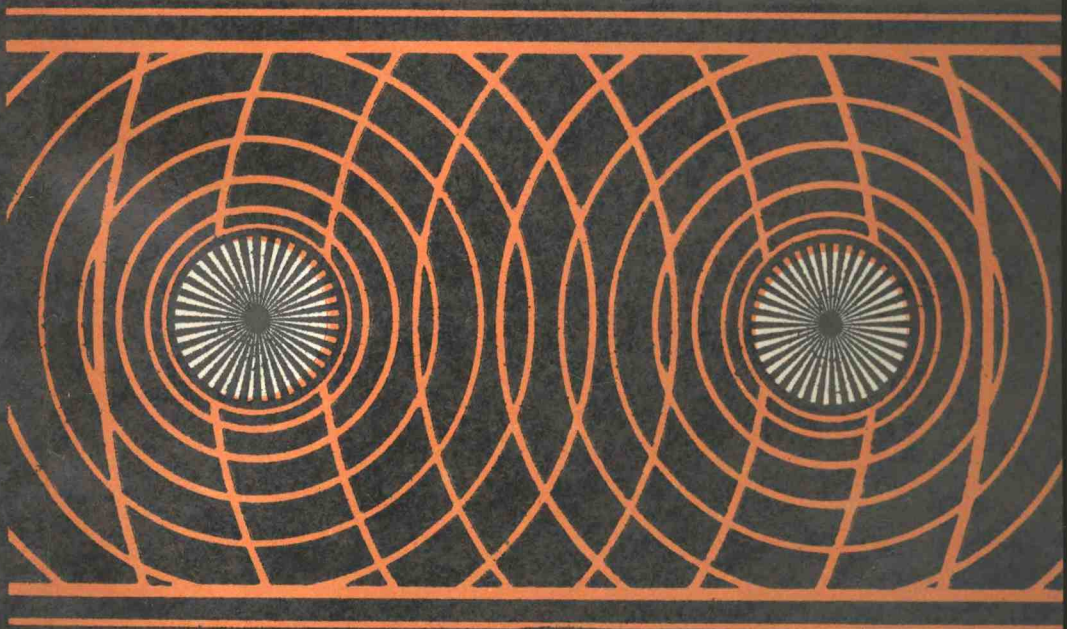
И. А. Багларов А. П. Ефимов
А. В. Никонов

СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЕ ВЕЩАНИЕ

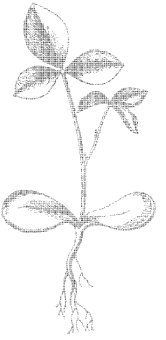


СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЕ ВЕЩАНИЕ

И.А.Багларов А.П.Ефимов
А.В.Никонов

СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЕ ВЕЩАНИЕ

Москва,
«Радио и связь»
1993



Scan AAW

ББК 32.871
Б14
УДК 621.396.97:681.84.087.7

Федеральная целевая программа книгоиздания России

Рецензент: В. Я. Дзядчик

Редакция литературы по радиотехнике и электросвязи

Багларов И. А. и др.

Б14 Стереофоническое вещание/И. А. Багларов, А. П. Ефимов, А. В. Никонов. — М.: Радио и связь, 1993. — 240 с.: ил.

ISBN 5-256-00782-3.

Рассмотрены психофизиологические основы стереофонии, способы формирования, преобразования, записи, передачи и воспроизведения стереофонических сигналов в аналоговой и дискретной (цифровой) форме. Главное внимание уделено принципам действия и структуре систем стереофонического радиовещания в диапазонах метровых и гектометровых волн и системам стереофонического проводного вещания. Описаны образцы профессионального оборудования: микрофоны, пульты звукорежиссера, магнитофоны, акустические агрегаты и бытовые стереофонические устройства (радиоприемники, тюнеры, радиолы, проигрыватели компакт-дисков, приемные устройства проводной стереофонии). Дается прогноз развития стереофонического вещания.

Для инженеров и техников, занимающихся эксплуатацией радио- и проводного вещания, аппаратуры междугородной связи.

Б $\frac{2303040500\text{-}024}{046(01)\text{-}93}$ КБ-3-504-93 ББК 32.871

Производственное издание

Багларов Ираклий Антонович
Ефимов Аркадий Павлович
Никонов Александр Васильевич

СТЕРЕОФОНИЧЕСКОЕ ВЕЩАНИЕ

Заведующий редакцией *В. Н. Вяльцев.* Редактор *В. К. Старикова.*
Обложка художника *А. Я. Толмачёва.* Художественный редактор *Н. С. Шеин*
Технический редактор *Т. Г. Родина.* Корректор *Т. В. Дземидович*

ИБ № 2321

Сдано в набор 22.10.91 Подписано в печать 03.02.93
Формат 60×84 1/16 Бумага офсетная № 1 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 13,95 Усл. кр.-отт. 14,30
Уч.-изд. л. 16,45 Тираж 3000 экз. Изд. № 23220
Зак. № 115 С-024
Издательство «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь». 101000 Москва, Почтамт, а/я 693

ISBN 5-256-00782-3

© Багларов И. А., Ефимов А. П., Никонов А. В., 1993

ПРЕДИСЛОВИЕ

Слово «стереофония» известно всем образованным людям. В него входят два греческих корня: «стерео» означает пространственный, телесный, объемный, «фонос» — звук, голос. Стереофония — средство повышения качества воспроизведения программ звукового вещания путем передачи дополнительной, пространственной информации об источниках звука и помещении, откуда идет передача.

Стереофония вошла в жизнь современных людей различными путями. Это — радиовещание в диапазоне метровых волн, воспроизведение звука с магнитной ленты, грампластинки, компакт-диска, установки звукоусиления в театрах и концертных залах, звуковой кинематограф, телевизионное вещание и видеозапись со стереофоническим звуковоспроизведением. Наконец, это — стереофоническое радиовещание в диапазоне гектометровых (средних) волн, цифровое радиовещание, проводное вещание.

Стереофония как практически освоенная область звукотехники существует уже несколько десятилетий. За годы развития предлагались и опробовались различные виды и модификации стереофонических систем и устройств: псевдостереофонические, амбиофонические, трехканальные (трифонические), четырехканальные (квадрофонические), матричные, бинауральные... Одни из них не получили распространения ввиду сложности или недостаточного получаемого результата, другие продолжают развиваться, пройдя трудный путь острой конкурентной борьбы.

Исследования в области психофизиологии, эстетики, акустики, техники стереофонии нашли отражение во многих книгах и журнальных статьях, подчас не всегда доступных широкому кругу читателей. Авторы ставят своей задачей рассказать в достаточно доступной форме об эстетических, психофизиологических и технических основах этой важной отрасли современной звукотехники, раскрыть суть возникающих задач, наметить пути их решения, рассмотреть способы формирования сигналов стереофонических программ, устройство и принципы действия профессиональной и бытовой стереофонической аппаратуры. Уделено внимание стереофоническому вещанию в диапазоне гектометровых волн, проводной стереофонии, цифровым методам формирования и передачи стереофонических сигналов. Наряду с широким освещением работ отечественных и зарубежных исследователей, авторы излагают результаты собственных исследований.

Главы 7 и 8 написаны И. А. Багларовым, гл. 1, 3, 5 и 9, предисловие, введение, заключение — А. П. Ефимовым, гл. 2, 4, 6 — А. В. Никоновым.

Авторы будут признательны читателям за критические замечания и предложения, которые следует направлять в издательство.

ВВЕДЕНИЕ

Требования к качеству воспроизведения программ звукового вещания постоянно растут. Это обусловлено диалектическим взаимодействием двух процессов. С одной стороны, звуковое вещание эстетически, художественно развивает и воспитывает слушателей, проводящих свободное время у радиоприемников и воспроизводящих устройств звукозаписи; с другой — радиослушатели, чей художественный вкус развивается под действием содержания программ звукового вещания, все острее и болезненнее воспринимают различные искажения вещательных сигналов и предъявляют новые, более высокие требования к качеству звучания, следовательно, к техническому уровню вещательных каналов и трактов.

Все шире распространяется мнение, что возможности одноканальных (монофонических) систем и устройств в повышении качества воспроизведения исчерпаны. Дальнейшее совершенствование систем звукопередачи связывают с увеличением числа каналов. В звуковом радиовещании в диапазоне метровых волн, магнитной, грамофонной и лазерной звукозаписи прочные позиции завоевала двухканальная стереофония. Двухканальное стереофоническое радиовещание развивается в диапазоне гектометровых (средних) волн, ведутся исследования в области проводной стереофонии. Меньшее распространение, чем ожидалось, получили четырехканальные (квадрофонические) системы радиовещания и звукозаписи. Зато в кинематографе, в больших универсальных залах многоцелевого назначения многоканальные системы звуковоспроизведения с числом каналов более двух применяются весьма широко.

Преимущества стереофонии перед монофонией общеизвестны. Стереофония обеспечивает бóльшую естественность воспроизведения, оказывает бóльшее эмоциональное воздействие на слушателей, поэтому у нас, как и в других высокоразвитых странах, стереофонии уделяется большое внимание.

Развитие стереофонии в нашей стране — результат работы многих ученых и инженеров. У истоков стереофонии стояли И. Е. Горон, В. В. Фурдуев, И. Г. Дрейзен, П. Г. Тагер, Л. М. Кононович, Б. Г. Белкин, Г. С. Гензель, В. С. Маньковский, Ю. А. Ковалгин, П. М. Жмурин и др. Промышленные образцы профессиональных стереофонических магнитофонов разрабатывались во ВНАИЗ (ныне ВНИИТР) под руководством В. Г. Королькова. Звукорежиссерские (микшерные) пульты, пригодные для стереофонического вещания, создавались во ВНИИРПА им. А. С. Попова В. С. Немановым и его сотрудниками. Высокохудожественные стереофонические магнитные фонограммы впервые созданы в СССР в 50-х годах звукорежиссерами Д. И. Гаклиным и А. В. Гроссманом.

Первые опыты стереофонического вещания были проведены по инициативе и под руководством Н. С. Куприянова и А. И. Лебедева-Карманова. Передающие стереофонические устройства создавались при активном участии В. С. Киссельгофа, В. В. Коргузалова и В. М. Конокотина. Первые модели стереофонических радиоприемных устройств разрабатывались под руководством и при участии Ю. Ю. Гобземиса, П. М. Жмурина, В. Ф. Коновалова, И. С. Песчан-

ского, Р. П. Фридрихсона. Большую работу по организации стереофонического радиовещания в нашей стране провели В. А. Варбанский, О. В. Висленев, В. А. Говядинов, И. В. Иванов, И. В. Рузанов, Б. С. Семенов, В. И. Хлебников, В. Д. Шер, С. С. Шлюгер, М. М. Шноль, О. П. Юсицков и многие другие специалисты Гостелерадио и Министерства связи СССР. В разработке и опытной проверке систем и устройств стереофонического проводного вещания принимали участие П. Я. Дубулт, А. П. Ефимов, И. А. Багларов, С. Л. Мишеиков, О. А. Постникова, В. И. Сасаров, Т. В. Чернышева, И. А. Шамшин, М. М. Шенберг, Л. И. Штейнбук.

Значительных успехов в разработке советской системы стереофонического радиовещания в диапазоне ГМВ достигли сотрудники кафедры радиовещания и электроакустики ОЭИС во главе с А. В. Выходцем.

В разработку и исследование систем дискретного (цифрового) радиовещания вложен труд коллективов ВНИИРПА им. А. С. Попова и сотрудников кафедры радиовещания и электроакустики МИС. Во втором из названных коллективов под руководством М. В. Гитлица проведены исследования в области цифровых систем магнитной записи и записи на неподвижный носитель.

Итогом проведенных отечественных научных и конструкторских работ явился массовый выпуск различных профессиональных и бытовых стереофонических устройств. Стереофоническое радиовещание осуществляется более чем в ста городах страны. Общий объем стереовещания в стране в настоящее время составляет примерно 500 часов в сутки. Программы центрального радиовещания и многие республиканские программы формируются в стереофонической форме.

Стереофоническое вещание в СССР до 1980 г. велось по децентрализованной системе: программы создавались автономно в каждом радиодоме, из которого велось стереовещание. Из радиодомов сигналы стереофонических программ подавались на местные радиопередатчики диапазона метровых волн по соединительным линиям, в качестве которых использовали симметричные пары телефонных кабелей. С 1980 г. начали вводиться в строй стереофонические междугородные каналы звукового вещания (МКЗВ) с использованием кабельных, радиорелейных и спутниковых каналов. Стал возможен обмен программами между различными радиодомами. Сейчас сеть каналов подачи программ становится комплексной, т. е. используются и централизованный, и децентрализованный принципы.

Развитие приемной сети стереофонического радиовещания шло следующим образом. В 1975 г. у населения имелось около 600 тыс. стереофонических радиоприемных устройств. К концу 1980 г. их число возросло до 4,2 млн., в конце 1985 г. оно оценивалось примерно в 10 млн. и к 1990 г. достигло 30 млн., что составило примерно 30% общего числа радиовещательных приемных устройств. Это, конечно, не удовлетворяет растущего спроса населения. Наряду с приемниками, в больших количествах выпускаются стереофонические электрофоны и магнитофоны. Начат выпуск проигрывателей компакт-дисков. Повышению качества приема стереосигналов способствует использование антенн коллективного телевизионного приема и для приема программ стереофонического радиовещания в диапазоне 66 ... 74 МГц. Ведутся работы по освоению для стереовещания нового диапазона частот 100 ... 108 МГц.

1. Психофизиологические основы стереофонии

1.1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СЛУХОВОГО ВОСПРИЯТИЯ

В настоящем параграфе речь пойдет не о таких общеизвестных свойствах слуха, как чувствительность, ее зависимость от частоты, частотный и динамический диапазоны, а лишь о тех, которые лежат в основе восприятия стереофонических сигналов. Уже давно установлено, что и неспециалисты, и профессионалы — звукорежиссеры, музыканты — оказывают явное предпочтение многоканальным, стереофоническим системам воспроизведения звука [20]. Существует убеждение, что такое предпочтение обусловлено способностью стереофонических систем лучше передавать и воспроизводить пространственные характеристики источников звука — их взаимное расположение, протяженность по фронту и в глубину.

Во многих руководствах по стереофонии утверждается, что преимущество стереофонических систем заключается в том, что они позволяют получать в помещении, где находится слушатель (во вторичном помещении), эффект такого же расположения кажущихся (виртуальных) источников звука, какое существует в помещении, откуда идет передача (первичном помещении). Таким образом, считается, что задача стереофонии сводится к получению чисто локализационных эффектов, к своеобразной звуковой локации — определению направления на кажущийся источник звука. Исходя из этого, исследователи долгое время уделяли внимание локализационным возможностям слуха и стереофонических систем.

Действительно, нашему слуху присущи весьма тонкие локализационные свойства. Минимальный порог узнавания углового смещения звукового образа тренированными наблюдателями составляет примерно 1°. Известны два фактора, влияющие на эти возможности; разность уровней звукового давления ΔN у левого и правого уха и разность времен прихода звука к левому и правому уху Δt (для синусоидальных колебаний — фазовый сдвиг) [20]. Обе причины аддитивно, т. е. суммируясь, влияют на формирование ощущения местоположения и перемещения звукового образа. Его можно оценить с помощью выражения $K_1\Delta N+K_2\Delta t$, где K_1 и K_2 — весовые коэффициенты. Существует эквивалентность между названной разностью уровней ΔN и значением задержки Δt. Значимость (вес) временны́х сдвигов особенно велика на частотах ниже 700 ... ... 800 Гц. Перепады уровней сказываются во всем диапазоне звуковых частот [20]. Для минимального порога узнавания угловой координаты звукового образа достаточен временно́й сдвиг 6 ... 12 мкс. Такая чувствительность к бина-

уральной задержке является уникальной особенностью мозга человека. Наибольшая задержка (примерно 0,7 мс) получается в случае, когда звуковая волна движется по линии, соединяющей оба уха. С момента, когда на расстоянии между ушными раковинами укладывается целая длина волны (этому соответствует частота 1,2 кГц), суждение о местоположении звукового образа, основанное на разности фаз, становится неоднозначным. На более высоких частотах локализационные эффекты обусловлены, главным образом, бинауральной разностью уровней, вызванной экранирующим и дифрагирующим действиями головы слушателя.

Если источник звука находится сзади слушателя, способность ощущать положение и перемещения источника звука в горизонтальной плоскости заметно ухудшается. Уменьшается число различимых направлений. Иногда слушатели вместо правильного положения источника ощущают источник спереди. Эти обстоятельства определяют сравнительно небольшой прирост качества звучания при переходе от двухканальных к четырехканальным (квадрофоническим) системам звуковоспроизведения.

В настоящее время пришли к выводу, что формирование ощущения «фронт — тыл», в отличие от формирования ощущения перемещения источника спереди от слушателя, происходит иначе, в результате анализа изменения спектрального состава сигнала, обусловленного фильтрующими свойствами головы и ушных раковин слушателя [20, 32, 34]. Этот механизм более инерционен.

Итак, слушание двумя ушами, т. е. бинауральный слух, не единственная причина способности определять направление на источник звука. Известно, что люди, у которых полностью поражен слуховой аппарат одного уха, сохраняют в некоторой степени способность различать направление прихода звука. В этом процессе играют роль уже упомянутые выше экранирующие и дифрагирующее свойства головы, а также несимметричная форма ушных раковин.

Локализационные свойства слуха в вертикальной плоскости отличаются от свойств слуха в горизонтальной плоскости, так как бинауральные различия звуков при перемещении источника в вертикальной плоскости отсутствуют, а сказываются изменения формы огибающей спектра при изменении направления прихода звуковой волны. В подтверждение этого объяснения обычно приводят результаты опытов [31, 32], в которых изменения ощущения направления прихода звука — спереди, сверху, сзади — при слушании с помощью головных телефонов достигали путем подъема составляющих спектра звука в некоторых определенных областях частот. По-видимому, это искусственное изменение огибающей спектра аналогично тому, которое возникает при изменении направления прихода.

В понятие локализации входит не только узнавание направления на источник, но и определение его отдаленности от слушателя, а также протяженности источника по ширине (по фронту) и в глубину. Ощущение протяженности источника по ширине определяется его угловыми размерами. Ощущение протяженности источника в глубину создается различными для разных источников причинами: расстоянием и, следовательно, запаздыванием звуков, соотношением уровней прямого (идущего от источника) звука и диффузионного звука, приходящего к ушам слушателя после многократных отражений от стен, потолка

и других препятствий, наконец, при больших расстояниях — ослаблением высокочастотных составляющих спектра ввиду поглощения звука в воздухе. Возможность «глубинной» локации приобретается человеком в процессе его развития, по мере накопления жизненного опыта. Изменение расстояния оценивается слушателем по изменениям уровня громкости, ощущения «гулкости» и потере высокочастотных составляющих.

Интересно отметить, что изменение амплитудно-частотной характеристики вещательного тракта также влияет на ощущение удаленности источника звука от слушателя. При неизменном исходном спектре подъем АЧХ в области 1 ... ... 4 кГц приводит к ощущению приближения источника звука к слушателю, наоборот, спад АЧХ в этой области вызывает ощущение удаления источника звука. На этом явлении основано действие так называемого «фильтра присутствия». Его включение в тракт сопровождается усилением ощущения нахождения источника звука в комнате слушателя [26].

На точность локализации влияют спектр источника звука и акустические свойства помещения. Реверберация, обусловленная множественными отражениями волн от преград, и дифракция волн ухудшают локализацию [15, 32]. В гулком помещении точно определить истинное положение и протяженность источника, издающего непрерывный тон, практически невозможно. Звук представляется «размытым». Точнее можно определить направление на источник шумового, «широкополосного» сигнала, особенно, если основная часть энергии его спектра приходится на область частот выше 500 Гц. Еще более точно локализуются, особенно на открытом воздухе или в заглушенном помещении, источники импульсных сигналов (щелчков).

Долгое время считалось, что временные и фазовые сдвиги эквивалентны по своему воздействию на слуховой аппарат. Действительно, одинаковые фазовые сдвиги можно получить с помощью и линии задержки, и фазовращателя. Однако впоследствии было обнаружено, что линия задержки четко сдвигает звуковой образ в сторону источника, начинающего звучать первым, а фазовращатель смещает звуковой образ менее четко и как бы «размывает», увеличивает его, а границы делает менее четкими. Выяснилось также, что слух человека наиболее чувствителен к бинауральным фазовым сдвигам на нижних частотах. На частотах выше 1,2 кГц фазовые сдвиги узкополосных сигналов вообще не замечаются [20, 32]. Было обнаружено также, что примерно четвертая часть людей не замечает бинауральных фазовых сдвигов, достигающих даже 90°, хотя хорошо различает бинауральные временные сдвиги между сигналами типа щелчков. Эти обстоятельства следует учитывать при профессиональном отборе звукорежиссера, звукооператоров и других работников звукового вещания.

Развитие стереофонии привело к постановке новых психофизиологических вопросов. Наибольшее внимание специалистов привлекают явления, которые условно можно назвать словами «сверхбаза» и «звук внутри головы». Первое заключается в том, что крайние положения кажущихся источников звука могут находиться на расстоянии, превышающем расстояние между громкоговорителями. Это явление объясняется совместным воздействием амплитудных и фазовых различий сигналов. Оно с успехом используется в малогабаритных стереофонических устройствах для увеличения кажущейся базы. Второе известно

каждому: достаточно прикрыть уши ладонями и произнести несколько звуков, чтобы ощутить «звук внутри головы». С этим явлением вплотную столкнулись при слушании стереофонических передач с помощью головных телефонов. Источники, размещенные посередине звуковой картины, кажутся находящимися внутри головы. Несколько гипотез, объясняющих отдельные стороны этого явления [32, 34], пока не признаны достоверными. Несмотря на это, предложены технические решения, уменьшающие или вовсе устраняющие этот неприятный эффект. Одно из наиболее простых сводится к изменению с помощью специальных устройств амплитуд и фаз спектральных составляющих сигналов.

Опыт показывает, что несколько пар людей могут разговаривать между собой, находясь рядом, т. е. в условиях, когда отношение сигнал-помеха близко к единице. Когда определится собеседник, каждый из пары разговаривающих выделяет из общего звучания интересующий его голос и понимает говорящего, даже если он обращен лицом в сторону от слушающего. При этом понятность речи заметно уменьшается, если слушатель прикроет ладонью одно ухо. Очевидно, существует способность «отстраиваться» от помех, основанная на бинауральном слухе, причем она проявляется даже в том случае, когда спектры сигнала и помехи лежат в одной области частот, а отношение сигнал-помеха близко к единице. Объяснить это явление исходя из частотной модели слуха невозможно. Между тем понять его необходимо, чтобы объяснить лучшую различаемость составляющих сигнала в стереофонических системах по сравнению с монофоническими.

При построении модели слуха приходится учитывать, что отделить, отфильтровать друг от друга одновременно протекающие процессы невозможно, если их структуры заранее неизвестны. Остается предположить, что наблюдаемое при восприятии звуков различение сигналов на фоне помех (или на фоне других сигналов) происходит по законам корреляционного анализа. Известно, что для их реализации должны быть заранее известны функции сигнала и помехи или их спектры.

Итак, некоторые явления слуха могут быть объяснены лишь в том случае, если предположить, что слуховое восприятие основано не только на резонансных (частотных), но и на корреляционных процессах в органах слуха. Операции, которые выполняет наш слух при анализе звуков, подобны функциональному преобразованию сигнала в его автокорреляционную функцию. «Линией задержки», участвующей в операции автокорреляции, по-видимому, служит основная мембрана уха, состоящая из нескольких тысяч волокон-отводов, от которых начинаются волосковые клетки с нервными волокнами, передающими возбуждение коре головного мозга [1, 20]. Установлено, что между клетками имеются прямые связи, служащие для получения корреляционных соотношений.

В основе явления локализации лежит слияние слуховых образов, возникающих при нервных возбуждениях, идущих от левого и правого уха. Анализ и сопоставление двух сигналов (корреляция) приводит к соответствующим психоакустическим реакциям. Характерно, что локализация возникает и в том случае, когда речь или музыка передаются по одному тракту без искажений, а по другому — с искажениями. Эта способность сохраняется до тех пор, пока оба сигнала остаются в некоторой степени когерентными. Следовательно, зада-

ча локализации сводится к известным корреляционным способам обнаружения и приема сигналов при наличии помех или искажений.

Слияние слуховых образов принципиально недостижимо, если когерентность между ними отсутствует. В случае полного отсутствия когерентности, например при наличии двух независимых источников шума, звук не локализуется. Если сигналы одинаковы, образ представляется находящимся посередине базы.

1.2. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И ЕГО СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Задача, поставленная перед домашними стереофоническими устройствами, формулируется обычно таким образом: слушатель, находясь в домашней обстановке, в комнате квартиры, должен получить более полное, чем при монофонии, впечатление о звуковой картине, создающейся в студии, концертном или театральном зале. При этом важно, чтобы впечатление от звучания было близко к тому, которое ожидает слушатель на основе опыта, сложившегося у него от посещения концертных залов, театров и т. д. Звучание должно удовлетворять определенному эстетическому условию, «слуховому ожиданию».

Иногда задачи стереофонии формулируют иным образом. Так, выдвигается задача полного восстановления в комнате слушателя исходного звукового поля, которое существует в зале. Задача эта даже в теоретическом плане неразрешима из-за резкого различия размеров и акустических свойств первичного и вторичного помещений. Даже приближение к ее решению достигалось бы слишком сложными техническими средствами.

В некоторых литературных источниках, особенно популярных, утверждается, что главная задача стереофонии — предоставить слушателю возможность определять направление на источник звука, заниматься своеобразной звуковой локацией. Действительно, при стереофоническом воспроизведении можно определить направление на звучащий источник. Но это — не реальный, не истинный источник, а лишь его отображение, кажущийся источник звука (КИЗ). Его положение не совпадает с положением звучащего источника в первичном помещении. А главное, локализационные эффекты не могут быть самоцелью. Вряд ли слушателю доставит эстетическое удовольствие сознание того, что звуки виолончели или деревянных духовых исходят из центра звуковой картины, а звучание контрабасов доносится справа. Слушатель воспринимает звучание в целом.

Композиторы и исполнители прибегают к локализационным эффектам как к художественному, выразительному средству в очень редких случаях. Так, в опере Дж. Россини «Вильгельм Телль» звучание валторн слева и справа за сценой имитирует перекличку рогов во время охоты. В. Моцарт в партитуре оперы «Идоменей» помечает: «звуки тромбонов и валторн должны исходить из-под сцены». В сюжетном развитии этой оперы большую роль играет эпизод, когда из морской пучины раздается глас чудовища, возвещающего Идоменею волю богов. Зловеще-грозный аккомпанемент двух тромбонов и двух валторн, как бы исходящий из преисподней, создает необычайно сильный эффект. Но приведенные примеры — исключение, а не правило.

Наконец, можно встретить суждение, что задачей стереофонии является полное повторение ощущений, которые испытывает слушатель, находясь в зале. Эта задача, хотя и очень привлекательная, невыполнима. Ощущения человека, находящегося в концертном зале, театре, складываются в результате взаимодействия различных органов чувств. Здесь и слуховые ощущения, и впечатление от архитектуры и убранства зала, и сознание сиюминутности, сопричастности к тому, что происходит на эстраде или сцене, и настроение, создаваемое безмолвным общением с соседями по залу, своеобразное взаимодействие эмоций, усиливающее и обогащающее восприятие. От этого многообразия составляющих при передаче по каналам звукового вещания остается чисто акустическая информация, воспроизводимая громкоговорителями.

Правда, при передаче легкой, эстрадной, особенно «электронной» музыки, драматических постановок (радиоспектаклей) дело обстоит несколько иначе. Здесь удается значительно усилить впечатление по сравнению с исходным звучанием. «Слуховое ожидание» как истинная реальность в этих случаях слушателю практически неизвестно, и звуковая картина создается во вторичном помещении звукорежиссером совместно с руководителем музыкального или драматического ансамбля с помощью чисто технических средств. В этих случаях с помощью стереофонии получают подчас совершенно новые акустические эффекты, создают более сильные впечатления, не имеющие аналогий в мире естественных звуков.

Формирование слуховых ощущений в настоящее время представляют в виде двух ступеней: анализа совокупности ощущений, возникающих при слушании вещательной программы, выделения из них наиболее существенных и синтеза выделенных ощущений в единый звуковой образ [20, 31]. Эти процессы представляют обобщенной моделью рис. 1.1. Существование ступени анализа подтверждается способностью слушателя выделять из множества свойств предъявляемого звучания различные его признаки — объемность, прозрачность, протяженность звуковой панорамы по ширине и в глубину и т. д. — и оценивать эти признаки, отбрасывая остальные.

Общая реакция слушателя формируется под воздействием некоторых объективных и субъективных причин: параметров аппаратуры, технического каче-

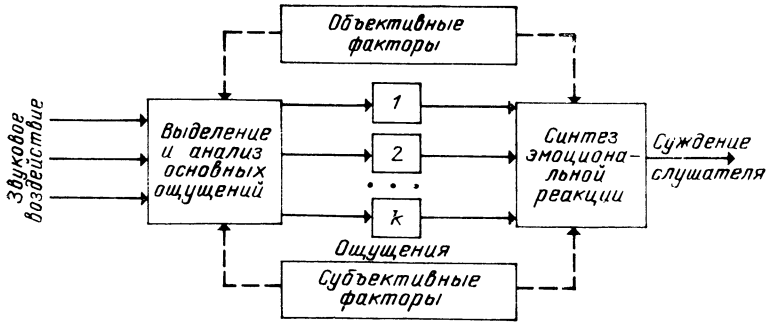


Рис. 1.1. Схема формирования эмоциональной реакции слушателя на звуковое воздействие

ства звукового материала, эстетического (музыкального) вкуса и подготовленности слушателя, влияния господствующей в данное время моды, обстановки, в которой происходит слушание, эмоционального состояния слушателя и многого другого.

Каждому виду звукопередачи (монофоническому, стереофоническому) присуще множество признаков ощущений при вполне определенном значении каждого из них. Но несовершенство параметров качества систем передачи приводит к изменению ощущений и количественных связей между ними. Это затрудняет оценку потенциальных возможностей систем, и при субъективном сравнении систем необходимо, чтобы искажения, вносимые ими, лежали ниже порога заметности.

Основными признаками стереофонического звучания, отличающими его от монофонического, в настоящее время считаются: бóльшая прозрачность звучания; лучшее пространственное впечатление; правильность передачи тембров инструментов; лучшая передача «акустической атмосферы» первичного помещения; чистота звучания.

Под *прозрачностью* (ясностью, четкостью, разделимостью) звучания понимают возможность ясно различить партию того или иного инструмента, голоса солиста в общем звучании ансамбля. Чтобы лучше представить себе это понятие, достаточно вспомнить, как ясно различаются голоса солистов в оперных дуэтах, трио, квартетах при непосредственном слушании и как невыразительно, слитно, неразличимо звучат эти же ансамбли при монофоническом воспроизведении. Стереофония возвращает этим звучаниям первоначальную ясность. Прозрачность звучания, благодаря бинауральным свойствам слуха, проявляется даже в случаях, когда формируемые звуковые образы близки по тембру, ритмическому рисунку, динамике звучания.

Под *пространственным впечатлением* понимают разнесенность отдельных составляющих стереофонической звуковой картины по фронту, т. е. вдоль линии, соединяющей громкоговорители, и в глубину от нее. При этом расположение отдельных источников звука, музыкальных инструментов может быть четко локализовано. Возможность воздействовать на слушателя изменением направления прихода звука может в отдельных случаях явиться художественным средством, подчеркнуть конфликтность различных музыкальных тем, их противопоставление или, наоборот, объединение. Этот фактор усиления эмоционального воздействия звучания невозможен в монофонической системе, где все составляющие ансамблевого звучания исходят из одной точки — одного громкоговорителя.

Правильность передачи тембров инструментов, их естественность и богатство определяются не только самими тембральными свойствами музыкальных инструментов и голосов, но и интерференционными процессами в помещении. В общем случае частотные зависимости звукового давления возле левого и правого уха неодинаковы, так как положения пространственных максимумов и минимумов звукового давления не совпадают. Так, если какая-либо частотная составляющая сложного сигнала у одного уха оказывается ослабленной, то у другого уха эта составляющая будет иметь иной, больший уровень, и тембральные искажения уменьшатся. Это положение имеет место не только при непо-

средственном слушании в первичном помещении, но и при прослушивании звучания через громкоговорители стереофонической системы во вторичном помещении. Напротив, при монофоническом воспроизведении интерференционные искажения сигналов, возникшие в первичном помещении, будут воздействовать на правое и левое ухо одинаково. По этой причине подавляются одинаковые составляющие спектра и тембр искажается в большей степени. Итак, относительная независимость звуков, воспринимаемых левым и правым ухом при непосредственном прослушивании в первичном помещении или через стереофоническую систему во вторичном помещении способствуют уменьшению тембральных интерференционных искажений.

Лучшая передача «акустической атмосферы», акустики помещения, его размеров также объясняется наличием нескольких каналов передачи. Специалисты, говоря об «акустической атмосфере» первичного помещения, имеют в виду не только его большую или меньшую «гулкость», но и свойственную ему окраску звучания — теплоту, мягкость, светлость, звонкость. Важность передачи акустической атмосферы первичного помещения особенно велика в тех случаях, когда локализованные, пространственные ощущения уходят на второй план. Слушатели, находящиеся в концертном зале, особенно в средних и дальних рядах, не могут получить полного представления о размещении источников звука по фронту, так как звучащий ансамбль воспринимается ими под сравнительно небольшим углом. Традиционное разделение первичной звуковой информации на «левую» и «правую» в этих условиях теряет смысл. При преобладании диффузного поля с нелокализуемыми источниками на передний план выдвигается понятие акустической обстановки. Справедливость этого подтверждается сравнением двух стереофонических двухканальных систем с традиционным, фронтальным расположением громкоговорителей и расположением одного из них спереди, а второго сзади от слушателя. При воспроизведении симфонической музыки слушатели отдали предпочтение второй системе, поскольку с ее помощью акустическая обстановка первичного помещения воспроизводилась более правильно и полно. Но при принятой в двухканальной стереофонической системе расстановке громкоговорителей этот полезный результат реализовать в полной мере невозможно. Его можно получить лишь в системах с одним или двумя задними громкоговорителями.

Чистота звучания определяется величиной частотных и нелинейных искажений и уровнем помех. Перечисленные выше положительные качества стереофонического воспроизведения настолько велики, что слушатели в меньшей степени, чем при монофонии, реагируют на различные искажения и помехи, предпочитая стереофоническое звучание при ограниченной по сравнению с монофонией ширине полосы частот и довольно значительном, до 20%, коэффициенте гармоник, хотя такие нелинейные искажения уверенно заметны. Порог заметности помех при стереофоническом приеме составляет примерно —60 дБ, однако даже при отношении сигнал-помеха 35 ... 40 дБ стереофония все еще предпочитается монофонии.

Роль перечисленных составляющих стереофонического восприятия в различных жанрах вещательных передач не одинакова. Так, локализационные ощущения при музыкальных передачах сами по себе имеют второстепенное значение;

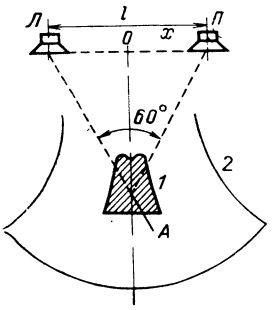


Рис. 1.2. Области полного (*1*) и частичного (*2*) стереоэффекта (*А* — наивыгоднейшее положение слушателя в вершине равностороннего треугольника со стороной *l*)

наоборот, при постановочных передачах (радиоспектаклях) они служат важным выразительным средством, заменяя в известной степени зрительные ощущения.

Значение этих составляющих оценивается поразному и различными группами слушателей. Квалифицированные слушатели, например звукорежиссеры, музыканты, при оценке стереофонического звучания большее внимание уделяют пространственным впечатлениям, акустической обстановке, «объемности» звучания, правильности передачи и богатству тембров инструментов и голосов, балансу громкостей отдельных групп ансамбля, т. е. эстетической оценке звучания. Рядовые слушатели, в первую очередь, обращают внимание на локализационные ощущения, на широту звуковой картины и гораздо меньше — на прозрачность и чистоту звучания.

Перечисленный выше комплекс ощущений, свойственный стереофонии, является результатом воздействия на слушателя всего двух сигналов. Эти сигналы представляют собой совокупности большого числа пар сигналов. формирующихся в стереофонических микрофонах или формируемых искусственным путем в пульте звукорежиссера при звучании отдельных музыкальных инструментов или голосов исполнителей. Каждая пара сигналов, создаваемая одним источником, различается уровнями и временем поступления в микрофон и обладает довольно большой корреляционной связью (коэффициент корреляции более 0,25). В помещении слушателя эти различия определяют положение кажущегося источника звука (КИЗ) на линии (базе), соединяющей два громкоговорителя. Общие сигналы левого и правого каналов и их реверберационные продолжения, как правило, мало коррелированы.

Итак, в основе восприятия всех ощущений, отличающих стереофонию от монофонии, лежат закономерности пространственного слуха и, прежде всего, явления локализации кажущихся источников звука и демаскировки пространственно разнесенных звуковых образов. Стереофония предпочитается слушателями перед монофонией лишь тогда, когда существует пространственная звуковая картина, в которой ощущается, по крайней мере, несколько составных частей, несколько КИЗ. Если число источников сводится к одному, стереофония теряет преимущество перед монофонией.

Предпочтительность стереофонического звучания перед монофоническим существенно зависит от положения слушателя относительно громкоговорителей (рис. 1.2). Зона полного стереоэффекта обозначена штриховкой *1*, зона частичного стереоэффекта ограничена линией *2*.

1.3. СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ И ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

Стереофоническая вещательная система должна обеспечить передачу и воспроизведение ряда признаков, свойственных стереофонии: прозрачность (разделимость) звучания, пространственное впечатление, правильность (естественность) передачи тембров музыкальных инструментов и голосов, баланс (музыкальное равновесие) звучностей различных оркестровых групп инструментов и певческих голосов, «акустическую атмосферу» первичного помещения. Как уже указывалось ранее, задача воссоздания во вторичном помещении акустического поля первичного помещения даже при превосходных параметрах качества электрических каналов передачи представляется неосуществимой. Передачу стереофонических вещательных сигналов следует рассматривать как процесс активной, творческой переработки множества первичных акустических сигналов, соответствующих звучанию отдельных музыкальных инструментов и голосов с целью создания во вторичном помещении звукового (акустического) поля, не похожего на исходное (первичное), но позволяющего обеспечить полноценное восприятие художественной (эстетической) и смысловой (семантической) информации в том виде, как это задумали звукорежиссер, руководитель ансамбля и исполнители. В аппаратуре формирования сигналов должны быть предусмотрены широкие возможности воздействия на электрические сигналы. Это необходимо для решения задач, поставленных творческими работниками, в частности, для получения различных эффектов.

При формировании и передаче акустической информации по электрическим каналам, как правило, прибегают к различным преобразованиям сигналов. Эти преобразования чаще всего проводят в два этапа.

На первом этапе (первичной записи) заготавливают фонограммы некоторого числа сигналов, принятых микрофонами. Иногда уже на этом этапе производят некоторые преобразования сигналов при приеме звука микрофонами. Только ненаправленный микрофон достаточно точно отображает изменения звукового давления в точке расположения микрофона. Направленный микрофон поступающую звуковую информацию принимает избирательно. Избирательность обнаруживается тем заметнее, чем у́же диаграмма направленности, разнообразнее состав ансамбля, обширнее область первичного помещения, в которой он размещен. В электрических трактах регулируют уровни сигналов с целью уменьшения динамического диапазона, изменяют АЧХ для исправления тембра исходных акустических сигналов, возникающих в результате акустических недостатков первичного помещения, или для создания новых необычных тембров, а также вводят временны́е сдвиги. Полученные сигналы записывают на ленту многодорожечного магнитофона.

На втором этапе (в процессе перезаписи) сигналы подвергают дальнейшим преобразованиям; устанавливают соотношение уровней сигналов, определяющее баланс громкостей оркестровых групп и голосов солистов, регулируют динамический диапазон и тембры, создают различие уровней и временные сдвиги между сигналами Л и П, чтобы скомпоновать задуманную звуковую панораму. Часть преобразований обусловлена соображением технического характера — не-

обходимостью приспособить параметры (свойства) сигналов к свойствам, возможностям электрических каналов передачи и к условиям домашнего слушания. На этом этапе сигналы подвергают тождественным и нетождественным преобразованиям. К тождественным относятся изменение уровня и смещение сигналов во времени. При этом их форма остается неизменной. К нетождественным относятся сжатие и (реже) расширение динамического диапазона, изменение спектрального и временно́го состава: регулирование спектра с целью исправления амплитудно-частотных искажений или, наоборот, сознательного изменения тембра, ограничение полосы частот, изменение импульсной характеристики для регулирования эффекта реверберации. Перечисленные преобразования производят над отдельными сигналами или группами сигналов. Конечной целью второго этапа является получение одного или нескольких (два, четыре и более) сигналов в соответствии с числом каналов передачи.

Преобразование сигналов из электрических в акустические, производимое в помещении слушателя, также нельзя считать однозначным. Воспринимаемый слушателем акустический сигнал зависит от АЧХ громкоговорителя и хода процесса реверберации (при приеме на головные телефоны — только от их АЧХ).

При формировании стереофонических сигналов приходится учитывать специфическое условие, называемое совместимостью с монофонией. Это — возможность воспроизведения стереофонических сигналов монофоническими устройствами с достаточно удовлетворительным качеством. Различают художественную (эстетическую) и техническую совместимость. Под художественной совместимостью понимают возможность слушать стереофоническую передачу с помощью монофонических устройств с достаточно удовлетворительным звучанием — без заметного нарушения баланса громкостей оркестровых групп и заметных изменений тембра. Художественной совместимости достигают особыми приемами звукорежиссерской работы. Техническая совместимость сводится к такому расположению микрофонов и такому сложению электрических сигналов от них, при которых вероятность появления противофазных сигналов от источников, звуки которых воспринимаются двумя или несколькими микрофонами, была бы мала, и к особому построению трактов вторичного распределения, чтобы монофонические приемные устройства воспринимали бы сумму электрических сигналов левого и правого каналов. Чаще всего техническую совместимость обеспечивают суммарно-разностным преобразованием исходных сигналов Л и П. Монофонические приемные устройства получают суммарный сигнал, а стереофонические — сумму и разность, преобразуемую затем в сигналы Л и П. Требование совместимости усложняет процесс формирования сигналов и систему стереофонического вещания, но оно необходимо для удовлетворения интересов владельцев монофонических устройств.

Обобщенную структуру каналов систем стереофонического вещания изображают схемой рис. 1.3 [20, 31]. На входе каналов находятся микрофоны, магнитофоны и иные источники электрических сигналов F_1, $F_2 \ldots$, F_Q, на выходе — громкоговорители (или головые телефоны), к которым подводятся сигналы f_1. $f_2, \ldots, f_н$. Промежуточными звеньями являются усилители, различные регуляторы, устройства коммутации, модуляции и демодуляции высокочастотных колебаний, линии передачи.

Символом T обозначена совокупность устройств, с помощью которых из Q первичных сигналов образуют N канальных сигналов $\varphi_1, \varphi_2, \ldots, \varphi_N$. Совокупность T заключает в себе смесительные и коммутационные устройства, регуляторы уровня и тембра, особые стереофонические регуляторы, многоканальный магнитофон, на котором записывается Q-дорожечная фонограмма. Символом R обозначена совокупность устройств, с помощью которых N канальных сигналов преобразуются в H воспроизводимых. В общем случае Q, N и H не равны: Q достигает 20 ... 30, N составляет 1, 2, 4, значительно реже — больше, H обычно 1, 2, 4. На основе обобщенной структуры была предложена следующая классификация систем вещания:

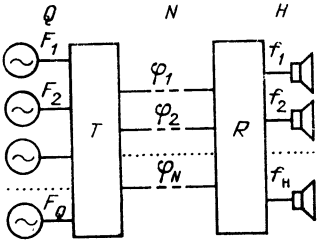


Рис. 1.3. Обобщенная схема системы электрической передачи звука

Тип системы	*N*	*H*
Монофоническая	1	1
Квазистереофоническая	1	$\geqslant 2$
Стереофоническая двухканальная	2	2
Стереофоническая четырехканальная (квадрофоническая)	4	4
Квазиквадрофоническая (матричная)	2	4

Наибольшее распространение получили двухканальные системы. Для воспроизведения, как правило, используются две акустические системы АС, каждая из которых представляет собой две и более громкоговорящие головки, заключенные в общий ящик (футляр). Иногда используют бифоническую систему. В ней исходные сигналы формируют с помощью двух микрофонов «искусственной головы», а прием производят с помощью двух головных телефонов. Звучание бифонической системы предпочитается обычному стереофоническому. С ее помощью уши слушателя как бы переносятся в концертный зал. Исключается влияние неудачной акустики вторичного помещения и перекрестное попадание сигналов правого канала в левое ухо и наоборот, свойственное громкоговорящим системам. Стереофонический приемник снабжают маломощным радиопередатчиком дециметрового диапазона или инфракрасным излучателем, а в головные телефоны вводят миниатюрный радиоприемник или приемник инфракрасного излучения, поэтому слушатель не «привязан» к одному месту комнаты.

1.4. ИСКАЖЕНИЯ В КАНАЛАХ И ТРАКТАХ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ВЕЩАНИЯ. НОРМЫ НА ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА

Чтобы качество воспроизведения звука у слушателей было достаточно хорошим, параметры каналов звукового вещания и его отдельных трактов должны удовлетворять требованиям Государственного стандарта ГОСТ 11515—90. Параметры качества каналов и трактов звукового вещания нормируются путем субъективно-статистических экспертиз. Слушателям-экспертам предъявляются неискаженные и искаженные отрывки произведений разных жанров. Эксперты должны ответить на вопрос: заметны или не заметны эти искажения? Результаты экспертиз подвергаются статистической обработке, и дается оценка заметности по следующим градациям [31]:

совершенно незаметно — искажения заметны менее чем в 15% случаев;

практически незаметно — искажения заметны менее чем в 30% случаев;

неуверенно заметно — искажения заметны в 50% случаев;

уверенно заметно — искажения заметны в 75% случаев.

В зависимости от заметности искажений и технико-экономических показателей нормируются три класса качества звучания:

высший — искажения совершенно не замечаются обычными слушателями и практически не замечаются квалифицированными экспертами (звукорежиссерами, музыкантами);

первый — искажения практически не замечаются обычными слушателями и неуверенно замечаются квалифицированными экспертами;

второй — искажения неуверенно замечаются обычными слушателями и уверенно замечаются квалифицированными экспертами.

Для каждого класса установлены допустимые искажения. Регламентируются следующие параметры качества:

полоса передаваемых частот;

неравномерность АЧХ в пределах этой полосы;

коэффициент гармоник;

защищенность от взвешенного (псофометрического) шума;

защищенность от внятной переходной помехи;

отклонения выходного уровня от номинального значения.

Применительно к стереофоническим каналам и трактам дополнительно регламентируются:

допустимое различие коэффициентов передачи каналов Л и П;

допустимая разность фаз между каналами Л и П;

допустимое различие АЧХ каналов Л и П;

допустимое переходное затухание между каналами Л и П.

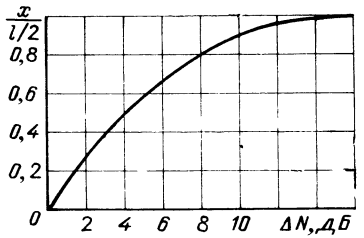


Рис. 1.4. Зависимость относительного смещения $x/(l/2)$ кажущегося источника звука от разности уровней ΔN при симметричном положении слушателя относительно громкоговорителей

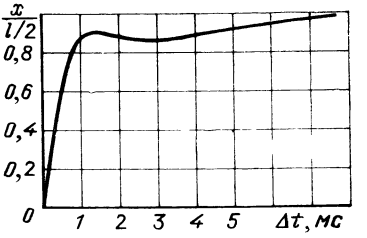


Рис. 1.5. Зависимость относительного смещения $x/(l/2)$ кажущегося источника звука от разности времен прихода Δt к громкоговорителям стереосигналов с примерно однородным спектром

Различия коэффициентов передачи ΔK и фаз $\Delta\varphi$ между каналами приводят к смещению кажущихся источников звука (рис. 1.4 и 1.5). Смещение x пронормировано по отношению к половине ширины базы $l/2$. Фазовые сдвиги на рис. 1.5 пересчитаны в соответствующие им временны́е задержки Δt: $\Delta t=\varphi/\omega$. Различие коэффициентов передачи каналов приводит к смещению КИЗ от первоначального положения в сторону громкоговорителя, излучающего сигнал более высокого уровня. При $\Delta K=12\ldots16$ дБ КИЗ совпадает практически с громкоговорителем. Дальнейшее увеличение ΔK перемещения КИЗ не вызывает. При появлении временно́го сдвига КИЗ смещается в сторону громкоговорителя, излучающего опережающий сигнал. Максимальное смещение КИЗ получается при $\Delta t=1$ мс. Характер смещения носит достаточно закономерный характер лишь при сравнительно однородном спектре. Если в спектре сигнала имеются энергетические пики, зависимость $x/l/2$ на участке $\Delta t=0{,}5\ldots5$ мс и более носит индивидуальный характер. При монотонном росте Δt наблюдается неоднократное возвращение КИЗ к центру базы. Увеличение временно́й задержки сопровождается уменьшением корреляции между сигналами Л и П, что ухудшает точность локализации. Протяженность КИЗ по фронту увеличивается, звучание приобретает гулкость. Зависимость фазового сдвига от частоты приводит к изменению протяженности КИЗ и ухудшению прозрачности звучания.

Исходя из заметности названных искажений, пришли к выводу, что различия коэффициентов передачи каналов в области частот от 0,3 до 5 кГц, где, как правило, сосредоточена наибольшая часть энергии музыкальных инструментов и голосов, не должны превышать 1,5 ... 2 дБ. На частотах ниже 0,3 кГц и выше 5 кГц — требования менее жесткие. Фазовые сдвиги в области частот 0,2 ... 4 кГц должны быть не более 45°. К крайним частотам диапазона 0,03 и 15 кГц допустимо их увеличение до 90° [20, 31].

Переходное затухание $a_п$ в области частот 0,3 ... 8 кГц должно быть не менее 30 дБ. Уменьшение $a_п$ приводит к сужению стереопанорамы. Если в названной области частот $a_п = 20$ дБ, сужение стереопанорамы замечают даже обычные слушатели. При $a_п = 0$ панорама сжимается в точку, передача становится монофонической. За пределами названной области допустим спад $a_п$ с крутизной примерно 6 дБ/окт. На частотах ниже 150 Гц величина $a_п$ не имеет значения, так как составляющие спектра в этой области частот не участвуют в формировании КИЗ. В области 8 ... 10 кГц необходимая величина $a_п$ должна быть не менее 20 дБ. На частотах более 10 кГц, где энергия музыкальных инструментов мала, допустимо существенное уменьшение переходного затухания.

Следует коснуться неспецифических параметров качества стереофонических систем. Желаемая полоса частот должна составлять 0,03 ... 15 кГц, предельно необходимая — 0,02 ... 20 кГц. Повышение верхней границы с 15 до 20 кГц отчетливо замечается только молодыми слушателями. С возрастом верхняя граница существенно снижается. Так, у 50% людей в возрасте старше 50 лет верхняя граница слышимого диапазона частот составляет примерно 10 ... 12 кГц, поэтому уменьшение верхней границы до этих частот сравнительно мало сказывается на восприятии и мало снижает стереофонический эффект. Уровень интегральной помехи должен быть не выше —60 дБ. Коэффициент гармоник в области частот 0,125 ... 5 кГц не должен превышать нескольких десятых долей процента. На более низких и более высоких частотах он может достигать 2%.

2. Способы формирования стереофонических сигналов

2.1. СИСТЕМА АВ

Наиболее известны следующие системы формирования стереофонических сигналов: АВ, ХУ, MS, полимикрофонная, бифоническая, смешанная АВ и ХУ, с двукратным преобразованием информации и др. Первой системой, получившей практическое применение в процессе развития стереофонии, стала система АВ.

Структурная схема звукопередачи по системе АВ показана на рис. 2.1. При этом имеются два микрофона: левый $М_Л$ и правый $М_П$, расставленные по фронту перед исполнителями, например перед оркестром. Звуковые волны, исходящие от одних и тех же инструментов, воздействуют на микрофоны с различными фазами и интенсивностью, в зависимости от того, на каком расстоянии от источника расположен данный микрофон, поэтому система АВ

называется *фазово-интенсивностной.* Например, скрипки располагаются в оркестре слева (на рис. 2.1 — источник И1), контрабасы — справа (источник И3). Тогда микрофон $М_л$ воспринимает звуки скрипок с опережением по времени и с бо́льшим уровнем, по сравнению с микрофоном $М_п$. Микрофон $М_п$, наоборот, раньше и с бо́льшим уровнем воспринимает звучание контрабасов.

Тот источник звука И2, например солист, который расположен посередине между микрофонами и на одинаковом от них расстоянии, т. е. на акустической оси системы АВ, воздействует на оба микрофона одновременно и с одинаковой интенсивностью. Следовательно, он вызывает на выходах обоих микрофонов синфазные и одинаковые по уровню сигналы.

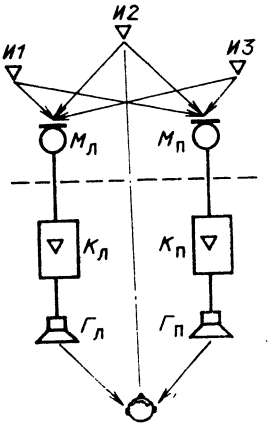


Рис. 2.1. Стереофоническая система АВ

При системе АВ сигналы от левого и правого микрофонов передаются раздельно по двум каналам звукопередачи $К_л$ и $К_п$ и затем воспроизводятся двумя громкоговорителями $Г_л$ и $Г_п$ соответственно.

Слушатель, расположенный на акустической оси, т. е. на одинаковом расстоянии от громкоговорителей, как это показано на рис. 2.1, ощущает звуки скрипок исходящими из левого громкоговорителя, звуки контрабасов — из правого громкоговорителя, а исполнение солиста — исходящим из центра. Таким образом, слушатель воспринимает звучание стереофоническим.

При использовании системы АВ следует учитывать следующее. Во-первых, при слишком большом расстоянии между микрофонами у слушателя может возникнуть впечатление «разрыва» образа, скачка звука от одного громкоговорителя к другому, «провала центра», отсутствия непрерывности звуковой картины по азимуту, невозможности различать в этой картине отдельные источники звука. Чем больше расстояние между микрофонами, тем меньшим оказывается угол восприятия стереофонической картины. Во-вторых, при чрезмерно близком расположении источников звуков к линии микрофонов может возникнуть такой же нежелательный эффект, причем еще в большей степени. В-третьих, чем меньше расстояние между микрофонами, тем более правильной получается звукопередача источников, расположенных под различными углами к оси симметрии микрофонов. Однако слишком сближать микрофоны тоже нельзя. Минимальное расстояние ограничивается необходимостью приема каждым из микрофонов различной инфор-

мации. При помещении обоих микрофонов в одну точку пространства они в системе АВ воспринимают одинаковую информацию, и стереоэффект исчезает.

2.2. СИСТЕМА XY

В этой системе локализация источников звука обеспечивается только различием интенсивности звука, воспринимаемой обоими микрофонами, поэтому система называется интенсивностной. Фазовые сдвиги между сигналами микрофонов $М_Л$ и $М_П$ отсутствуют.

Схема стереофонической звукопередачи по системе ХУ приведена на рис. 2.2. Два микрофона направленного действия (в данном случае — двусторонненаправленные) объединяются в единой конструкции так, чтобы их диафрагмы находились по возможности ближе друг к другу, например рядом или на одной вертикали друг над другом. Оси максимальной чувствительности микрофонов располагаются по двум ортогональным направлениям таким образом, что образуют равные углы с плоскостью симметрии, делящей звуковое поле пополам (чаще всего 45°).

С учетом характеристик направленности микрофонов источник звука И1 будет восприниматься только микрофоном $М_Л$, источник звука И3 — только микрофоном $М_П$, имеющими в этих направлениях максимальную чувствительность. Источник звука И2, находящийся в центре звукового поля, в одинаковой степени воспринимается микрофонами $М_Л$ и $М_П$ и при воспроизведении будет слышен звучащим из центра. Источники звука, расположенные между источниками И1 и И2, будут создавать бо́льший по уровню сигнал на микрофоне $М_Л$ и при прослушивании будут восприниматься слева от центра. Источники звука, расположенные между источниками И2 и И3, будут слышны при воспроизведении справа.

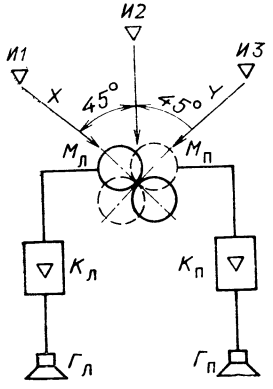


Рис. 2.2. Стереофоническая система ХУ

В системе ХУ можно применять микрофоны не только с косинусоидальной характеристикой направленности (двусторонненаправленные), но и с другими характеристиками (рис. 2.3).

Система с кардиоидными характеристиками микрофонов (рис. 2.3,*а*) дает несколько худшую локализацию источника звука и меньшую акустическую ширину звукового поля, чем при косинусоидальных характеристиках направленности. Разделимость сигналов левого и правого каналов также хуже, так как под углом 90° уровень чувствительности кардиоидного микрофона

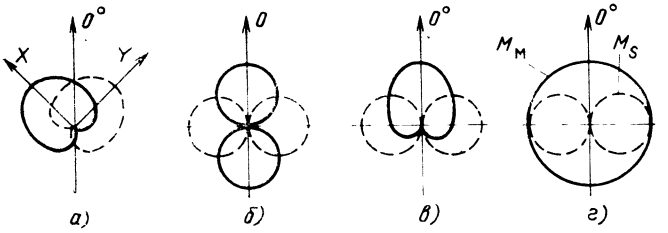


Рис. 2.3. Возможные комбинации диаграмм направленности микрофонов в системе ХУ

только на 6 дБ меньше, чем под углом 0°, т. е. по акустической оси.

В этой системе акустические оси (направления максимальной чувствительности) микрофонов $М_Л$ и $М_П$ могут располагаться не только под углом 90°, но под другими углами, например 70°, 120°. При этом соответственно будет получаться лучшая или худшая локализация, большая или меньшая акустическая база.

В системах ХУ с характеристиками направленности микрофонов, изображенными на рис. 2.3,*б*—*г*, один из микрофонов, ориентированный на центр, имеет характеристику направленности в виде косинусоиды (*б*), кардиоиды (*в*) или круга (*г*). Второй микрофон, ориентированный осью вдоль фронта звучащего ансамбля, т. е. воспринимающий звуки от краев ансамбля, во всех случаях имеет косинусоидальную характеристику направленности. Для получения стереофонической информации о левой и правой сторонах звукового поля во всех трех последних случаях необходимо выходные напряжения обоих микрофонов подвергнуть суммарно-разностному преобразованию.

2.3. СИСТЕМА MS

Эта система является фактически одной из разновидностей системы ХУ, например, когда один из микрофонов $М_М$ имеет круговую характеристику направленности, а второй микрофон $М_S$ — косинусоидальную характеристику, как это показано выше на рис. 2.3,*г*.

В системе MS стереофонический сигнал делится на «сигнал звука» , или сигнал М (от немецкого слова Mittel — середина) и на «сигнал направления», или сигнал S (от немецкого слова Seite — сторона). Сигнал М представляет собой обычную суммарную монофоническую информацию, т. е. сумму левого и правого сигналов. Сигнал S содержит информацию о звуковом поле слева и справа от микрофона, т. е. информацию о расположении источников звука вдоль фронта. Сигнал S представляет собой разность

интенсивностей звуковых волн, воздействующих от одного и того же источника на диафрагму микрофона с двух сторон — слева и справа.

Для получения информации левого X и правого У каналов системы стереопередачи необходимо произвести преобразования сигналов с помощью суммарно-разностных преобразователей СРП (рис. 2.4). Сигнал левого канала стереопары представляет собой сумму сигналов M и S, т. е. X=M+S, а сигнал правого канала — разность сигналов M и S, т. е. У=M—S. В этом легко убедиться, изобразив характеристики направленности микрофонов M (круг) и S (косинусоида) в декартовой системе координат (рис. 2.5,*а*). В декартовой системе зависимость чувствительности микрофона *E* от угла падения звуковой волны для круговой характеристики имеет вид прямой линии M, а для косинусоидальной характеристики — отрезок косинусоиды S.

Если в одном канале напряжения сигналов M и S сложить (M+S), а в другом канале из напряжения сигнала M вычесть напряжение сигнала S (т. е. M—S), то для каждого из каналов стереопередачи зависимость выходного напряжения от угла падения звуковой волны на микрофон представляется кривыми M+S= =X и M—S=У, как это показано на рис. 2.5,*б*. Таким образом, видно, что системы ХУ и MS эквивалентны, и переход от одной из них к другой осуществляется с помощью простейшей операции суммарно-разностного преобразования сигналов.

Система MS требует наличия в составе звукорежиссерского пульта дополнительных узлов: суммарно-разностных преобразователей, стереорегуляторов направления и базы. Преимущество сис-

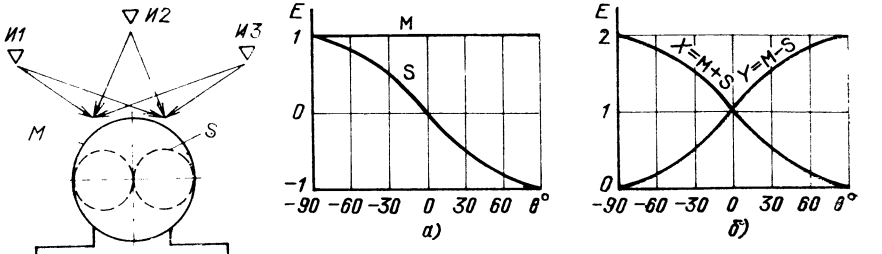


Рис. 2.5. Диаграммы направленности микрофонов M и S (*а*) и характеристики сигналов стереопары X и У (*б*)

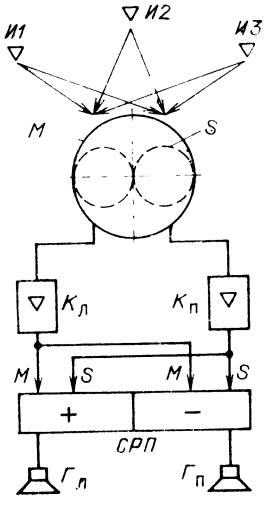


Рис. 2.4. Стереофоническая система MS

темы MS перед системой ХУ заключается в том, что при этой системе техника регулирования проще, она во многом идентична технике регулирования обычной монофонической передачи. В этой системе легко регулировать как общую ширину базы, так и ширину участков базы, занятых отдельными группами исполнителей, а также регулировать направления на источники.

2.4. КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ

Рассмотренные выше системы АВ, ХУ и MS основаны на использовании двух обычных монофонических микрофонов либо применительно к системам ХУ и MS — одного стереофонического микрофона, представляющего собой два монофонических микрофона, скомпонованных в одном корпусе. Однако по мере развития стереофонии, особенно с появлением многоканальной звукозаписи, системы стереофонической звукопередачи стали постепенно усложняться. Микрофоны стали устанавливать около каждой группы инструментов, каждой группы исполнителей, отдельно для солиста, отдельно для некоторых инструментов и т. д. Все эти сигналы записываются сначала на магнитную ленту в многоканальном магнитофоне, а затем «сводятся». Получается стереофонический оригинал, с которого потом снимают стереофонические и монофонические вещательные дубли. Системы стереофонической звукопередачи, с использованием большого числа микрофонов, получили название полимикрофонных систем.

Полимикрофонная система АВ. При стереофонической звукопередаче, так же как и при монофонической звукопередаче, когда акустически разделенные между собой группы инструментов имеют свои, достаточно близко расположенные к ним микрофоны, можно уменьшить влияние фазовых сдвигов между сигналами отдельных микрофонов. Это обеспечивается соблюдением основного принципа, заключающегося в том, что звуки от каждого источника звука должны восприниматься преимущественно одним микрофоном какого-либо из каналов Л или П. Естественно, что когда источник звука занимает место в центре пространственной звуковой картины, он должен восприниматься двумя микрофонами (каналов Л и П), либо одним микрофоном, электрический сигнал которого подмешивают в оба канала.

Схема полимикрофонной системы АВ отличается от приведенной на рис. 2.1 тем, что к каждому из общих каналов Л и П подключаются по нескольку индивидуальных микрофонных каналов с самостоятельным регулированием усиления в каждом из них. Для размещения солиста в центре «звуковой картины» на расстоянии 0,2 ... 0,5 м от солиста устанавливают один или два микрофона. Второй микрофон используется при псевдостереофони-

ческой звукопередаче, при этом он подключается одновременно к левому и правому каналам.

Полимикрофонная система ХУ. При передаче одновременного звучания солистов, хора и оркестра по системе ХУ иногда бывает невозможно добиться нужного баланса и правильных тембров всех компонентов звуковой картины, пользуясь одной парой микрофонов. Применение еще хотя бы одного стереофонического микрофона вызывает трудности из-за возможности приема прямых и отраженных звуковых волн от одного и того же источника звука со стороны противоположных лепестков косинусоидальной характеристики пары микрофонов, т. е. возможен прием сигналов в противофазе. Если используется несколько стереофонических микрофонов, то для сохранения локализации отдельных источников звука следует располагать все микрофоны в плоскости симметрии звукового поля.

Смешанная система АВ и ХУ. Эта система широко применяется при стереофонической звукопередаче. В ней можно уравнять интенсивности звукопередачи источников звука, находящихся на краях и в центре площадки, занимаемой ансамблем, а также увеличить расстояние между микрофонами, относящимися к системе АВ. Выбор расстояния между ними не так критичен, как в однопарной системе АВ, поскольку возможность опасного скачка звука от одного громкоговорителя к другому значительно уменьшается вследствие наличия микрофона системы ХУ, располагаемого посередине площадки. Таким образом, достоинства одной системы дополняются достоинствами другой, недостатки компенсируются.

В смешанной системе в левый канал включаются микрофоны А и Х, в правый — В и У. Ввиду совместного действия двух систем угол звуковоспроизведения как бы увеличивается, звуковая картина расширяется.

Система MS с несколькими одиночными микрофонами. Эта система получается, когда к сигналам основной пары микрофонов подключаются сигналы от других микрофонов, расположенных около различных групп инструментов.

Составляющие суммарного сигнала М получаются при непосредственном подключении одиночных микрофонов к этому каналу. Составляющие разностного сигнала S от каждого одиночного микрофона можно получить искусственно, включением дополнительного регулирующего звена, как это показано на рис. 2.6,*а*. Все составляющие М объединяются в один общий сигнал, а составляющие S — в другой.

Движение источника звука может имитироваться регулятором направления РН. Когда ползунок регулятора находится в правом (по схеме) положении, напряжение в канале S имеет ту же величину и фазу, что и в канале М. В среднем положении ползунка регулятора напряжение в канале S равно нулю. В левом положении

оно равно напряжению в канале М, но в противофазе.

Система с двойным преобразованием сигналов. Системы стереофонической звукопередачи АВ и ХУ не содержат какого-либо дополнительного преобразования сигналов. В системе MS предусмотрено однократное суммарно-разностное преобразование сигналов. Существует также система (разновидность систем АВ и ХУ) с двойным суммарно-разностным преобразованием. Одно преобразование обычно производится при передаче, а второе — при приеме. При записи первое преобразование осуществляют во входных трактах микшерного пульта (в микрофонных трактах пульта), а второе — в выходных трактах. Оба способа преобразования стереосигналов имеют практическое применение.

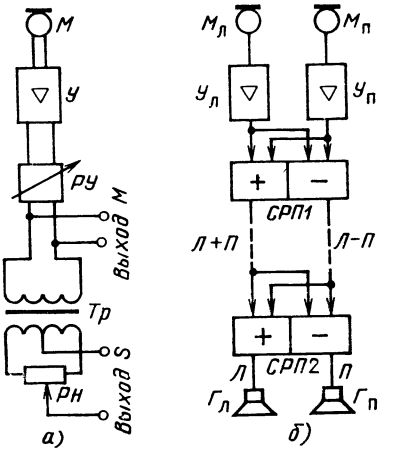


Рис. 2.6. Системы:
а — MS с несколькими одиночными микрофонами, *б* — с двойным суммарно-разностным преобразованием

Структурная схема звукопередачи по системам АВ и ХУ с двукратным суммарно-разностным преобразованием приведена на рис. 2.6,*б*. После первого суммарно-разностного преобразования, осуществляемого с помощью СРП1, по первому каналу передается сумма сигналов, т. е. А+В или Х+У, а по второму — разность этих же сигналов, т. е. А—В или Х—У. Таким образом, первый канал содержит в себе полноценную монофоническую информацию, а наличие второго канала позволяет вновь разделить сигналы левого и правого каналов при воспроизведении. В месте воспроизведения для получения стереофонических сигналов А и В или Х и У производится второе суммарно-разностное преобразование с помощью СРП2. В результате в системе АВ получаются сигналы: (А+В)+(А—В)=2А и (А+В)—(А—В)=2В, а в системе ХУ соответственно сигналы: (Х+У)+(Х—У)=2Х и (Х+У)—(Х——У)=2У.

2.5. БИФОНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Первоначально под бифонической системой понималась система стереофонической звукопередачи, основанная на бинауральном эффекте. Однако затем бифонической системой стали называть систему с использованием «искусственной головы». Искусственная голова — это сложное электроакустическое устройство, изготовленное из папье-маше в форме головы человека. Главным является не внешнее сходство с головой человека, а то, что в ней очень точно

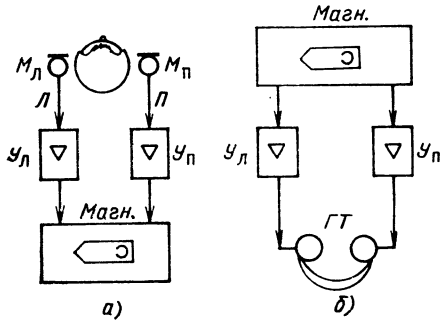


Рис. 2.7. Бифоническая система:
а — при записи, *б* — при воспроизведении

выполнены имитация ушей, построение улитки уха, в которой вместо основной мембраны уха установлена диафрагма микрофона.

Схема записи стереофонических сигналов с использованием искусственной головы приведена на рис. 2.7,*а*. При записи искусственная голова устанавливается в помещении, например в концертном зале, в той точке, где стереофоническое звучание воспринимается наилучшим образом. С выхода микрофонов $М_Л$ и $М_П$, вмонтированных в искусственной голове, стереосигналы Л и П через усилители $У_Л$ и $У_П$ подаются на вход стереофонического магнитофона и записываются на магнитную ленту.

При воспроизведении (рис. 2.7,*б*) сигналы через усилители воспроизведения $У_Л$ и $У_П$ подаются на головные стереофонические телефоны ГТ (наушники). По сравнению с другими системами бифоническая система обеспечивает наилучший стереоэффект при воспроизведении с помощью головных телефонов. Воспроизведение стереофонической программы получается наиболее естественным, высокого качества, без эффекта «стереокартина сзади», «стереокартина сверху» и т. п.

2.6. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРАВЛЕНИЯ И БАЗЫ

В состав симфонического оркестра входят различные группы инструментов. Они имеют разные «зоны протяженности» звучания вдоль сцены. Например, скрипки занимают почти половину ширины расположения оркестра, в то время как отдельные инструменты располагаются на весьма ограниченном пространстве. Это соотношение желательно сохранить и при стереофонической звукопередаче. Выдерживание близких к реальности соотношений протяженности звучания различных инструментов является одной из главных задач стереофонической передачи звука. В частности, в системе АВ акустическая ширина передаваемой звуковой картины определяется расстоянием между микрофонами, степенью удаленности их от источников звука, ориентацией осей максимальной чувствительности микрофонов и их характеристиками направленности. Но все это выбирается во время репетиций, а в процессе записи регулироваться не может.

Акустическую ширину можно регулировать электрическими методами, причем оперативно в процессе звукозаписи или трансляции. Для этого используются либо суммарно-разностные преобразователи сигналов, либо специальный регулятор акустической

ширины базы и направления звука в системе MS. Такой же регулятор может применяться и для системы ХУ, но при этом в сочетании с суммарно-разностным преобразователем. Регулятор ширины базы и направления имеется во всех современных звукорежиссерских пультах.

Простейшая схема регулятора ширины базы, основанная на принципе двойного суммарно-разностного преобразования, приведена на рис. 2.8,*а*. Информации левого Л и правого П каналов преобразуются в процессе записи или трансляции в тракте формирования программ, т. е. непосредственно в звукорежиссерском пульте. С выхода левого $М_л$, и правого $М_П$ микрофонов сигналы стереопары через усилители $У_л$ и $У_П$ поступают на первый суммарно-разностный преобразователь СРП1 регулятора базы. Затем через регуляторы уровня суммарного $Р_с$ и разностного $Р_р$ сигналов информация поступает на второй суммарно-разностный преобразователь СРП2, на выходе которого получаются преобразованные сигналы левого Л′ и правого П′ каналов.

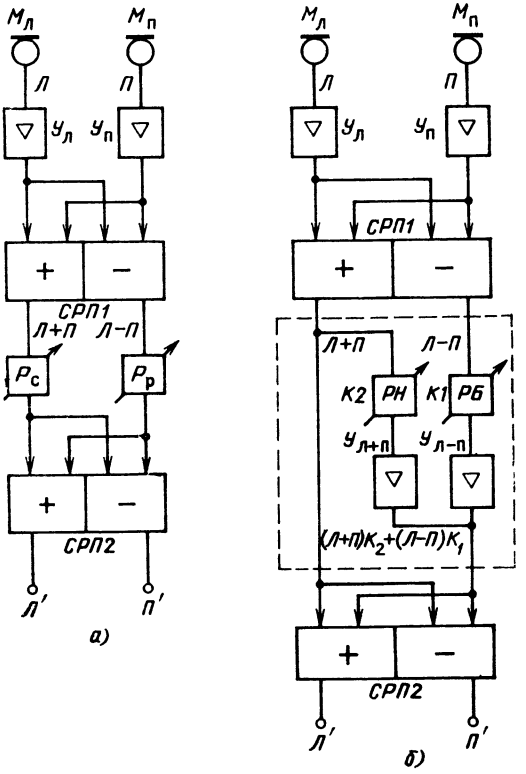


Рис. 2.8. Схемы регулятора базы (*а*) и регулятора базы и направления (*б*)

Коэффициенты передачи $К$ регуляторов уровня $Р_с$ и $Р_р$ могут изменяться от нуля до единицы. Если $К_1=К_2=1$, то ширина базы определяется только расположением микрофонов и громкоговорителей. Если $К_1=1$, а $К_2=0$, то в этом случае $Л'=(Л+П)+(Л—П)=Л+П+0=Л+П$, и $П'=(Л+П)—(Л—П)=Л+П+0=Л+П$, т. е. в левом и правом каналах получается суммарная информация. Это означает монофоническую звукопередачу по обоим каналам. Ширина базы равна нулю, источник звука слышен из центра между двумя громкоговорителями.

Если $К_1=0$, а $К_2=1$, то в обоих каналах Л′ и П′ получается

разностная информация, это означает противофазное включение источников. Такой режим работы на практике не применяется за исключением получения спецэффектов.

Если K_1 немного меньше единицы $K_1<1$, то при $K_2=1$ происходит некоторое расширение акустической базы за счет преобладающего влияния «сигналов стороны», т. е. разностного сигнала. Если же, наоборот, при $K_1=1$ уменьшать K_2, то получается сужение акустической базы.

На рис. 2.8,*б* приведена схема устройства, которое позволяет регулировать не только ширину акустической базы, но также и направление на источник звука. При электрической регулировке по этой схеме становится возможным смещать кажущийся источник звука от крайнего левого до крайнего правого положений, независимо от реального месторасположения источника.

В схеме между первым и вторым суммарно-разностными преобразователями СРП1 и СРП2 включены два усилителя $У_{Л+П}$ и $У_{Л-П}$ и два регулятора с коэффициентом передачи K_1 и K_2. Как видно из рисунка, сигналы левого по схеме канала, по которому передаются сигналы, не претерпевают никаких изменений уровня сигналов, коэффициент передачи $K_{Л+П}=1$. В правом канале к разностному сигналу $K_1(Л—П)$ подмешивается суммарный сигнал $K_2(Л+П)$, причем коэффициент передачи K_1 может изменяться в пределах от 0 до 1, а коэффициент K_2 может изменяться в пределах $-1 \ldots +1$. Таким образом, в правом канале суммарный сигнал $K(Л+П)$ может подмешиваться с амплитудой $0 \ldots 1$ либо в фазе, либо в противофазе. В результате этих преобразований на выходе получается следующая звуковая картина.

Рассмотрим случай, когда $K_1=0$, т. е. когда в правом канале регулятора присутствует только суммарный сигнал $K_2(Л+П)$. Если $K_2=1$, то на выходе схемы возникают сигналы:

$$Л' = (Л+П) + K_1(Л-П) + K_2(Л+П) = (Л+П) + 0 + 1(Л+П) = 2(Л+П),$$

$$П' = (Л+П) - K_1(Л-П) - K_2(Л+П) = (Л+П) - K_1(Л-П) - K_2(Л+П) = (Л+П) - 0 - 1(Л+П) = 0.$$

Таким образом, воспроизводится монофоническое звучание, исходящее из левого громкоговорителя.

Если $K_2=-1$, т. е. суммарный сигнал подмешивается в правый канал в противофазе, то на выходе схемы оказываются сигналы:

$$Л' = (Л+П) + K_1(Л-П) + K_2(Л+П) = (Л+П) + 0 - 1(Л+П) = 0,$$

$$П' = (Л+П) - K_1(Л-П) - K_2(Л+П) = (Л+П) + 0 + 1(Л+П) = 2(Л+П).$$

Получается монофонический сигнал, звучащий из правого громкоговорителя. При других положениях регулятора и, следовательно, изменениях коэффициента передачи K_2 от — 1 до +1 виртуальный (кажущийся) источник звука может занимать любое из значений вдоль акустической базы, поэтому этот регулятор обозначен на схеме как РН — регулятор направления.

Рассмотрим теперь случай, когда $K_2=0$. Если и $K_1=0$, то на выходе схемы получаются сигналы:

$$Л' = (Л+П) + K_1(Л-П) + K_2(Л+П) = (Л+П) + 0 + 0 = \\ = Л+П,$$

$$П' = (Л+П) - K_1(Л-П) - K_2(Л+П) = (Л+П) - 0 - 0 = \\ = Л+П.$$

При прослушивании программы звучание кажется исходящим из середины базы с акустической шириной, равной нулю, т. е. это монофоническая программа.

Если $K_1=1$, то звучит стереофоническая программа, так как

$$Л' = (Л+П) + K_1(Л-П) = (Л+П) + 1\,(Л-П) = 2Л,$$

$$П' = (Л+П) - K_1(Л-П) = (Л+П) - 1\,(Л-П) = 2П.$$

Таким образом, видно, что с помощью регулятора базы, обозначенного на рис. 2.8,*б* как РБ, можно изменять базу от нуля до максимума, ограниченного расстоянием между громкоговорителями.

Схема регулятора базы и направления, предназначенного для работы в системе MS, приведена на рис. 2.9,*а*. Эта же схема может использоваться и при работе в системе ХУ. В правом положении переключателя П регулятор работает в системе MS, в левом положении — в системе ХУ.

Регулятор представляет собой мостовую схему. На вертикальную диагональ моста подается сигнал М (точки *б* и *г*), на горизонтальную — сигнал S (точки *а* и *б*). При системе ХУ переключатель П переводится в левое положение, при этом микрофоны Х и У подключаются соответственно на два соседних плеча моста (точки *аг* и *аб*). В обеих системах на вертикальную диагональ подается сигнал М=Х+У, а на горизонтальную — сигнал S=Х—У. Горизонтальная диагональ моста шунтируется сопротивлением резистора РБ — регулятора базы. В зависимости от положения РБ изменяется напряжение S, прикладываемое к этой диагонали. Если РБ=0, то горизонтальная диагональ моста полностью зашунтирована, напряжение сигнала S=0 и после суммарно-разностного преобразования сигналов в обоих каналах будет сигнал М, что соответствует монофонической звукопередаче, слышимой из центра акустической базы.

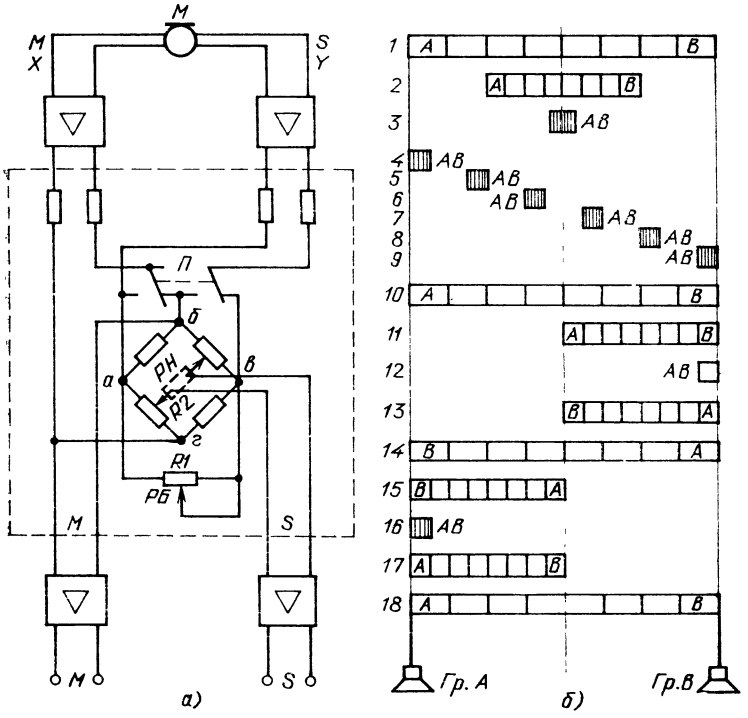


Рис. 2.9. Схема регулятора базы и направления (*а*) и графическое изображение его действия (*б*)

Регулятор направления РН имеет два движка, жестко связанных между собой и всегда имеющих контакт с потенциометрами противоположных плеч моста. В крайних положениях движков на выходе схемы получаются сигналы от —М до +М и от —S до +S.

Действие регуляторов РБ и РН на звуковую картину показано на рис. 2.9,*б*. В строке 1 показана звуковая картина с максимальной акустической базой, которая получается в том случае, когда РН находится в среднем положении, а сопротивление РБ максимально. Строки 2 и 3 показывают действие регулятора базы РБ. При сопротивлении РБ, близком к нулю, с помощью РН можно переместить кажущийся источник звука от крайнего левого до крайнего правого положений, как это показано в строках 4 ... 9. С помощью регуляторов РБ и РН можно получить любое из пространственных расположений кажущихся источников звука, в том числе «все справа», «все слева», «середина», «середина перевернутого изображения» и т. д. (строки 10 ... 18).

Угол стереофонического восприятия звука в системе MS регулируется изменением напряжения, снимаемого с микрофона S. Чем больше это напряжение, тем больше угол восприятия звука. Обычно предполагается, что напряжение микрофонов M и S равны при отклонении источников звука на $+90°$ или $-90°$ по отношению к плоскости симметрии звукового поля. Если сделать так, что $S > M$, то источники звука, имеющие небольшой угол отклонения от центра, будут воспроизводиться значительное слабее, чем источники звука с большим углом отклонения. При некотором критическом угле отклонения из левого и правого громкоговорителей помимо основных сигналов излучаются эти же сигналы из другого громкоговорителя, но в противофазе. Получающиеся своеобразные звучания используются иногда для создания специальных эффектов в звукопередаче.

2.7. ВЫБОР ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ СТЕРЕОЗАПИСЕЙ

Для стереофонических звукозаписей и трансляций следует выбирать помещения из тех же соображений, что и для монофонических, т. е. прежде всего по их объему и акустическим свойствам.

Большинство стереофонических звукозаписей производится в специальных помещениях — студиях. Студии разделяются прежде всего на музыкальные и речевые. Музыкальные студии бывают малые, средние и большие. Малые музыкальные студии применяются для исполнения камерной музыки, для солистов-вокалистов, вокально-инструментальных передач малых форм. Число исполнителей — до 10. Площадь пола студии около 100 м^2, объем примерно 500 м^2, время реверберации 0,9 ... 1,1 с.

Средние музыкальные студии предназначены для симфонической музыки в исполнении средних по числу исполнителей оркестров, а также для эстрадной и джазовой музыки. Число исполнителей 30—60. Площадь пола студии 350 ... 450 м^2, объем около 4000 м^3, время реверберации 1,5 ... 1,7 с.

Большая музыкальная студия должна иметь площадь пола 750 ... 1000 м^2, объем до 14 000 м^3, время реверберации около 2 с.

Стереофонические записи речевых программ, в основном радиоспектаклей, производятся в литдрамблоках, в состав которых входит студия с площадью около 100 м^2 и временем реверберации 0,5 ... 0,8 с, а также заглушенная и гулкая комнаты — камеры для спецэффектов.

В качестве примера на рис. 2.10 приведен план музыкальной студии № 5 Государственного Дома радиовещания и звукозаписи (ГДРЗ). Студия построена в 1967 г. по проекту Гипрокинополиграфа. Линейные размеры студии $29{,}8 \times 20{,}5 \times 14$ м.

Студия проектировалась как открытая, предназначенная для радиопередач в присутствии зрителей, поэтому в ней установлено

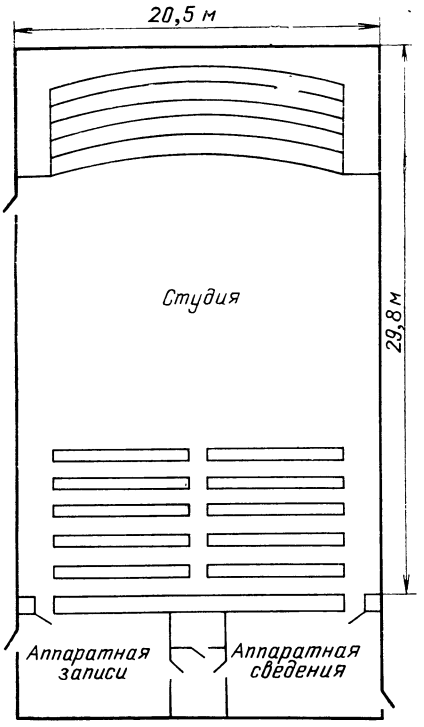


Рис. 2.10. План концертной студии № 5 ГДРЗ

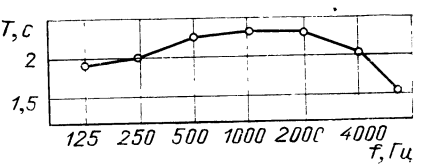


Рис. 2.11. Частотная характеристика времени реверберации студии № 5 ГДРЗ

несколько рядов кресел для 140 человек (на рисунке показано в нижней части, около аппаратных). В противоположной части студии по всей ее ширине расположены железобетонные ступени для хора. Студия предназначена для исполнения и записи произведений крупных музыкальных форм с числом исполнителей до 120 человек.

По проекту потолок студии акустически не обрабатывался и имел шероховатую оштукатуренную поверхность, окрашенную клеевой краской. По низу студии установлены панели из древесностружечных плит толщиной 20 мм, обшитые декоративной фанерой. Выше панели стены обработаны звукопоглощающими конструкциями в виде листов перфорированной и неперфорированной фанеры, с относом от стены на 100 мм, с пористым заполнителем типа ПП-80.

Первоначально был реализован акустический проект, по которому в студии навешивались потолочные и настенные отражающие конструкции, представляющие собой плоские щиты из древесностружечных плит ДСП, укрепленных на металлических каркасах. Три больших потолочных щита подвешивались над зоной распо-

ложения оркестра. Два из них площадью 35 м² находились над струнными группами (скрипки, виолончели), третий щит площадью 70 м² выдавался вперед. Высота подвеса щитов 10 м. Настенные щиты площадью по 20 ... 25 м² висели на продольных стенах на высоте 2,5 м от пола, по четыре щита на каждой стене. За местами для хора висел трехстворчатый козырек площадью 70 м². Нижняя часть стен в зоне расположения оркестра была выполнена в виде пилообразных панелей, что должно было уменьшить вероятность прихода в эту зону ранних отражений. Проектное время реверберации в студии было принято равным $T = 1{,}8 \ldots 2$ с.

Измерения показали, насколько сложными и непредсказуемыми являются акустические проекты. Специалистам ГДРЗ, ВНИИТР и ВЗЭИС пришлось 5 раз перерабатывать проект и изменять акустическую обработку студии, прежде чем были получены положительные результаты. Основные этапы реконструкции студии следующие.

Этап 1. После многочисленных поисков оптимального наклона настенных отражающих щитов все щиты, за исключением расположенного над скрипичной группой, установлены параллельно стенам. Щит за скрипками наклонен верхним концом, нижний конец притянут к стене. Звукорежиссеры отметили, что струнная группа стала звучать ярче, но тембры скрипок остались резкими, неестественными. По-прежнему нарушен баланс между группами инструментов, первым планом выступает медная группа. Время реверберации студии мало.

Этап 2. Изменялись высота и углы подвеса потолочных щитов, но заметного на слух улучшения качества звучания не получили.

Этап 3. Пилообразные конструкции на стенах в зоне оркестра заменены плоскими панелями. По мнению звукорежиссеров улучшилось звучание виолончелей и контрабасов, более естественными стали их тембры.

Этап 4. Над группой медных инструментов на высоте 7 м от потолка спущены 3 рамы с подвешенными к ним рассеивающими элементами в виде полицилиндров и конусов из фанеры. Такие же полицилиндры укреплены на настенном щите вблизи скрипичной группы. По отзывам звукорежиссеров значительно улучшился баланс оркестра, отчетливо стали слышны все группы инструментов, стали более естественными тембры скрипок, медная группа перестала выступать первым планом. Но время реверберации по-прежнему недостаточно.

Этап 5. За оркестром, у первых ступеней хора установлен звукопоглощающий барьер из перфорированной фанеры с заполнителем высотой 1,2 м от пола. Это позволило еще больше выравнять баланс оркестра, так как звучание медной группы при этом стало нормальным.

В ходе дальнейшей корректировки работ для увеличения времени реверберации на средних и высоких частотах с тыльной стороны всех потолочных щитов был снят звукопоглощающий слой. Особенно заметным стало увеличение времени реверберации студии после того, как центральный потолочный щит был подтянут к самому потолку студии и наклонен на 3° во избежание образования стоячих волн между полом и щитом.

По отзывам звукорежиссеров звучание оркестра стало красивым, баланс нормальным, все тембры, естественными, время реверберации достаточным. Частотная характеристика времени реверберации студии № 5 после ее акустической настройки приведена на рис. 2.11. Студия была принята в эксплуатацию и с такими высокими акустическими параметрами работает до сих пор.

В качестве примера на рис. 2.12 приведено расположение исполнителей и микрофонов при стереофонической записи одноактной оперы М. Равеля «Дитя и волшебство» в исполнении солистов, хора и Большого симфонического оркестра Всесоюзного радио. Запись происходила в студии № 1 ГДРЗ объемом 4600 м³.

Справа и несколько сзади от дирижера Д находились челеста и фортепиано с важными по своему значению сольными партиями. Слева и несколько сзади располагались солисты. Сзади от дирижера, у правой стены студии располагался на подставках небольшой хор, около 45 человек, развернутый лицом к дирижеру. За медной группой инструментов находился электромузыкальный инструмент экводин, на котором исполнялась партия кулисной флейты в начале второй картины оперы, сцены в саду.



Рис. 2.12. Пример расположения исполнителей и микрофонов при записи опер

Микрофоны М1 и М2, расположенные по обе стороны от дирижера, были включены по системе АВ и воспринимали все звучание оркестра. В некоторых эпизодах, где солировали челеста и фортепиано, к левому каналу подключался микрофон М3 с двусторонней характеристикой направленности, один из лепестков которого был направлен на скрипки, а второй — на челес-

ту и фортепиано. В этих случаях фортепиано как бы смещалось к центру звуковой картины. Сторона наименьшей чувствительности микрофона была направлена на правую сторону оркестра.

Перед солистами находился стереофонический микрофон М4 с кардиоидными характеристиками направленности, т. е. работающий по системе ХУ. При этом микрофон, включенный в левый канал, был ориентирован в сторону левой части оркестра, на скрипки, чтобы сохранить локализацию в оркестре.

Для передачи всего звукового поля одновременно действовало до трех стереофонических микрофонов. Кроме того, один двусторонненаправленный микрофон М5 использовался для создания эффекта увеличенной реверберации. Один лепесток диаграммы направленности этого микрофона был ориентирован на солистов, другой — на оркестр. Когда определенные солисты должны были по партитуре находиться в центре звуковой картины, то реверберируемая информация от солиста и от оркестра подвергалась суммарно-разностному преобразованию, а затем подмешивалась к левому и правому каналам звукорежиссерского пульта.

2.8. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ МИКРОФОНЫ

Как указывалось выше, для стереофонической звукопередачи по системе АВ используются обычные монофонические микрофоны, преимущественно кардиоидные, располагаемые на достаточном расстоянии от исполнителей. Желательно использовать малогабаритные конденсаторные микрофоны. Оба микрофона должны быть одинаковыми по всем параметрам. Расстояние между микрофонами выбирается очень тщательно. Оно колеблется от 20 см до 1,5 ... 2 м в зависимости от замысла звукорежиссера и характера записываемого музыкального произведения. В процессе репетиции оно уточняется экспериментально с учетом особенностей системы АВ и соблюдения условия совместимости.

На рис. 2.13 приведены диаграммы направленности микрофонов. Диаграмма направленности — это графическое изображение характеристики направленности, которое чаще всего приводят в полярных координатах. Круговая диаграмма направленности (рис. 2.13,*а*) бывает у приемников давления, диафрагма которых открыта для действия звуковых волн только с одной стороны.

У приемников градиента давления подвижная механическая система открыта для воздействия звуковых волн с обеих сторон, поэтому на нее воздействует разность давлений, действующих на фронтальную и тыльную сторону мембраны. При этом чувствительность микрофона под углом 90 и 270° к оси теоретически равна нулю, а диаграмма направленности получается косинусоидальная, т. е. в полярных координатах в виде восьмерки (рис. 2.13,*б*).

Комбинированные приемники — это различные сочетания при-

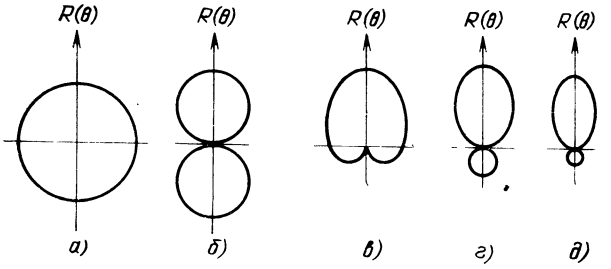


Рис. 2.13. Диаграммы направленности микрофонов:
а — круговая (ненаправленная); *б* — косинусоидальная (двусторонненаправленная, «восьмерочная»); *в* — кардиоидная (односторонненаправленная); *г* — суперкардиоидная; *д* — гиперкардиоидная

емников давления и градиента давления. Характеристика направленности комбинированного приемника определяется выражением:

$$R(\theta) = \frac{E_\theta}{E_0} = \frac{E_д + E_{г.д}\cos\theta}{E_д + E_{г.д}} = 1 - q + q\cos\theta,$$

где $E_д$ — чувствительность приемника давления; $E_{гд}$ — чувствительность приемника градиента давления; $q = E_{гд}/(E_д + E_{гд})$ — коэффициент, характеризующий направленные свойства микрофона.

При $q=0$ микрофон ненаправленный (см. рис. 2.13,*а*), при $q=1$ микрофон двусторонненаправленный (рис. 2.13,*б*), при $q=0{,}5$ получается кардиоида (рис. 3.13,*в*), при $q=0{,}63$ — суперкардиоида (рис. 2.13,*г*), а при $q=0{,}75$ — гиперкардиоида (рис. 2.13,*д*).

Из отечественных микрофонов для стереозаписи пригодны конденсаторные микрофоны МК-18 и МК-19. Из зарубежных микрофонов наилучшим образом зарекомендовали себя микрофоны U-87 фирмы Нойман (ФРГ), С-414-ЕВ фирмы AKG (Австрия), МКЕ-802, МКЕ-212 и МКЕ-802 фирмы Зеннхайзер (ФРГ), ECM-51 фирмы Сони (Япония) и др.

Конденсаторный микрофон МК-18 отечественного производства (НПО «Октава») имеет переключатель диаграмм направленности (круг, кардиоида, косинусоида) с возможностью изменения чувствительности и коррекции частотной характеристики чувствительности в области низких частот [1; 26]. Микрофон имеет следующие основные технические характеристики:

Номинальный диапазон частот, Гц	50 ... 16 000
Неравномерность частотной характеристики чувствительности, дБ, не более	10
Осевая чувствительность на частоте 1 кГц, мВ/Па в режиме:	
«большая кардиоида», не менее	16

«малая кардиоида», не менее	10
Средний перепад чувствительности фронт/тыл в режиме «малая кардиоида» в номинальном диапазоне частот, дБ, не менее	15
Уровень собственных шумов, дБ, относительно уровня, соответствующего звуковому давлению $2 \cdot 10^{-5}$ Па, в режиме:	
«большая кардиоида», не выше	13
«малая кардиоида», не выше	14
Спад частотной характеристики к частоте 50 Гц в положении переключателя «завал НЧ», дБ	10
Чувствительность можно уменьшить с помощью переключателя, дБ	на 10
Модуль полного внутреннего сопротивления, Ом	200 ... 250
Габариты, мм	46×35×187

Внешний вид микрофона МК-18 показан на рис. 2.14,*а*, а его стотные характеристики в режиме «кардиоида» на — рис. 2.14,*б*. помощью переключателя, расположенного на корпусе микрофо-, можно получить три характеристики направленности: круговую ис. 2.14,*в*), кардиоидную (рис. 2.14,*г*) и косинусоидальную (рис. 4,*д*).

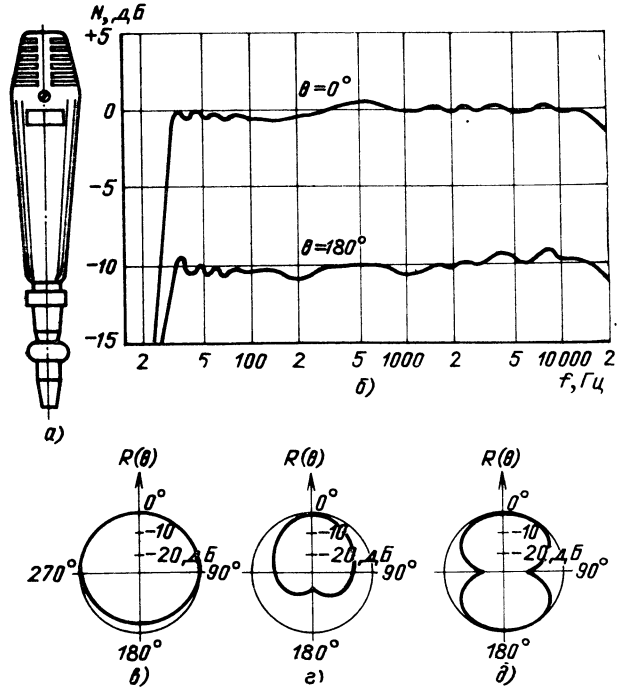


Рис. 2.14. Внешний вид (*а*), частотные характеристики и диаграммы направленности (*в*, *г* и *д*) микрофона МК-18

Микрофон МК-19 является, по существу, упрощенной моделью микрофона МК-18 с одной характеристикой направленности — кардиоидной. Это сделано с целью повышения надежности работы микрофона, так как наличие большого числа переключателей у микрофона МК-18 привело к снижению его надежности, появлению отказов в работе.

Микрофон МК-19 имеет номинальный диапазон частот 50... 16 000 Гц, чувствительность 16 мВ/Па, характеристика направленности совпадает с кардиоидной характеристикой направленности микрофона МК-18 (см. рис. 2.14,*г*). Другие характеристики микрофона МК-19 также совпадают с характеристиками микрофона МК-18 в режиме работы «кардиоида».

Микрофон U-87 фирмы «Нойман» (ФРГ) является высококачественным микрофоном. Он широко применяется при стереофонических звукозаписях, производимых у нас и за рубежом. Внешний вид, частотные характеристики и диаграммы направленности микрофона U-87 приведены на рис. 2.15.

При работе в системах ХУ и MS используются не разнесенные монофонические микрофоны, как в системах АВ и полимикрофонной, а специальные стереофонические микрофоны, т. е. в одном корпусе размещены два микрофона. Каждый из этих микрофонов

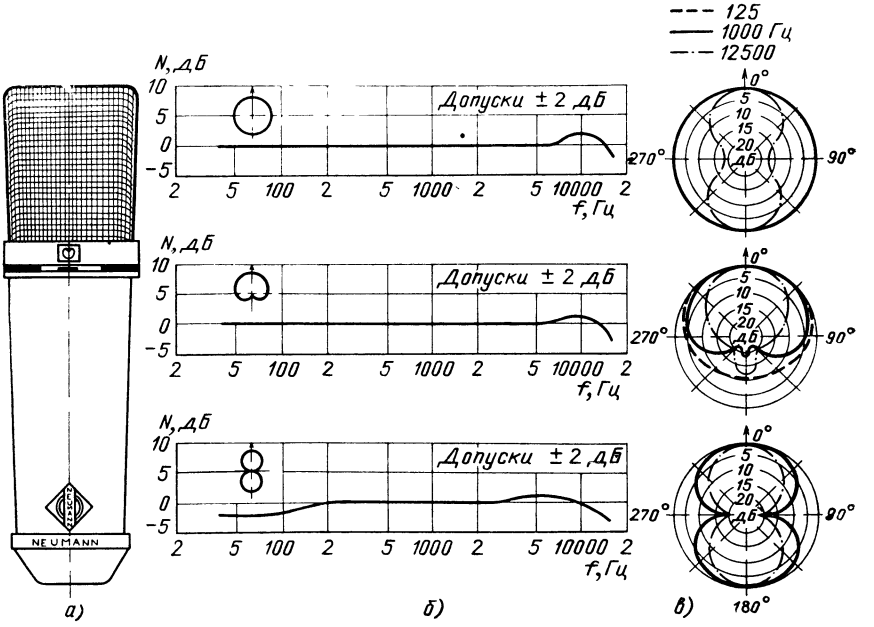


Рис. 2.15. Внешний вид (*а*), частотные характеристики (*б*) и диаграммы направленности (*в*) микрофона U-87

может иметь любую из трех характеристик направленности: кардиоду, восьмерку, круг. Примером такого стереофонического микрофона может служить микрофон SM-69 фирмы «Нойман». На рис. 2.16,*а* показан внешний вид микрофона. На рис. 2.16,*б* приведены его частотные характеристики и диаграммы направленности в трех режимах работы.

Технические данные микрофона:

Осевая чувствительность, мВ/Па, на частоте 1 кГц	19
Выходное сопротивление, Ом	200
Рекомендуемое сопротивление нагрузки, Ом	250 ... 2000
Уровень собственных шумов, дБ:	
при горизонтальной частотной характеристике	20
при измерении по кривой *A*	13
Максимальный уровень звукового давления, дБ, при котором коэффициент гармоник не превышает 0,5%	123
Напряжение источника питания, В	48
Потребляемый ток, мА	2×0,6
Диаметр, мм	48
Длина, мм	260
Масса, г	465

На выставке Телекинорадиотехника-90 в Москве фирма AKG (Австрия) представила стереофонический конденсаторный микро-

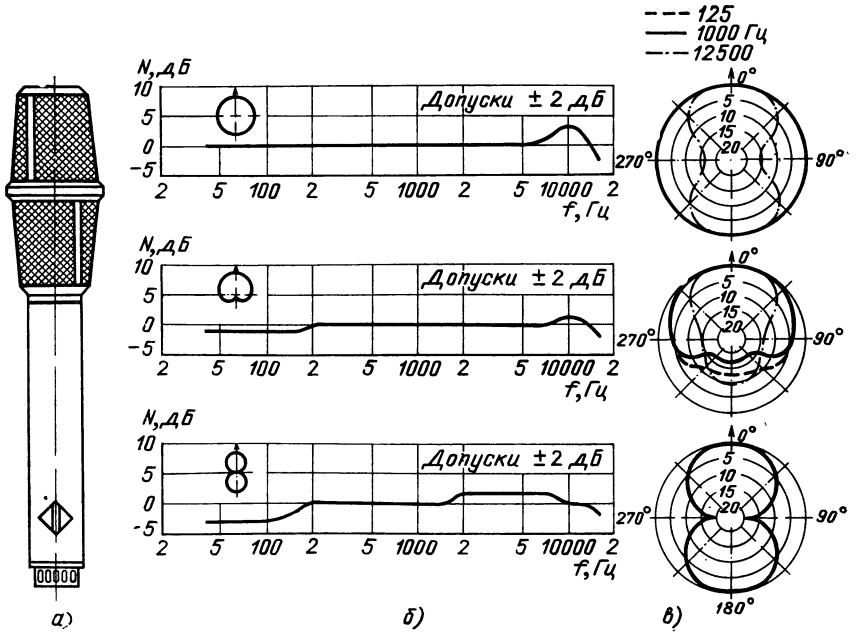


Рис. 2.16. Внешний вид (*а*), частотная характеристика (*б*) и диаграммы направленности (*в*) микрофона SM-69

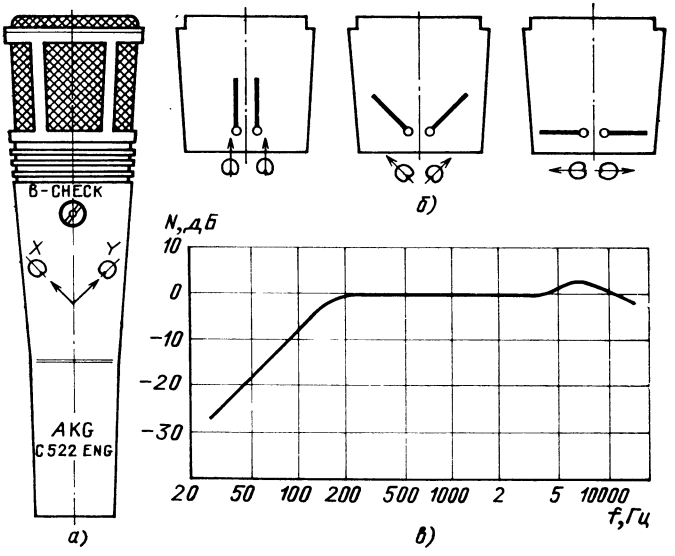


Рис. 2.17. Внешний вид (*а*), эскиз конструкции (*б*), частотная характеристика (*в*) микрофона С-522-ENG

фон С-522-ENG новой конструкции. Внешний вид микрофона показан на рис. 2.17,*а*. Особенность микрофона заключается в том, что два капсюля расположены не друг над другом на одной оси, а рядом, причем каждый из них можно поворачивать на 90°, как это показано на рис. 2.17,*б*. Там же даны диаграммы направленности микрофона. Рекомендуемое положение диафрагм при работе в системе ХУ — среднее, при котором оси максимальной чувствительности микрофонов повернуты друг относительно друга на 90°.

Технические данные микрофона С-522-ENG:

Осевая чувствительность, мВ/Па, на частоте 1 кГц	10
Диапазон частот, Гц	20 ... 20000
Неравномерность частотной характеристики, дБ, в диапазоне 80 ... 1500 Гц, не более	±2
Выходное сопротивление, Ом	200
Уровень собственных шумов, дБ:	
при горизонтальной частотной характеристике	20
при измерении по кривой *А*	12
Максимальный уровень звукового давления, дБ, при котором коэффициент гармоник не превышает 0,5%,	128
Диаметр, мм	52
Длина, мм	215
Масса, г	300

2.9. СУБЪЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗВУЧАНИЯ

Субъективная оценка качества звучания стереофонических звукозаписей и трансляционных передач осуществляется звукорежиссерами с помощью акустических контрольных агрегатов [1]. Последние относятся к групповым излучателям. Они содержат несколько разнотипных головок. Вместе с ними в одном корпусе (футляре) смонтированы усилители мощностью по 50 ... 200 Вт каждый. Акустические контрольные агрегаты чаще всего выпускаются двух- или трехполосными. Разделение всей полосы излучаемых частот на 2 или 3 части позволяет получить более равномерную частотную характеристику. Так, если ограничить верхнюю граничную излучаемую частоту излучателя $f_н = 3$ кГц, то можно создать низкочастотный громкоговоритель с нижней частотой 40 Гц. Аналогично, если ограничить нижнюю граничную излучаемую частоту излучателя также $f_н = 3$ кГц, то можно создать высокочастотный громкоговоритель с верхней частотой 15 кГц. Трехполосные акустические контрольные громкоговорители имеют обычно частоты разделения полос примерно 400 и 4000 Гц.

Помимо требования возможно более равномерных частотных характеристик важным требованием к стереофоническим акустическим контрольным агрегатам является их идентичность. При неидентичных частотных характеристиках стереоэффект значительно ухудшается.

Обязательным требованием к стереопаре контрольных агрегатов является синфазность их включения. В противном случае стереосигналы будут излучаться в противофазе, т. е. будет полностью искажаться стереофоническое звуковоспроизведение.

На телецентрах страны наиболее распространенными являются отечественные акустические контрольные агрегаты большие АКБ-2 и малые АКМ-2. Акустические агрегаты АКБ-2 — двухполосные. Номинальная электрическая мощность низкочастотного усилителя 70 Вт, высокочастотного — 50 Вт. Номинальный диапазон частот 30 ... 20000 Гц, неравномерность АЧХ в этом диапазоне не более 10 дБ. Номинальный уровень звукового давления 94 дБ на расстоянии 1 м в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1 кГц, максимальный уровень звукового давления 105 дБ. Коэффициент гармоник на средних частотах не более 3%. Номинальное входное напряжение 0,2 и 0,775 В. Уровень собственных шумов 30 дБ·А. Габариты: 1070×554×453 мм. Внешний вид акустических агрегатов АКБ-2 и АКМ-2 показан на рис. 2.18.

Из акустических агрегатов зарубежного производства наибольшее распространение у нас получили HEC-12, HEC-25, HEC-45 и HEC-90 завода БЕАГ (Венгрия), ARS-641 и ARS-914 предприятия ТЕСЛА (Чехословакия) TRIAMP-1024-B, BIAMP-1019-A

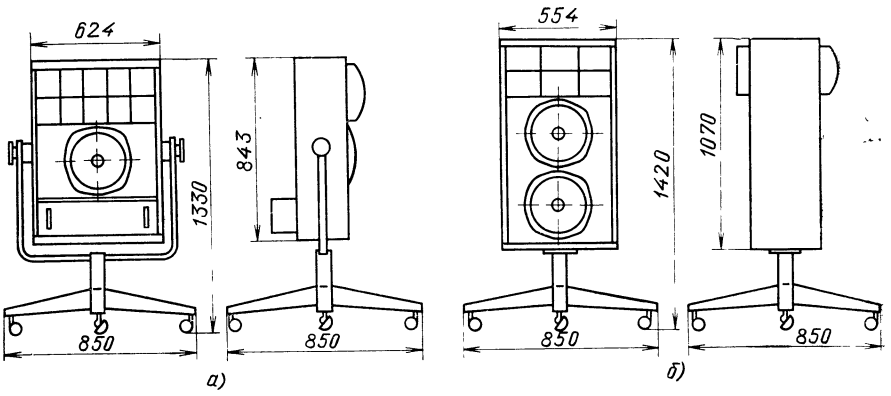


Рис. 2.18. Акустические контрольные агрегаты АКБ-2 (*а*) и АКМ-2 (*б*)

фирмы «Генелек» (Финляндия), классик-монитор фирмы «Танной» (Англия) и др.

Частотная характеристика и диаграммы направленности акустического агрегата НЕС-90 приведены на рис. 2.19. Номинальный уровень звукового давления 108 дБ, максимальный — 111 дБ создается им на расстоянии 1 м от излучателя. Частоты разделения составляют 300 Гц и 2,7 кГц. В качестве низкочастотного излучателя используется электродинамическая головка НХ-401-8/S диаметром 400 мм. Она имеет кардиоидную диаграмму направленности в диапазоне 20 ... 300 Гц. Среднечастотная электродинамическая головка НХ-231-8 диаметром 200 мм обеспечивает излучение в диапазоне частот 300 ... 3 000 Гц. Две высокочастотные головки излучают на частотах до 20 кГц. Неравномерность частотной характеристики НЕС-90 в диапазоне 20 ... 20 000 Гц не превышает ±2 дБ. Коэффициент гармоник при номинальной мощности на номинальном сопротивлении нагрузки не превышает 0,5%. Но-

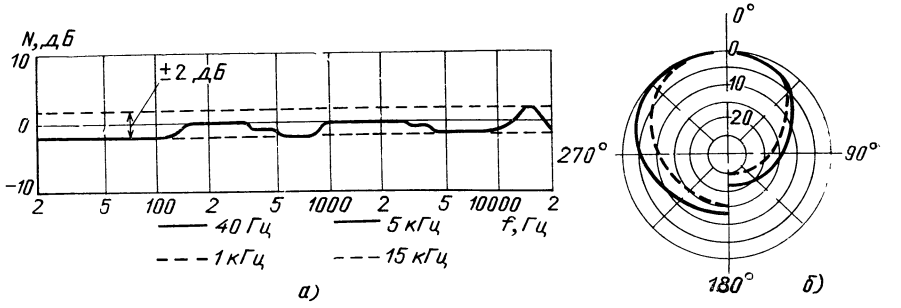


Рис. 2.19. Частотная характеристика (*а*) и диаграмма направленности (*б*) акустического агрегата НЕС-90

минальная мощность низкочастотного усилителя 200 Вт, средне- и высокочастотных усилителей — по 100 Вт. Вход у НЕС-90 симметричный, входное сопротивление не менее 10 кОм, номинальное входное напряжение составляет 1,55 В (6 дБн). Габариты: 496××1325×655 мм, масса 75 кг.

2.10. ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Объективный визуальный контроль при стереофонии осуществляется по приборам в стереофонических аппаратных записи, на транспунктах, в вещательных аппаратных, в отделах технического контроля и т. д. В ходе передачи по приборам контролируется уровень сигналов, стереофонический баланс и совместимость.

Известны три типа приборов для контроля стереофонических сигналов: измерители уровня, стереогониометры и стереокоррелометры.

Уровни в каждом из стереоканалов Л и П контролируются с помощью стереофонических измерителей уровня [29], представляющих собой прибор, в котором объединены два монофонических квазипиковых измерителя уровня со стандартизированными динамическими параметрами по ГОСТ 21185-75, с временем интеграции 5 мс при достоверности 80%. В качестве регистрирующих приборов в измерителях уровня применяются в основном индикаторы «зайчиковые», светодиодные и на газоразрядных трубках.

Основное требование, которое в соответствии с Правилами эксплуатации технических средств ПТЭ-82 должны выполнять звукорежиссеры, это выдерживание квазимаксимальных уровней в каждом из двух стереоканалов Л и П в пределах отметки 100% (0 дБ), т. е. без превышения номинального уровня.

Для контроля совместимости стереофонической передачи с монофонической, а также для контроля стереофонического баланса применяются стереогониометры и стереокоррелометры, входы которых включаются параллельно входам измерителей уровня, подключаемых к стереоканалам Л и П. Стереогониметры и стереокоррелометры во многом схожи между собой по принципу действия, но отличаются типом показывающего прибора: у стереогониометров информация выводится на экран электронно-лучевой трубки, а у стереокоррелометра — на стрелочный микроамперметр.

Стереофонический баланс и совместимость оцениваются по фигурам Лиссажу на экране электронно-лучевой трубки только качественно, без их количественной оценки, которая невозможна.

Характерные фигуры на экране стереогониометра при контроле стереофонических сигналов приведены на рис. 2.20. Известно, что если на обе пары пластин электронно-лучевой трубки подать один и тот же сигнал, то на экране появится линия под углом 45° к горизонтали (рис. 2.20,*а*). Это характерно для монофонического сиг-

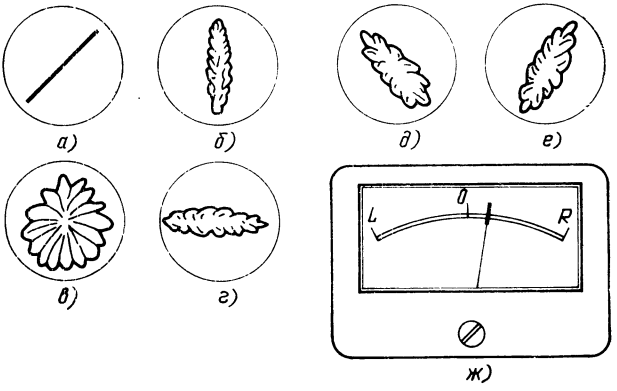


Рис. 2.20. Характерные фигуры на экране стереогониометра (*а*—*е*), шкала стереокоррелометра (*ж*)

нала, который получается при передаче по обоим каналам Л и П одинаковой информации. Но такое «наклонное» изображение не было принято в качестве основы для оценки «монофоничности» сигналов. Было решено повернуть саму электронно-лучевую трубку на 45° таким образом, чтобы линия стала вертикальной. Поэтому, если на экране стереогониометра виден рисунок, растянутый вдоль вертикальной оси (рис. 2.20,*б*), то это означает, что сигнал совместимый, но близкий к монофоническому, стереофоничность выражена очень слабо. Передача является стереофонической и совместимой, когда весь экран трубки засвечен сложным узором, быстро изменяющимся по конфигурации, с примерно одинаковыми размерами по всем направлениям (рис. 2.20,*в*). Это означает, что в левом и правом каналах присутствуют сигналы от различных инструментов, не связанные между собой.

Если фигуры на экране растянуты вдоль горизонтальной оси (рис. 2.20,*г*), это означает, что передача несовместима, сигналы в каналах Л и П близки друг другу, но находятся в противофазе. Наконец, если в одном из каналов сигнал преобладает над сигналом другого канала, то в этом случае получается либо изображение рис. 2.19,*д*, когда преобладает сигнал левого канала, либо рис. 2.19,*е*, когда преобладает сигнал правого канала.

В нашей стране применяются в основном два типа стереогониометров отечественного производства: МЭЗ-907 и Г-2.

Другим прибором для оценки стереобаланса и совместимости является стереокоррелометр. Типовой стереокоррелометр состоит из суммарно-разностного преобразователя, двух выпрямителей, интегрирующей цепи и стрелочного показывающего прибора.

На входы коррелометра, фактически на входы суммарно-разностного преобразователя, подаются сигналы левого X и правого

Y стереосигналов. На выходах суммарно-разностного преобразователя получаются сигналы X+Y и X—Y. Эти сигналы затем выпрямляются детекторами, превращаются в униполярные сигналы |X+Y| и |X—Y| и подаются встречно на интегрирующую цепь, параллельно которой включен стрелочный показывающий прибор. Если преобладает суммарный сигнал |X+Y|, то стрелка показывающего прибора отклоняется из среднего положения вправо (R на рис. 2.20,*ж*) — случай передачи, близкой к монофонической. При противофазном включении входных сигналов преобладает разностный сигнал |X—Y|, стрелка отклоняется влево — L. При стереофоническом входном сигнале стрелка прибора слегка колеблется вблизи среднего (нулевого) положения.

3. Запись стереофонических сигналов

3.1. СПОСОБЫ ЗАПИСИ

Современная технология создания стереофонических программ основана на предварительной записи исходных звучаний, их редактировании и монтаже. Непосредственное стереофоническое вещание из студий, концертных и театральных залов почти не практикуется. Это обусловлено сложностью формирования стереофонических сигналов и возможностью ошибок в регулировании исходных сигналов, ухудшающих качество звучания и не поддающихся последующему исправлению. Предварительная запись делается в удобное для исполнителей время. Прослушивание исполнителями записей, сделанных во время репетиций, позволяет им внести поправки в исполнение, устранить художественные и технические недочеты.

Из предыдущей главы читателю уже известно, что наряду с двухканальной системой формирования стереофонических сигналов используются комбинированные, многоканальные системы, поэтому помимо двухканальных все шире используются многоканальные магнитофоны, с числом каналов до 16 ... 24. Появилась возможность независимо записывать не только отдельные оркестровые группы, но даже отдельные инструменты, голоса солистов, а затем из первичных фонограмм методом проб и сравнений получать двухканальные (при необходимости четырехканальные и даже с большим числом каналов) стереофонические записи. Иногда после смешивания и регулирования исходных сигналов на свободные дорожки магнитной ленты в многоканальном магнитофоне записывают несколько синхронных вариантов звучания, а затем, выбирая наилучшие фрагменты звучания, монтируют методом электронного монтажа окончательный вариант.

Тиражирование стереофонических записей в зависимости от их назначения осуществляют магнитным, механическим, фотографическим способами.

Разрабатывают способы записи информации на неподвижный носитель, представляющий собой гигантское число коммутируемых ячеек памяти. С помощью таких устройств записывают не только речевые, но и музыкальные программы с шириной полосы частот до 10 кГц и длительностью звучания порядка десятка минут.

Аналоговая и цифровая магнитная запись нашла широкое применение в звуковом и телевизионном вещании. В качестве носителя используют магнитную ленту и магнитные диски. Механическая запись широко используется в быту. Граммофонные пластинки известны почти каждой семье. Фотографическая запись — непременная принадлежность современных звуковых кинофильмов. Это обусловлено единством процессов фиксации изображения и звука на киноленте. Лазерная запись на компакт-диски представляет собой объединение фотографического и механического способов записи. Пока что компакт-диски рассматриваются как более совершенный аналог стереофонических граммофонных пластинок, а может быть, и компакт-кассет, тем более что появились разнообразные устройства для одноразовой и многоразовой домашней записи на компакт-диск. Но в дальнейшем они, возможно, явятся более совершенным средством хранения вещательных фонограмм, чем магнитная лента. Устройства записи на неподвижный носитель используют в автоответчиках разнообразного назначения, в музейных и выставочных системах дачи пояснений типа «электронного стендиста».

3.2. СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ

Магнитная звукозапись основана на свойстве ферромагнитных материалов намагничиваться под воздействием магнитного поля и сохранять остаточную намагниченность по выходе из этого поля. При ненадобности полученную фонограмму можно стереть переменным магнитным полем.

Магнитная запись звука изобретена в 1898 г. датским инженером В. Паульсеном. В 1890 г. он продемонстрировал первый аппарат для записи звука на стальную проволоку. В 1920 г. В. И. Коваленков предложил для усиления сигналов при магнитной записи и воспроизведении использовать электронную лампу. Он же впервые предложил применить магнитную запись в звуковом кинематографе. Запись на стальную проволоку не обладала хорошим качеством. Невозможно было вести механический монтаж фонограмм. Подлинный переворот в технике магнитной записи произошел после внедрения гибкой немагнитной ленты с порошкообразным покрытием, применения высокочастотного подмагничива-

ния при записи и разработке кольцевой магнитной головки. В 1921 г. наш соотечественник Назаришвили предложил использовать в качестве носителя бумажную ленту, покрытую слоем никеля. В 1925 г. И. К. Крейчман в СССР получил патент на носитель из целлулоидной ленты, покрытой ферромагнитным порошком. Этот носитель в 1928 г. был усовершенствован в Германии Пфлоймером. Запись с высокочастотным подмагничиванием на стальную проволоку была предложена в 1937 г. Карлсоном и Карпентером в США, на стальную ленту Нагаи, Сасаки и Ендо в 1937 г. в Японии и на порошковую ленту в 1941 г. Браунмюлем и Вебером в Германии. Кольцевую головку предложил в 1935 г. Э. Шюллер (Германия). Выпуск магнитофонов был начат в Германии в 1934 г. фирмой AEG. Первые советские аппараты магнитной записи разработаны в 1933 г. Большой вклад в разработку советских магнитофонов внесли советские специалисты под руководством И. Е. Горона и В. Г. Королькова. Стереофоническая магнитная запись была продемонстрирована И. Е. Гороном в 1947 г.

Упрощенная структурная схема аппарата магнитной записи звука показана на рис. 3.1. Записываемые электрические сигналы со входа магнитофона через усилитель записи УЗ поступают в обмотку головки записи ГЗ, представляющей собой особый электромагнит. В сердечнике ГЗ создается магнитный поток, часть его через зазор в кольцевом сердечнике выходит наружу и намагничивает ферромагнитный слой ленты. При этом временные изменения сигнала преобразуются в пространственные изменения остаточной намагниченности ленты. В сердечнике головки воспроизведения ГВ, с которым соприкасается движущаяся магнитная фонограмма, возбуждается магнитный поток. Изменения магнитного потока в соответствии с законом электромагнитной индукции создают ЭДС в обмотке головки. Она усиливается в усилителе воспроизведения УВ. Ненужная фонограмма стирается головкой стирания ГС, питаемой током высокой частоты от генератора стирания и подмагничивания ГСП. Последний также служит для подмагничивания ленты с целью линеаризации процесса записи.

Лентопротяжный механизм содержит ведущий двигатель Д1, к оси которого лента прижимается роликом Р, подающий узел, снабженный двигателем Д2, и приемный узел, снабженный двигателем Д3. Вращающие моменты двигателя Д2 и Д3 противоположны. Благодаря тормозящему действию двигателя Д2, лента находится в натянутом состоянии и плотно прилегает к сердечникам головок.

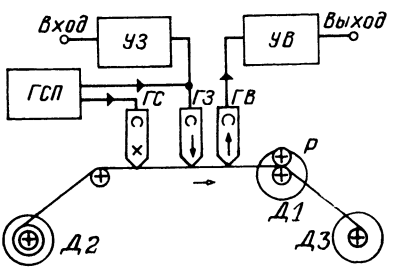


Рис. 3.1. Упрощенная структурная схема магнитофона

Многоканальные магнитофоны содержат несколько электрических трактов записи и воспроизведения. Каждому каналу записи соответствует отдельная дорожка, поэтому фонограмма содержит несколько дорожек и называется многодорожечной. В зависимости от числа дорожек используют ленты шириной 6,25; 12,5; 25,4 и 50,8 мм (соответственно 1/4; 1/2; 1; 2 дм). В кассетных магнитофонах используют ленту шириной 3,81 мм. Расположение дорожек при двух- и четырехдорожечной записи на ленте шириной 6,25 и 3,81 мм показано соответственно на рис. 3.2,*а* и *б*. Вид на ленты дан со стороны магнитного слоя, буквами «н» и «к» обозначены начало и конец фонограммы.

В профессиональных стационарных магнитофонах принимаются особые меры по стабилизации скорости движения ленты. Для этого либо добиваются постоянства частоты вращения оси ведущего двигателя механическим путем, либо применяют электронное устройство, следящее за скоростью движения ленты и исправляющее отклонения скорости от номинальной. В первом случае ведущий синхронный двигатель $Д_1$ питается от источника, имеющего стабильную частоту, например от мощного усилителя, на вход которого подается напряжение от кварцевого генератора. Однако при таком способе возможен дрейф скорости из-за проскальзывания ленты между ведущим валом и прижимным роликом. При втором способе на одну из дорожек ленты записывают сигнал от источника стабильной частоты. При воспроизведении из-за несовпадения скоростей записи и воспроизведения частота этого сигнала изменится. Устройство сравнения сличает частоты фазы воспроизводимого и опорного сигналов и вырабатывает сигнал ошибки, который служит для подстройки частоты вращения ведущего двигателя.

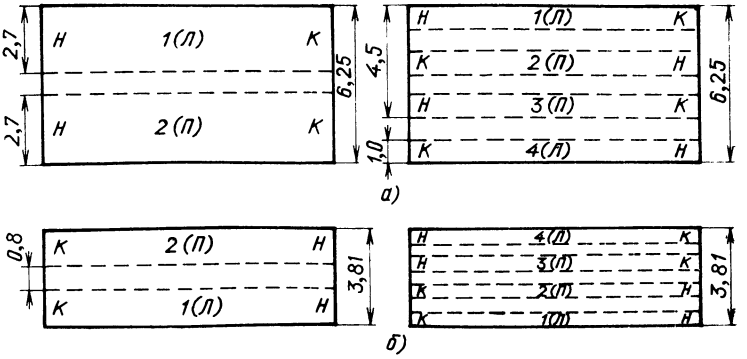


Рис. 3.2. Размещение дорожек на ленте катушечного (*а*) и кассетного (*б*) магнитофона

Современные профессиональные магнитофоны, особенно многоканальные, снабжены блоком автоматики и управления, называемым иначе автолокатором. С его помощью управляют режимом работы по любой дорожке (запись, воспроизведение, наложение, стирание, перезапись с одной дорожки на другую, изменение скорости в пределах до ±20%, нахождение по счетчику реального времени нужного места фонограммы и т. д.).

Основные параметры стационарных профессиональных магнитофонов определяются ГОСТ 12107—74. Помимо параметров, нормируемых для любых вещательных устройств (диапазон частот, неравномерность АЧХ в этом диапазоне, коэффициент гармоник, уровень помех), в ГОСТ указаны специфические для аппаратов магнитной записи параметры (скорость движения ленты, коэффициент детонации, номинальный остаточный магнитный поток, различие АЧХ и ФЧХ стереоканалов, различие коэффициентов передачи на частоте 1 кГц, переходное затухание между каналами).

Диапазон частот простирается от 31,5 до 16 000 Гц при неравномерности АЧХ в пределах допусков, указанных на рис. 3.3,*а*. В эти же допуски должны укладываться различия АЧХ трактов воспроизведения и сквозных каналов. Переходное затухание между каналами должно быть не менее норм, указанных на рис. 3.3,*б*, а фазовые сдвиги между каналами не должны превышать значений рис. 3.3,*в*. Остальные параметры стационарных профессиональных магнитофонов следующие:

	Для скорости движения ленты, см/с	
	38,1	19,05
Предельное отклонение от нормируемой средней скорости, %	±0,3	±0,3
Коэффициент детонации, %	±0,04	±0,06
Номинальный остаточный магнитный поток, нВб/м, на частоте 1 кГц	510	510
Относительный уровень помех в трактах воспроизведения, дБ	—66	—64
Относительный уровень помех в каналах записи — воспроизведения, дБ	—62	—60
Коэффициент гармоник, %, в каналах записи — воспроизведения на частоте 1 кГц	2	—
Коэффициент разностного тона второго порядка, %, в канале записи — воспроизведения	1	—
Относительный уровень стирания на частоте 1 кГц, дБ	—75	—75
Длительность пуска магнитофона в режимах записи и воспроизведения, с	1	—
Средняя наработка на отказ, ч	650	650

Примерами профессиональных стереофонических магнитофонов могут служить советские магнитофоны МЭЗ-62с, МЭЗ-102с, венгерские магнитофоны STM-210B, STM-600, STM-610. Советские магнитофоны работают с лентами А4615-6Р, А4414-6Р, А4409,

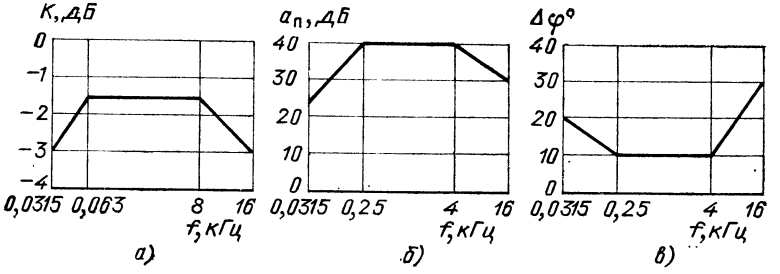


Рис. 3.3. Допуски на неравномерность АЧХ (*а*), переходное затухание (*б*) и фазовые сдвиги (*в*) между каналами стационарного стереомагнитофона

A2601-6P, венгерские — с лентами Scotsh C-250, Agfa PEP-525, Agfa PEP-555, BASF LR-56P. Венгерский многодорожечный магнитофон STM-700 при работе с лентой шириной 25,4 мм является восьмиканальным, а при работе с лентой 50,8 мм — шестнадцатиканальным. В радиодомах страны в сравнительно небольших количествах используются стереофонические магнитофоны EMS-310 чехословацкого производства, Studer (Швейцария), М-15А Телефункен (ФРГ) и некоторые другие.

3.3. СТЕРЕОФОНИЧЕСКАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ

Механическая звукозапись основана на вырезании или выдавливании в материале носителя записи канавки с помощью записывающего устройства — рекордера. При воспроизведении по канавке движется игла воспроизводящего устройства — звукоснимателя.

Идея механической записи звука на диск и цилиндр принадлежит французскому художнику и любителю-естествоиспытателю Ш. Кро. Документ на изобретение под названием «фонограф» (термин придуман Кро) он послал во Французскую академию наук 30 апреля 1877 г. В декабре того же года американец Т.-А. Эдиссон продемонстрировал действующий аппарат записи на валик (цилиндр), также названный им фонографом. В России фонограф Эдиссона был показан два года спустя. В 1879 г. немец Берлинер, эмигрировавший в 1870 г. в Америку, на основе способа и прибора, предложенного Ш. Кро, разработал устройство, названное им граммофоном (буквально «записанный звук»), а также способ копирования первичной фонограммы фотохимическим путем на цинковый диск (патент от 26 сентября 1887 г.). Год спустя он предложил способ тиражирования граммофонных пластинок с помощью металлической матрицы. Этим изобретением была практически решена задача широкого распространения записей на дисках. Запись на валики фонографа некоторое время

развивалась параллельно с записью на диск, но не выдержала конкуренции с последней. Главным недостатком записи на валик (цилиндр) оказалась невозможность тиражирования записей.

В России грампластинки начали выпускать в 1907 г. Матрицы для прессования пластинок сперва ввозились из-за границы, а с 1910 г. начали изготовляться в стране. Немец Карл Молль выпускал в России эмалированную посуду. Разбогатев, он купил в Апрелевке под Москвой участок земли и, основав торговый дом «Моль, Фогт и Кибарт», начал в 1910 г. производство грампластинок. Несколько позже грампластинки стали выпускать и на Рижском заводе.

До 1924 г. запись проводилась чисто акустическим путем. Позже стали использовать микрофон и электронные усилители. Выпускались пластинки диаметром 25 и 30 см. При частоте вращения 78 об/мин. длительность их звучания составляла соответственно 3 и 5 мин. В 1948 г. фирма «Джи-Ви-Си» (США) на основе изобретения своего сотрудника венгра Петера Голдмарка продемонстрировала долгоиграющую (Long Play) пластинку. В СССР промышленный выпуск монофонических долгоиграющих пластинок был начат в 1951 г. Несколько позже появились стереофонические пластинки. Наибольшая длительность звучания долгоиграющих пластинок диаметром 17,5 см составила 9 мин при диаметре 25 см — 18 мин и при диаметре 30 см — 27 мин.

Процесс механической записи состоит из нескольких этапов. Все предварительные операции по записи, редактированию и монтажу фонограммы ведут с помощью магнитной записи. Окончательно смонтированную магнитную фонограмму переводят в механическую на станке записи, схема которого изображена на рис. 3.4. Он имеет массивный диск (планшайбу) *1*, вращаемый двигателем *2*. Рекордер *4* с помощью механизма *3* перемещается в радиальном направлении. В качестве первичного носителя записи *5* используют пластинку из аморфной (лишенной кристаллической структуры) меди по технологии DMM (Direct Metal Mastering) или на дюралюминиевый диск, покрытый лаковым слоем («лаковый диск»). Алмазный резец рекордера постепенно перемещается

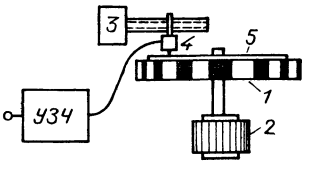


Рис. 3.4. Схема станка механической записи

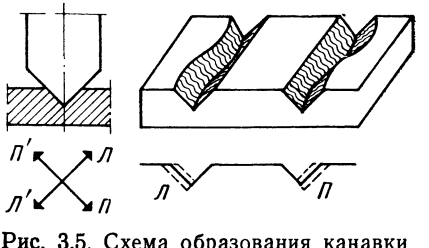


Рис. 3.5. Схема образования канавки стереофонической фонограммы

в радиальном направлении от края к центру диска. При отсутствии сигнала получается канавка без изгибов («немая»). При наличии сигнала резец вырезает канавку меняющейся формы. При движении резца влево-вправо от среднего положения канавка приобретает извивы (поперечная запись), при движении резца вверх-вниз от среднего положения ширина и глубина канавки меняется (глубинная запись). Разработка первого способа принадлежит Ш. Кро, второго — Т.-А. Эдиссону. После окончания записи на поверхность лакового диска наносят слой серебра, служащий затем токопроводом при электрохимическом нанесении слоя никеля. Когда он достигает толщины 0,3 ... 0,4 мм, его осторожно отделяют от лакового диска. Это — первый оригинал. С него электрохимическим (гальваническим) путем получают несколько (до десятка) вторых оригиналов. После отделения второго оригинала его прослушивают как обычную граммофонную пластинку. Обнаруженные дефекты устраняют гравировкой, контролируя работу под микроскопом. С «отретушированных» вторых оригиналов снимают третьи, толщиной примерно 0,25 мм. Для увеличения прочности их покрывают слоем хрома и используют в качестве матриц при прессовании пластинок из винилита (сополимера винилхлорида) с добавкой 15% винилацетата и небольшой добавкой размягчающих и окрашивающих веществ. Одной матрицей без существенного ухудшения качества прессуют до тысячи пластинок. Аналогичные операции выполняют после записи по технологии DMM.

Процессы изготовления первого оригинала и матриц довольно сложны и дороги. Однако технология изготовления пластинок в заводских условиях сравнительно проста, и большая стоимость первичной записи мало сказывается на стоимости грампластинок ввиду их больших тиражей.

Задача получения двухканальной (стереофонической) фонограммы при механической записи решается путем комбинированного использования поперечной и глубинной записи. Управлять движением резца в горизонтальном и вертикальном направлениях непосредственно сигналами левого и правого каналов нецелесообразно ввиду некоторого различия свойств поперечной и глубинной фонограмм и трудностей разделения сигналов в звукоснимателе. Чтобы устранить эти различия, оба направления смещения резца поворачивают на 45° (рис. 3.5) и сигналы каждого канала записывают одновременным перемещением резца в горизонтальном и вертикальном направлениях. Тогда движения иглы звукоснимателя, воспроизводящей сигнал одного канала, происходят по направлению слева сверху — вправо вниз и в обратном направлении, другого канала — справа сверху — влево вниз и в обратном направлении. Итак, чтобы получить двухканальную стереофоническую фонограмму, резцу сообщают перемещения в двух взаимно перпендикулярных направлениях, причем оба они находятся под углом

45° к плоскости диска (пластинки). Угол раскрытия стенок канавки равен 90°, поэтому на каждой стенке канавки записывают один сигнал: на внешней стенке (ближе к краю пластинки) сигнал правого канала, на внутренней (ближе к центру пластинки) — сигнал левого канала.

Стандартизована и фазировка сигналов в каналах. Выходные напряжения звукоснимателя находятся в фазе, когда игла подается вверх для левого канала и вниз для правого (или наоборот). Этот порядок принят по следующим соображениям. При вращении пластинки возникают вертикальные перемещения иглы, обусловленные короблением пластинки и биениями диска проигрывателя из-за неточной насадки на ось, в результате чего плоскость диска не перпендикулярна оси. Если бы сигнал одного канала был записан способом глубинной записи, а другого — способом поперечной записи, то помеха, обусловленная вертикальными перемещениями иглы, воспроизводилась бы только в одном канале. Смещением направлений записи на 45° достигается противофазное и примерно одинаковое по амплитуде распределение напряжения этих помех по обоим каналам. В результате звучание помехи распределяется по всей ширине базы и не локализуется, что уменьшает ее заметность.

При синфазных сигналах равной амплитуды (монофоническая запись) игла перемещается только в горизонтальном направлении, поэтому при объединении сигналов обоих каналов с целью монофонического воспроизведения слуховое восприятие помех еще более ослабляется.

При квадрофонической записи на каждой стенке канавки спектром звуковых частот записывают сигналы передних каналов ЛП и ПП, а на поднесущей частоте—спектром амплитудно-модулированных сигналов — сигналы задних (тыльных) каналов ЛТ и ПТ. Полный спектр записи при этом простирается до 40 ... 45 кГц. Первоначально при записи столь широкополосных сигналов рекордерами с ограниченной шириной полосы пропускания прибегали к искусственному приему: воспроизведение первичной фонограммы с магнитофона и запись лакового диска вели с уменьшенной скоростью, отличной от скорости воспроизведения. При этом удавалось сузить ширину спектра записываемых сигналов более чем вдвое — с 45 до 20 кГц.

Воспроизведение граммофонных пластинок ведут с помощью электропроигрывающих устройств (ЭПУ). Они содержат движущий механизм и звукосниматель и предназначены для встраивания в бытовую электроакустическую аппаратуру, например в радиоприемники и электропроигрыватели. Сочетание радиоприемника с ЭПУ называют *радиолой*. Электропроигрыватель — это ЭПУ в отдельном футляре. Автономное электропроигрывающее устройство, содержащее, кроме движущего механизма и звукоснимателя,

усилители и электроакустические системы (громкоговорители), называют *электрофоном.* Выпускают также комбинированные устройства, содержащие, кроме ЭПУ, магнитофонную панель — магниторадиолы.

Буквенно-цифровое обозначение ЭПУ состоит из нескольких частей. Первая цифра обозначает группу сложности, далее следуют буквы ЭПУ, вторая и третья цифры обозначают порядковый номер разработки. В обозначении стереофонических ЭПУ, содержащих звукосниматель с электромагнитной головкой, добавляют буквы СМ, содержащих звукосниматель с пьезоэлектрической головкой, добавляют буквы СП. Наконец, следует обозначение стандарта. Например, наименование 2-ЭПУ-65СМ ГОСТ 18631—83 обозначает: 65 модель стереофонического ЭПУ второй группы сложности с электромагнитной головкой. Параметры стереофонических электропроигрывающих устройств должны соответствовать ГОСТ 18631—83, аналогичному стандартам СЭВ 3190—81 и СЭВ 3195—81. Основные из них следующие:

	Норма по группам сложности		
	0	1	2
Диапазон воспроизводимых частот, Гц, не уже	20 ... 20000	31,5 ... 16000	40 ... 12500
Неравномерность АЧХ в заданном диапазоне частот, дБ, не более	По рис. 3.6,*а*	По рис. 3.6,*б*	По рис. 3,6,*в*
Чувствительность на частоте 1 кГц, мВ/см/с:			
со встроенным корректирующим усилителем	70 ... 200	70 ... 200	70 ... 200
с электромагнитным звукоснимателем	0,7 ... 2,0	0,7 ... 2,0	0,7 ... 2,0
с пьезоэлектрическим звукоснимателем	—	—	70 ... 200
Переходное затухание между стереоканалами, дБ, на частотах, Гц:			
315	20	20	10
1000	25	20	15
5000	20	15	10
10000	15	10	0
Разбаланс чувствительности звукоснимателя на частоте 1000 Гц, дБ, не более	1	2	2
Разбаланс АЧХ звукоснимателя в диапазоне частот 315 ... 6300 Гц, дБ, не более	2	2	3
Коэффициент детонации, %, не более, при питании от сети переменного тока	0,08	0,15	0,20
Отношение сигнал-рокот, дБ, не менее, при использовании фильтра типа Y	70	60	55

Отношение сигнал-фон, дБ, не менее:			
со встроенным корректирующим усилителем	66	62	54
без встроенного корректирующего усилителя	70	66	57
Прижимная сила, мН, не более:			
для электромагнитного звукоснимателя . .	15	20	30
для пьезоэлектрического звукоснимателя . .	—	—	70
Частота основного механического резонанса звукоснимателя, Гц:			
не менее	6	—	—
не более	12	—	—
Потребляемая от электрической сети мощность, Вт, не более	30	20	20
Масса ЭПУ, кг, не более .	11	7	5

Для фильтра типа Y максимум АЧХ приходится на частоту 315 Гц. В области частот от этой частоты до 20 Гц спад 40 дБ, на частотах выше 315 Гц и до 3000 Гц спад примерно 30 дБ.

Допуски на неравномерность АЧХ показаны на рис. 3.6. Номинальные частоты вращения диска ЭПУ—$33^{1/3}$ и 45,11 об/мин. Диаметр шпинделя диска для установки обычных пластинок должен быть 7,24 мм при допустимых отклонениях — +0,04 ... ... —0,13 мм. Наружный диаметр вкладыша для установки пластинок с увеличенным центровым отверстием, предназначенных для воспроизведения с частотой вращения 45,11 об/мин, — 38,2 мм при допустимых отклонениях +0,08 ... —0,24 мм. Стереофонические ЭПУ выпускаются трех групп сложности: 0 (высшая), 1 и 2. Группа сложности определяет параметры качества и наличие дополнительных удобств, облегчающих эксплуатацию.

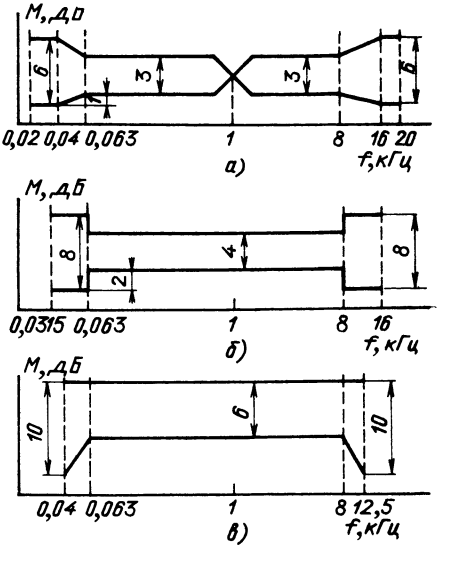


Рис. 3.6. Допуски на неравномерность АЧХ стереофонических электропроигрывающих устройств высшей (*а*), первой (*б*) и второй (*в*) групп сложности

Звукосниматели, применяемые в ЭПУ, характеризуются чувствительностью, формой АЧХ в заданном диапазоне частот, переходным затуханием между каналами, прижимной силой, удерживающей иглы в канавке. Лучшие образцы электромагнитных звукоснимателей развивают на частоте 1 кГц напряжение несколько десятков милливольт. Ширина полосы пропускания 0,01 ... 25 кГц при неравномерности АЧХ не более ±2 дБ. Недостатки электромагнитных звукоснимателей: сложность изготовления и обусловленная этим довольно большая стоимость, чувствительность к магнитным полям рассеяния, необходимость корректирования АЧХ, а также недостаточная чувствительность. Чувствительность выражают напряжением, отнесенным к единице колебательной скорости, с которой записан сигнал. Чувствительность электромагнитных звукоснимателей не превышает 0,7 ... 2,0 мВ/см/с. Более просты и дешевы пьезоэлектрические звукосниматели с чувствительностью 50 ... 200 мВ/см/с. Они не подвержены помехам от электромагнитных полей. Однако для пьезоэлектрических звукоснимателей требуется большая прижимная сила, поэтому их игла сильнее разрушает канавку. Параметры пьезоэлектрических звукоснимателей заметно зависят от температуры и влажности, разброс чувствительности АЧХ между стереоканалами больше, чем у электромагнитных звукоснимателей.

3.4. МАТРИЧНЫЕ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ

Четырехканальная (квадрофоническая) система механической записи позволяет получить лучшее по сравнению с двухканальной качество воспроизведения. С большей выразительностью передаются пространственные эффекты, акустическая обстановка первичного помещения, усиливается эффект присутствия. Однако достигается это существенным усложнением аппаратуры записи и воспроизведения. Более тонкая структура канавки, обусловленная расширением полосы записываемых частот (примерно до 45 кГц), подвергается более быстрому износу при воспроизведении, поэтому системы с четырьмя независимыми каналами записи и воспроизведения системы дискретной стереофонии не получили широкого распространения.

Исследования ученых и инженеров пошли по пути разработки систем звукопередачи, в которых при четырех исходных и четырех выходных сигналах используются два электрических канала. Это — системы матричной передачи (рис. 3.7). Четыре входных сигнала преобразуются кодирующим устройством КУ в два комбинированных сигнала ПК и ЛК путем сложения и вычитания, а также постоянных фазовых сдвигов. Комбинированные сигналы занимают полосу частот 0,03 ... 15 кГц, поэтому они могут записываться и воспроизводиться с помощью устройств двухканальной

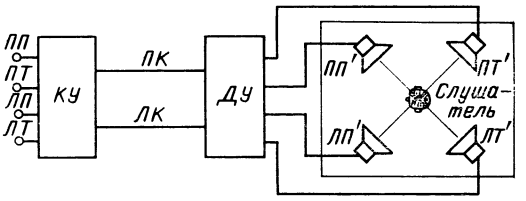


Рис. 3.7. Обобощенная структура матричных систем квадрофонии

стереофонии. В декодирующем устройстве ДУ происходят обратные преобразования. Разумеется, полного разделения исходных сигналов получить не удается, но некоторое приближение к исходным сигналам достигается.

Наибольшее распространение получили американская система, условно обозначаемая SQ (Stereo Quadrofonic System), и японская система QS (Quadrofonic System). В системе SQ сигнал ЛК получается в результате сложения трех сигналов: ЛП с уровнем 0 дБ и фазой 0°, ЛТ с уровнем, уменьшенным на 3 дБ ниже исходного (0,707 ЛТ), и фазой, отстающей на 90° по сравнению с исходной, и ПТ с уровнем на 3 дБ ниже исходного и фазой 0°:

$$ЛК = ЛП - 0{,}707\,ЛТ\,|\underline{-90°}\,+ 0{,}707\,ПТ. \qquad (3.1)$$

Сигнал ПК получают сложением трех следующих сигналов: ПП с уровнем 0 дБ и фазой 0°, ПТ с уровнем —3 дБ и фазой +90° и ЛТ с уровнем —3 дБ и фазой 180°:

$$ПК = ПП + 0{,}707\,ПТ\,|\underline{90°}\,- 0{,}707\,ЛТ. \qquad (3.2)$$

Передаваемые (записываемые) и принимаемые (воспроизводимые) сигналы ЛК и ПК представляют собой сигналы, совместимые с двухканальными (стереофоническими), причем левый и правый сигналы представляют в форме

$$ЛП' = ЛК = ЛП - 0{,}707\,ЛТ + 0{,}707\,ПТ, \qquad (3.3)$$

$$ПП' = ПК = ПП + 0{,}707\,ПТ - 0{,}707\,ЛТ. \qquad (3.4)$$

Итак, сигналы ЛП′ и ПП′ отличаются от сигналов ЛП и ПП наличием тыльных сигналов 0,707 ЛТ и 0,707 ПТ, которые слышны с меньшим уровнем, образуя звуковой фон, на котором громче слышатся передние сигналы ЛП и ПП.

Для квадрофонического воспроизведения из сигналов ЛК и ПК в декодере дополнительно формируются два тыльных сигнала ЛТ′ и ПТ′. Их получают суммированием сигналов ЛК и ПК, уменьшенных по уровню и сдвинутых по фазе так, чтобы тыльные сигналы ЛТ и ПТ имели больший уровень, а передние сигналы

образовывали звуковой фон:

$$ЛТ' = 0{,}707\,ЛК\,|\underline{+90°} - 0{,}707\,ПК = ЛТ + 0{,}707\,ЛП - \\ - 0{,}707\,ПП, \qquad (3.5)$$

$$ПТ' = 0{,}707\,ПК\,|\underline{-90°} + 0{,}707\,ЛК = ПТ - 0{,}707\,ПП + \\ + 0{,}707\,ЛП. \qquad (3.6)$$

Аналогично образуются сигналы в системе QS. Она отличается от системы SQ значениями составляющих комбинированных сигналов. В системах звуковоспроизведения SQ и QS принято расположение громкоговорителей «квадрат».

Восстановленный сигнал каждого из четырех трактов помимо полезного содержит два мешающих, несколько ослабленных сигнала из других трактов. По этой причине матричные системы обладают ограниченными пространственными возможностями. Матричная система SQ создает иллюзию пространственного звучания лишь в направлении на громкоговорители, а система QS — в ограниченных областях передней и задней баз. Это обусловлено тем, что не были в должной степени изучены законы слухового восприятия.

Разработанная специалистами ЛЭИС матричная стереофоническая система АВС в отличие от ранее рассмотренных построена с учетом пространственного слухового восприятия. Ее созданию предшествовали большие теоретические и экспериментальные работы. В результате пространственные свойства системы АВС в бóльшей степени соответствуют пространственным свойствам слуха. Декодирование сигналов в системе АВС производится по правилам:

$$ЛП' = ЛК,\ ЛТ' = ЛК - 0{,}714\,ПК,$$

$$ПП' = ПК,\ ПТ' = ПК - 0{,}714\,ЛК. \qquad (3.7)$$

Было найдено, что наивыгоднейшее расположение громкоговорителей соответствует вершинам равнобедренной трапеции (рис. 3.8). Если слушатель располагается вблизи задней базы громкоговорителей, возможна локализация КИЗ в пределах угла 360°. Существенно повышается качество звучания, заметно улучшается даже воспроизведение сигналов, записанных по обычной двухканальной системе, а пластинки, записанные по системе АВС, могут воспроизводиться и с помощью обычного двухканального электрофона.

Слушатель может находиться и за задней базой громкоговорителей. В этом случае он воспринимает весьма протяженную по фронту и в глубину пространственную панораму КИЗ, но без тыльных источников. Такое положение рекомендовано авторами системы для прослушивания классической музыки. Размеры тра-

пеции, в вершинах которой располагаются громкоговорители, некритичны. Они зависят от размеров комнаты. Не рекомендуется лишь увеличивать заднюю базу более 6 м.

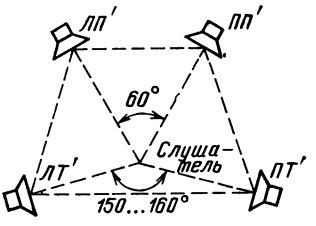


Рис. 3.8. Расположение громкоговорителей «трапеция», принятое в системе АВС

Разработаны и опробованы два декодирующих устройства. Первое включают между выходами стереофонического УЗЧ и четырьмя громкоговорителями (акустическими системами). При его использовании не требуется переделывать усилители или изменять их коммутацию, но часть мощности усилителей теряется на резисторах декодирующего устройства. Второе включают между выходами Л и П предварительного усилителя и входами четырех оконечных усилителей. К выходам последних подключают четыре акустические системы [4].

Рассмотрим схему первого (пассивного) декодирующего устройства (рис. 3.9). На входе имеется индикатор баланса. Его включают при балансировке усилителей. На два входа УЗЧ в этом случае подают монографический сигнал. Индикатор выполнен на светодиоде Д1 и повышающем автотрансформаторе Тр1. Балансировку производят при нажатой кнопке S1. Режим работы устанавливают кнопками S2 и S3. При нажатии кнопки S3 («Сте-

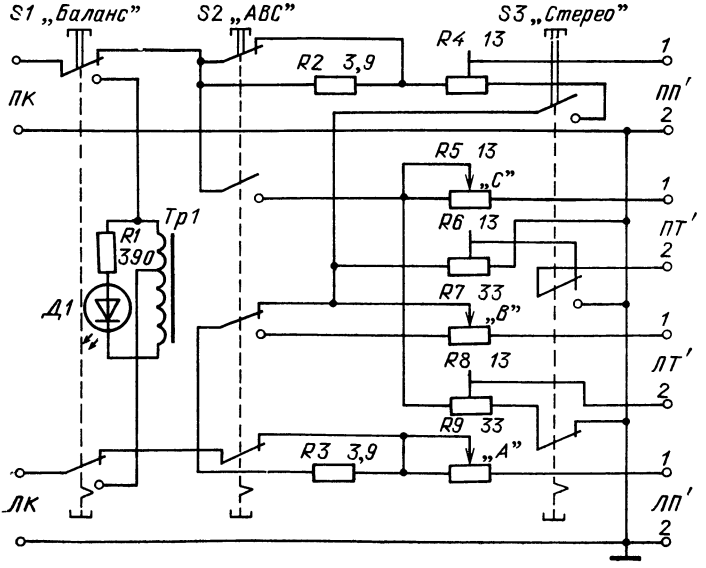


Рис. 3.9. Схема декодирующего устройства системы АВС

рео») действуют громкоговорители ПП и ЛП, а кнопки S2 («АВС») — все четыре громкоговорителя. Вычитание сигналов для тыльных громкоговорителей в режиме «АВС» производится с помощью резисторов R6 и R8. При этом коэффициенты передачи делителей напряжения, образованных с помощью резисторов R6 и R8, соответствуют коэффициентам выражения (3.7). При одновременном нажатии кнопок S2 и S3 обычная двухканальная запись воспроизводится с расширенной базой. Этот режим работы авторами системы условно назван «Объемное стерео».

Формулы декодирования в режиме «Объемное стерео» имеют вид:

$$ЛП' = ЛК,\ ПП' = 0{,}714\ (ЛК + ПК),\ ЛТ' = 0{,}52\ (ЛК - ПК),$$
$$ПТ' = 0{,}714\ ПК. \qquad (3.8)$$

Сложение сигналов Л и П в режиме «Объемное стерео» в тракте правого переднего громкоговорителя происходит на сопротивлении громкоговорителя ПП, а вычитание сигналов — как и в режиме «АВС», только с отношением сопротивлений, равным единице.

«Расстановка» кажущихся источников звука А, В, С производится переменными резисторами R9, R7, R5 при прослушивании записанных на демонстрационную пластинку испытательных сигналов А, В, С. При воспроизведении обычных стереофонических пластинок желаемую пространственную панораму создают «по вкусу» с помощью тех же переменных резисторов.

В последние годы разработаны так называемые адаптивные матричные системы. Адаптация заключается в оперативном изменении коэффициентов передачи трактов воспроизведения в зависимости от текущих значений сигналов ЛК и ПК. Цель адаптации — повышение качества звучания по сравнению с обычной двухканальной стереофонией. Предельно достижимое качество звучания в адаптивных системах соответствует тому, какое получается в многоканальной стереофонической системе [20].

Структурная схема адаптивной матричной системы показана на рис. 3.10. На входы 1 ... N пульта звукорежиссера ПЗ подают сигналы от микрофонов или многоканального магнитофона. С помощью панорамного кодирующего устройства ПКУ, входящего в состав пульта, формируют пару сигналов ЛК и ПК. В приемную часть системы входят адаптивное декодирующее устройство АДУ с блоком управления БУ и управляемой декодирующей матрицей УДМ. Все состояния сигналов ЛК и ПК анализируются. В зависимости от совокупности признаков, содержащихся в сигналах, по заложенному в блок управления алгоритму вырабатываются управляющие сигналы, воздействующие на декодирующую матрицу. В результате изменяются сигналы, подава-

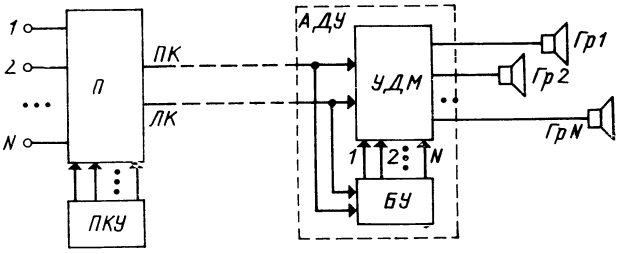


Рис. 3.10. Структурная схема матричной стереофонической системы с адаптацией трактов воспроизведения

емые на громкоговорители. Итак, из каждой пары первичных сигналов, поступающей на вход матрицы, формируется своя, расположенная особым образом в пространстве вторичного помещения совокупность кажущихся источников звука.

Следует отметить, что широкому распространению дискретных и матричных систем квадрофонии препятствует довольно большая стоимость четырех акустических систем. Воспроизводящие устройства четырехканальных систем механической записи примерно вдвое дороже двухканальных.

Фотографическая запись, родоначальником которой является отечественный изобретатель, доктор медицины А. Ф. Викшемский (патент 1889 г.), в данной книге не рассматривается, поскольку она в звуковом вещании давно не используется. Цифровые способы записи на магнитную ленту и компакт-диск описаны далее в гл. 9.

4. Устройства обработки стереофонических сигналов

4.1. ВИДЫ ОБРАБОТКИ

Под обработкой (преобразованием сигналов) понимают такие преднамеренные изменения параметров сигналов звукового вещания, которые производят с целью коррекции частотных искажений, получения определенного тембра звучания, сжатия динамического диапазона сигналов, уменьшения уровня помех (шумов), создания спецэффектов и т. д. Для сигналов художественного вещания главной задачей обработки является обеспечение высокого качества звучания, для информационного вещания — разборчивости речи. При этом желательно сохранить динамический диапазон по возможности ближе к естественному:

В зависимости от изменяемого параметра полезного сигнала возможны следующие виды обработки:

частотная, в результате которой изменяется спектральная плотность сигнала по диапазону частот и, следовательно, спектр сигнала;

динамическая, приводящая к изменению соотношения уровней и динамического диапазона сигналов;

шумоподавление, достигаемое как применение одного из названных двух видов обработки, так и совместно обоих видов;

временна́я, с помощью которой осуществляют задержку сигнала во времени или изменение временной структуры сигналов;

спецэффекты или комбинированная, т. е. сочетание рассмотренных выше различных видов частотной, динамической и временно́й обработки с целью получения новых специфических эффектов.

Устройства частотной обработки предназначены либо для выравнивания амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) каналов передачи, либо для преднамеренного отклонения АЧХ от горизонтали, Так, для повышения разборчивости речи рекомендуют осуществлять спад АЧХ в области нижних и верхних частот звукового диапазона и подъем в области частот 3 ... 5 кГц [26, 27, 28]. Для создания «эффекта присутствия» увеличивают коэффициент передачи в узких частотных полосках в диапазоне 0,7 ... 4 кГц. Частотную обработку осуществляют различными фильтрами и корректирующими контурами (корректорами), с помощью которых можно изменять спектр сигналов во всем диапазоне звуковых частот. Применяются следующие типы корректоров: корректоры с плавным подъемом и спадом АЧХ в области нижних и верхних частот, фильтры среза нижних и верхних частот, «фильтры присутствия», эквалайзеры (многополосные корректоры).

Устройства динамической обработки сигналов оказывают большое влияние, прежде всего, на динамический диапазон вещательных передач. Так, динамический диапазон симфонической музыки в отдельных случаях достигает 70 ... 80 дБ. По аналоговым каналам связи сигналы с таким большим динамическим диапазоном передавать нельзя, поэтому звукорежиссеры с помощью ручных и автоматических регуляторов уровня уменьшают динамический диапазон исходного звукового материала примерно до 40 дБ, что уже приемлемо.

Есть другая причина необходимости такой обработки — условия прослушивания дома. В домашних условиях обычно передачи прослушиваются при акустических уровнях примерно 80 дБ. Уровни акустических помех (шумов) чаще всего не менее 35 ... 40 дБ над порогом слышимости. Следовательно, динамичес-

кий диапазон прослушиваемых передач в реальных домашних условиях не может превышать 30 ... 40 дБ.

Динамическую обработку производят прежде всего с помощью ручных регуляторов уровня, довольно часто, хотя и неправильно, называемых микшерами (mixer — смеситель). Они находятся в звукорежиссерских пультах. Исследования показали, что время реакции звукорежиссеров и операторов на изменение уровней не менее 2 с, причем погрешность в выдерживании уровней в пределах допустимых максимальных значений достигает ±4 дБ. В связи с этим в помощь звукорежиссерам разработаны и используются различные автоматические регуляторы уровня — ограничители (лимиттеры), сжиматели (компрессоры), расширители динамического диапазона (экспандеры), автостабилизаторы, различные авторегуляторы со сложным преобразованием динамического диапазона.

Устройства шумоподавления обеспечивают улучшение отношения сигнал-шум на выходе канала передачи или устройства записи-воспроизведения сигналов. Первый способ улучшения отношения сигнал-шум заключается в применении частотных предыскажений. В начале тракта, на который воздействует помеха, включают предыскажающий контур, поднимающий на 10 ... 20 дБ спектральные составляющие верхних частот и тем самым увеличивающий отношение сигнал-шум, а в конце тракта — восстанавливающий контур, снижающий уровни верхних частот на 10 ... 20 дБ. За счет восстанавливающего контура спектр полезного сигнала преобразуется к исходному виду.

Второй способ шумоподавления основан на применении компандерных систем с установкой компрессора (сжимателя динамического диапазона) в начале тракта и экспандера (расширителя) в его конце. С помощью компрессора минимальные уровни сигнала с —40 дБ поднимаются до —20 дБ, тем самым «отрываясь» от уровней шумов тракта. Экспандер вновь расширяет диапазон, снижая минимальные уровни сигнала с —20 дБ до —40 дБ. Соответственно снижаются уровни шумов.

Эти методы шумоподавления применяются в трактах как телерадиокомпаний при звукозаписи и трансляциях, так и Министерства связи. При записи и трансляциях применяются также пороговые шумоподавители, которые обеспечивают шумоподавление в паузах передачи.

Третий способ шумоподавления заключается в применении адаптивных устройств, которые автоматически изменяют свои параметры в зависимости от спектра и уровня поступающего на их вход сигнала.

Устройства временно́й обработки сигналов — это прежде всего реверберато́ры. Во многих случаях, особенно при записи музыки, звукорежиссеры используют устройства искусственной ревер-

берации для имитации бóльшего значения времени реверберации, чем это имеет место реально в данной студии или концертном зале. В частности, в музыкальных телевизионных студиях время реверберации чаще всего меньше оптимального значения. При литературно-драматических передачах также часто возникает необходимость имитировать звучание большого гулкого помещения. К устройствам временнóй обработки сигналов относятся также линии задержки. Но их с таким же успехом можно отнести и к устройствам спецэффектов.

К устройствам спецэффектов относятся прежде всего такие устройства обработки звуковых сигналов, которые приводят к совершенно новому, непривычному, неизвестному ранее звучанию. К устройствам спецэффектов относятся особые автоматические регуляторы уровней. Так, *вокалстрессор* представляет собой сочетание эквалайзера с авторегулятором типа компрессор — экспандер — лимиттер. Вокалстрессор позволяет получить различные эффекты, в том числе эффект выделения вокалиста. Авторегулятор типа *комплекс* также создает спецэффекты путем различного сочетания режимов работы компрессора — экспандера — лимиттера. *Гармонайзер* представляет собой устройство, транспонирующее спектр сигнала в óбласть нижних или верхних частот, что приводит к повышению или понижению тембра, следовательно, к «эффекту Буратино», эффекту гулкости, баса. Он же имитирует эффект задержки, ревеберации. Устройство обработки типа *эксайтер* представляет собой синтезатор, позволяющий, в частности, на основе наличия низкочастотных составляющих звукового сигнала обогатить спектр в области верхних частот. Большинство устройств обработки сигналов звукового вещания находится в звукорежиссерских (микшерных) пультах или установлены в стойках, связанных с пультами.

4.2. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЗВУКОРЕЖИССЕРСКИЕ ПУЛЬТЫ

Звукорежиссерский (микшерный) пульт представляет собой сложное устройство, состоящее из большого числа конструктивно объединенных блоков и предназначенное для обработки звуковых сигналов в процессе подготовки, формирования и выпуска программ звукового вещания.

Первоначально микшерный пульт состоял в основном из нескольких индивидуальных ручных регуляторов уровня и одного общего. Вместе они составляли смесительное (микшерное) устройство. Отсюда пошло и второе название самого пульта.

По своему назначению микшерные пульты условно можно разделить на три группы: звукорежиссерские микшерные пульты записи; микшерные пульты перезаписи и монтажа; вещательные микшерные пульты.

Самыми сложными микшерными пультами являются *звукорежиссерские пульты записи.* Их сложность определяется большим числом входных микрофонных трактов (линеек) и разнообразием устройств частотной и динамической обработки сигналов. В зависимости от сложности звукорежиссерские пульты записи делятся на малые, средние и большие. Малые звукорежиссерские пульты имеют 6—12 микрофонных трактов, среднее — 16—20, большие — 24—60.

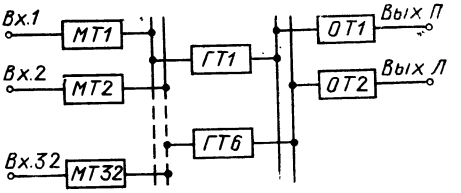


Рис. 4.1. Упрощенная схема микшерного пульта

По числу последовательно коммутируемых трактов (линеек) звукорежиссерские пульты записи делятся на трехзвенные и двухзвенные. Трехзвенные пульты содержат микрофонные МТ (индивидуальные, входные), групповые ГТ и общие ОТ (выходные, линейные) тракты (рис. 4.1).

Все современные звукорежиссерские пульты записи — стереофонические (в дальнейшем при рассмотрении звукорежиссерских пультов не будем повторять слово «стереофонический»). При этом, естественно, они обеспечивают возможность производить и монофонические записи. Более того, можно одновременно получить как стереофоническую, так и монофоническую записи.

В процессе творческой работы за микшерным пультом звукорежиссер может осуществлять следующие преобразования звуковых сигналов:

усиление сигналов;

регулирование уровней сигналов от отдельных источников и их смешивание в определенных соотношениях;

регулирование уровней от источников, сгруппированных определенным образом;

регулирование уровней общего выходного сигнала;

изменение тембральной окраски звучания различных исполнителей и инструментов;

изменение соотношения уровней сигналов с помощью компрессоров и экспандеров;

ограничение максимального уровня с помощью ограничителей (лимиттеров);

шумоподавление с помощью пороговых и компандерных шумоподавителей;

изменение акустической окраски звучания с помощью устройств искусственной реверберации, подключаемых к пульту;

изменение свойств сигналов с помощью устройств спецэффектов.

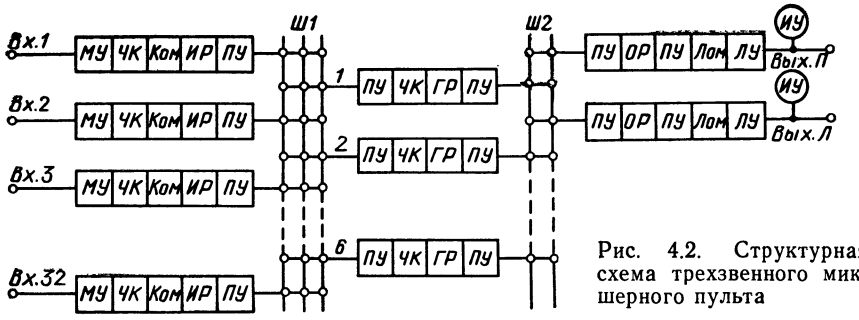


Рис. 4.2. Структурная схема трехзвенного микшерного пульта

Структурная схема пульта приведена на рис. 4.2. В состав микшерных пультов входят различные по назначению усилители (микрофонные — МУ, промежуточные — ПУ, линейные — ЛУ), частотные корректоры — ЧК, ручные регуляторы уровня (индивидуальные — ИР, групповые — ГР, общие — ОР), автоматические регуляторы уровня (компрессоры — Ком., лимиттеры — Лим.), матричные коммутаторы в виде сборных шин — Ш, измерители уровня ИУ, устройства управления, коммутации, сигнализации и др.

В течение многих лет, начиная с начала шестидесятых годов, радиодома нашей страны оснащались в основном пультами серии РКС (РКС-101, ..., РКС-112) Будапештского электроакустического завода БЕАГ, серии ЕСС-ЕС3 предприятия Тесла — Электроакустика. Этими же пультами и отечественными пультами серии «Перспектива» П-62 и П-71 оснащены телецентры страны. Имеются также пульты фирм Siemens (Австрия), Studer (Швейцария), Neve, Amek, Soundcraft (Англия), Kajaani (Финляндия) и другие. Их основные параметры даны в [28].

Рассмотрим назначение отдельных блоков микшерного пульта (рис. 4.3). Групповые тракты на рисунке не показаны, так как в их состав не входят никакие новые блоки, отличные от блоков микрофонных и общих трактов.

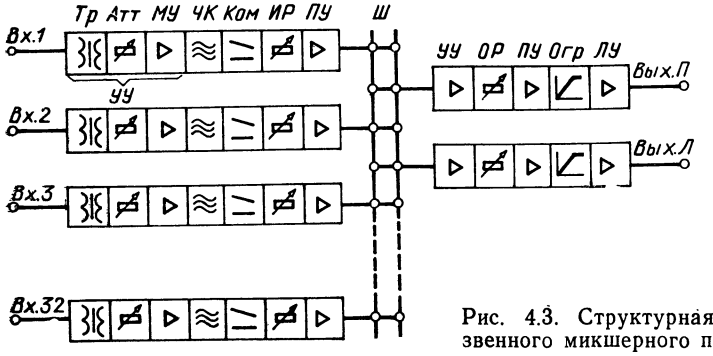


Рис. 4.3. Структурная схема двух звенного микшерного пульта

Микрофонный тракт содержит: симметрирующий трансформатор Тр, ступенчатый аттенюатор (регулятор чувствительности) Атт, микрофонный усилитель МУ, частотный корректор ЧК, компрессор Ком, индивидуальный регулятор уровня ИР, промежуточный усилитель ПУ. Последовательно включенные трансформатор, аттенюатор и усилитель МУ образуют универсальный усилитель УУ. В общий канал входят универсальный усилитель УУ, общий регулятор уровня ОР, промежуточный усилитель ПУ, ограничитель уровня Огр и выходной линейный усилитель ЛУ. Сигналы микрофонных трактов на общие поступают через коммутационную матрицу, получившую на практике название «шина» — Ш.

Входной микрофонный усилитель УУ предназначен для усиления звуковых сигналов, приходящих от источников низкого и высокого уровней, т. е. от микрофонов как с выходным напряжением в несколько милливольт (или долей милливольт), так и от магнитофонов, проигрывателей компакт-дисков, внешних источников с выходным напряжением чаще всего в пределах 0,775 ... 1,5 В. Чувствительность УУ может выбираться с помощью аттенюатора Атт. Трансформатор Тр обеспечивает симметричность входа пульта, а это, в свою очередь, способствует повышению помехозащищенности пульта. Микрофонный усилитель МУ усиливает слабые сигналы с выхода микрофона до величины 0,1 ... 0,3 В, в зависимости от выбранной для конкретного пульта диаграммы уровней. Чаще всего это 0,2 В. При поступлении на вход пульта сигналов высокого уровня универсальный усилитель работает в режиме аттенюатора, т. е. снижает входное напряжение до значения, принятого диаграммой уровня, обычно 0,2 В.

С выхода универсального усилителя УУ сигналы поступают на *частотный корректор* ЧК. Однотипные частотные корректоры имеются в каждом микрофонном тракте. В современных микшерных пультах имеется, по крайней мере, три типа корректоров: плавного подъема и спада АЧХ на нижних и верхних частотах, среза АЧХ на нижних и верхних частотах, «фильтр присутствия». Четвертый тип устройства частотной коррекции, т. е. эквалайзер, является более сложным, имеет большие габариты (из-за значительного числа регуляторов АЧХ) и поэтому чаще всего выполняется в виде отдельного устройства, подключаемого к пульту.

После частотного корректора в пульте имеются разрывные гнезда, к которым подключаются устройства динамической обработки сигналов и устройства спецэффектов. На структурной схеме рис. 4.3 в этом месте показан компрессор Ком, так как именно он чаще всего встраивается в пульт или стойку. Но в эти точки могут включаться также гармонайзеры, вокалстрессоры, эксайтеры и т. д. Известны два типа компрессоров — речевые и музыкальные. В микшерных пультах устанавливаются обычно му-

зыкальные компрессоры, обладающие по сравнению с речевыми бо́льшими функциональными возможностями, позволяющими звукорежиссерам выбирать значение сжатия и время восстановления. Время срабатывания музыкальных компрессоров 1 мс, время восстановления 0,1 ... 2 с, значение сжатия 5 ... 20 дБ.

Следующим устройством микшерного пульта являются *индивидуальные регуляторы* ИР, предназначенные для осуществления звукорежиссером наиболее важной функции по созданию звукового образа — регулирования уровней, оптимального соотношения громкости звучания отдельных источников, изменения динамического диапазона сигналов. Общие регуляторы ОР в каждом из конкретных пультов имеют такие же параметры и конструкцию, как и индивидуальные. Индивидуальные и общие регуляторы ИР и ОР, промежуточные усилители ПУ и сборная шина Ш представляют собой смесительное или микшерное устройство.

Регуляторы уровня бывают плавными и ступенчатыми. Чтобы регулировка в ступенчатых регуляторах не ощущалась на слух в виде скачков изменения громкости, шаг регулирования не должен превышать 1 дБ. Для плавных регуляторов такой проблемы не существует, поэтому они широко применяются. Существуют мастичные, оптронные, герконовые и другого типа плавные регуляторы. Диапазон регулирования уровней обычно 70 ... 80 дБ. С разработкой цифровых микшерных пультов появились ступенчатые регуляторы на совершенно иной технической основе с шагом регулировки значительно меньшем 0,1 дБ.

Промежуточные усилители, установленные в микрофонных, групповых и общих трактах микшерных пультов, выполняют функции развязки цепей (уменьшения взаимных влияний) и обеспечивают усиление сигналов на величину, определяемую затуханием, вносимым предшествующим устройством, т. е. регуляторами уровня ИР, ГР и ОР. Чаще всего это компенсация начального затухания регулятора 10 ... 15 дБ.

Ограничитель уровня (лимиттер) предназначен для ограничения максимальных уровней сигналов в пределах нормируемого номинального значения, обычно +6 дБ. Тем самым ограничитель защищает следующие за ним устройства (магнитофоны, усилители, передатчики и т. п.) от превышения номинального входного уровня. Это очень важно, так как при превышении номинального уровня возрастают нелинейные искажения. В пультах применяют ограничители инерционного типа, с определенными временны́ми характеристиками, т. е. определенными значениями времени срабатывания и восстановления. Общепринятыми являются следующие значения этих параметров: время срабатывания менее 1 мс, время восстановления 1,5 с. Последнее иногда автоматически изменяется в пределах 0,3 ... 2 с в зависимости от свойств регулируемых сигналов. Следует указать также на два других

параметра, специфических для этих устройств: диапазон ограничения D не менее 20 дБ, превышение номинального уровня d (диапазон сжатия) не более 1 дБ.

При разработке оборудования «Перспектива» за основной тип был выбран пульт П-62, имеющий 20 универсальных микрофонных каналов, восемь групповых и шесть выходных общих трактов. Предусмотрено, что слева к пульту можно прикрепить входную приставку ПР-4, а справа — приставку связи ПР-3. В этом случае получается звукорежиссерский пульт П-71 с 32 микрофонными трактами, так как к 20 микрофонным трактам пульта П-62 добавляются 12 микрофонных трактов входной приставки ПР-4.

Внешний вид пульта П-71 показан на рис. 4.4. Пульт имеет следующие габариты: длина 1995 мм, высота 1075 мм, глубина 990 мм.

Пульты П-62 и П-71 выпускались в монофоническом варианте, но они могут работать и в стереофоническом режиме. Для этого вместо входных микрофонных кассет КСИ-7 необходимо установить стереофонические кассеты КСИ-7-1, у которых в конструкции одной кассеты собрано два тракта. Таким образом, в 16 входных кассетах пульта П-71 может быть расположено либо 16 стереофонических трактов, либо 32 монофонических.

Наиболее распространенным микшерным пультом чехословацкого производства, применяемым в радиодомах Советского Союза является пульт ESS-2808. Широко применяются также пульты ESS-1806, ESS-136, ESS-2010 и другие. Микшерный пульт на 28 входов выпускается в двух модификациях: стереофонический

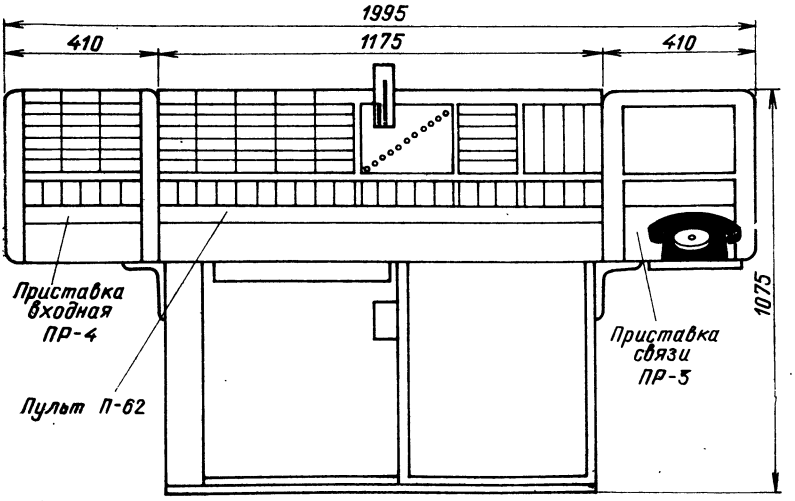


Рис. 4.4. Микшерный пульт П-71

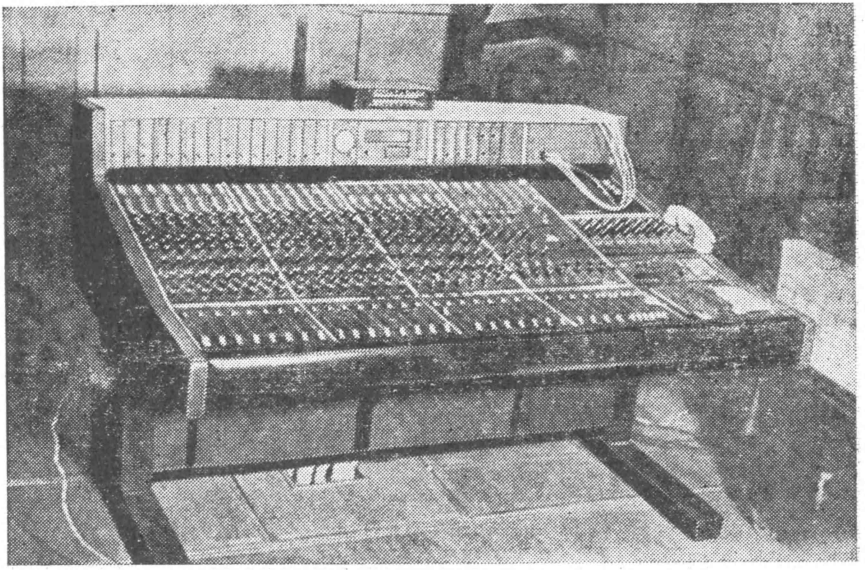


Рис. 4.5. Микшерный пульт ESZ-2808

пульт ESS-2808 и стереофонический пульт с возможностью проведения многоканальной записи типа ESZ-2808.

Внешний вид пульта ESS-2808 приведен на рис. 4.5. Пульт содержит три входных восьмиканальных блока, один выходной и один контрольный блок. В пульте 24 микрофонных входа; восемь основных выходов; два тракта реверберации (ECHO); два тракта обратного прослушивания (CUE); 24 выхода для записи на многоканальный магнитофон; выходы для стереофонического прослушивания в аппаратной и в студии; системы сигнализации, переговорной связи, контроля; панорамный регулятор уровня с возможностью регулирования между произвольными четными и нечетными сборными шинами; восемь сборных шин с электронным включением, управляемых вручную. Обеспечиваются стереофоническое прослушивание в студии и в звукорежиссерской аппаратной с регулировкой уровня плоскими регуляторами длиной 130 мм, а также электронный набор точек прослушивания с возможностью выбора стереофонического или монофонического варианта прослушивания.

Диапазон звуковых частот, Гц	31,5 ... 16000
Номинальные входные уровни, дБн:	
в положении «Микрофон»	—72 ... +12
в положении «Линия»	0 ... +6

Входное сопротивление, кОм:	
микрофонного входа, не менее	1
линейного входа, не менее	10
Допустимая перегрузка по входу, дБ	24
Номинальный выходной уровень, дБн	+6
Максимальный уровень, дБн	+20
Выходное сопротивление, Ом, не более	30
Сопротивление нагрузки, Ом, не менее	200
Коэффициент гармоник, %, на частоте 1 кГц при номинальном выходном уровне 6 дБ на нагрузке 200 Ом, не более	0,1
Приведенный ко входу абсолютный уровень помех, дБн	—125
Переходное затухание между каналами, дБ, не менее	86
Затухание закрытого канала по отношению к сборной шине, дБ, не менее	90
Габариты, мм	1668×1293×1067

Упрощенная структурная схема пульта и его диаграмма уровней приведены на рис. 4.6.

Венгерский завод БЕАГ разработал комплекс звукового оборудования ФИТ-ИС, которым были оснащены все студии и аппаратные Олимпийского телерадиокомплекса в Москве. Затем с учетом опыта эксплуатации в период Олимпиады-80 пульты были модернизированы и в таком виде выпускались в 80-е годы и продолжают выпускаться. В эксплуатации находится большое количество пультов РКС-103 с 12 входными каналами, РКС-104 с 24 входами, имеются также пульты РКС-108 с 30 входами. На-

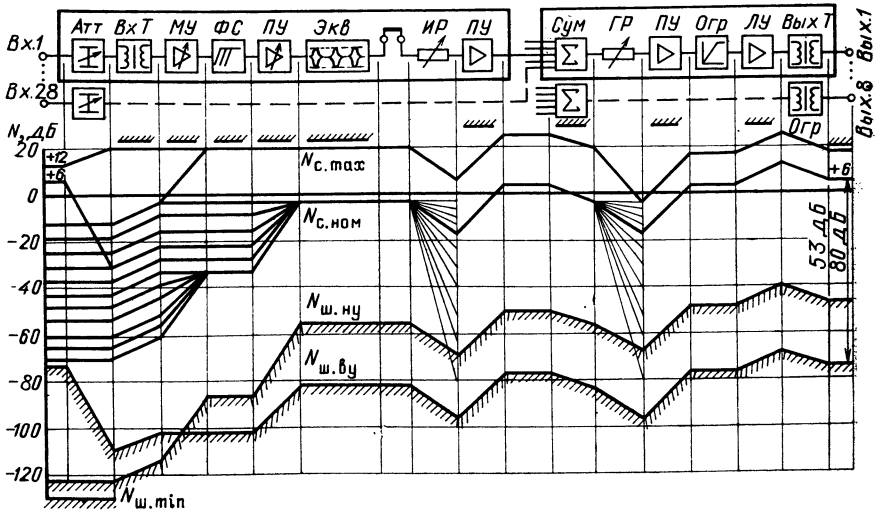


Рис. 4.6. Диаграмма уровней микшерного пульта ESZ-2808

ибольшее число каналов из пультов этой серии имеет стереофонический микшерный пульт РКС-110 с 36 входами. Все эти пульты содержат универсальные корректоры, компрессоры, лимиттеры, стереофонические регуляторы базы и направления, системы переговорной связи, измерители уровня с индикацией на светодиодах, стереогониометры и другие устройства.

На рис. 4.7 приведен микшерный пульт РКС-110. Каждый из 36 входных каналов через переключатель может подключаться к одному из шести источников с различным уровнем. В пульте 10 основных выходных каналов, которые могут использоваться и в качестве групповых каналов, а также четыре вспомогательных выходных канала.

В каждом входном и основном выходном канале имеется универсальный частотный корректор. Предусмотрено использование коммутируемых компрессоров и лимиттеров. Во входных каналах имеются два регулятора базы и направления, два регулятора глубины, два квадрофонических регулятора. В каждом входном канале после универсального корректора предусмотрено ответвление для передачи сигналов на другую микшерную систему, но оно не содержит дополнительной коррекции и регулировки уровня.

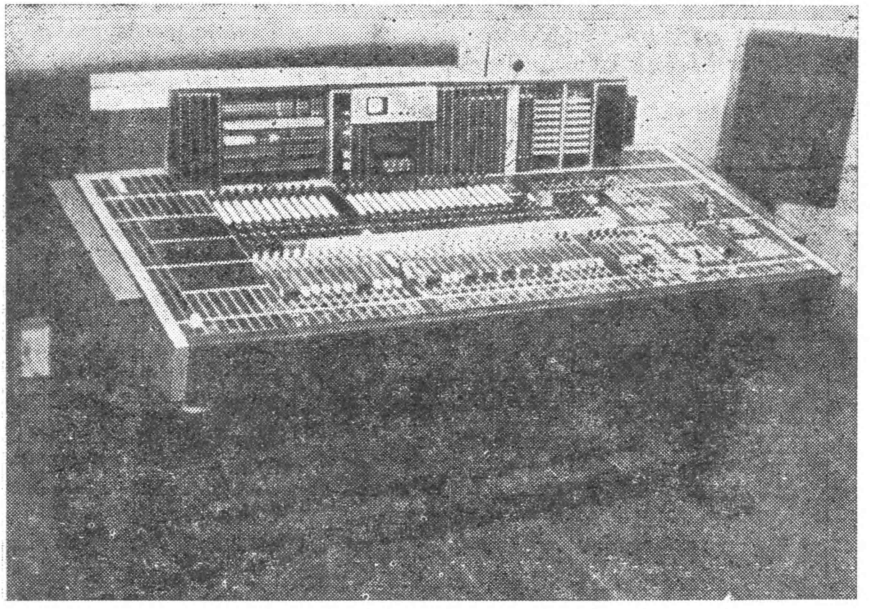


Рис. 4.7. Микшерный пульт РКС-110

За каждым из 14 выходных каналов (10 основных и 4 вспомогательных) закреплен измеритель уровня МАК-113 с индикацией на светодиодах. В пульте установлен стереогониометр УМЕ-133. Имеется коммутационная матрица 16×13 каналов, система переговорной связи с восемью абонентами, звуковой генератор, блоки дистанционного управления магнитофонами и реверберatorами. Габариты пульта: 2195×1120×970 мм.

Широкое распространение получили стереофонические микшерные пульты серии 963 фирмы Studer. При проектировании пульта размер единичного модуля был принят равным 386 мм, т. е. 15 дюймов. Ширина пульта, в зависимости от числа микшерных линеек, определяется выражением: $(386 \times n + 72)$ мм, где n — число модулей. Пульты серии 963 фирмы Штудер установлены в транспунктах Государственного Дома радиовещания и звукозаписи: Государственном Академическом Большом театре и Большом зале консерватории. Внешний вид этого пульта показан на рис. 4.8.

Пульт имеет 28 универсальных входных каналов, восемь групповых и четыре выходных канала. Вместе с тем, несмотря на большие функциональные возможности, пульт весьма компактен. Длина его равна $386 \times 3 + 72 = 1230$ мм, высота 1035 мм, глуби-

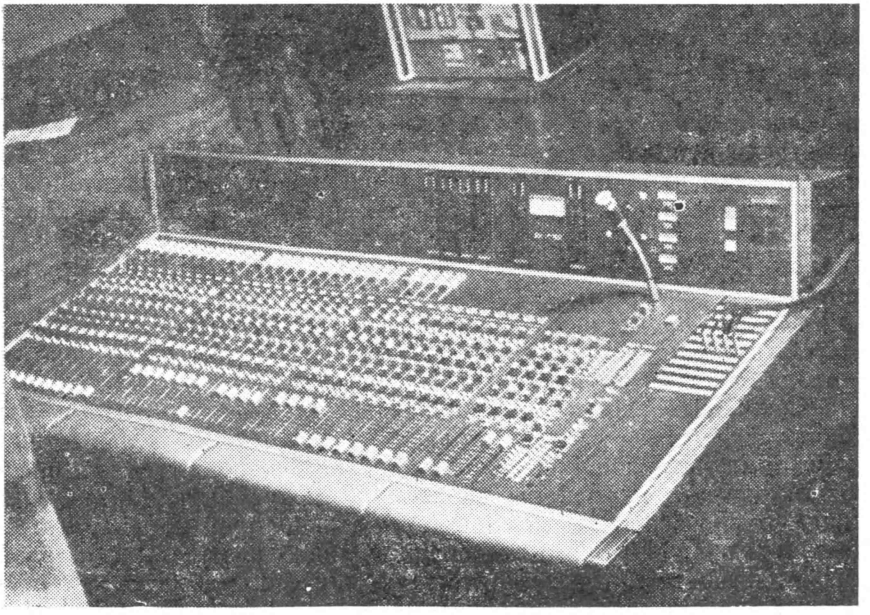


Рис. 4.8. Микшерный пульт серии 963

на 840 мм. Каждая входная линейка имеет микрофонный усилитель с чувствительностью, определяемой одним из семи положений переключателя чувствительности: —69, —54, —39, — 24 и —9 дБн в области низких уровней, +6 и +21 дБн в области высоких уровней. Имеется ручной регулятор уровня с диапазоном регулировки 70 дБн. Панорамный регулятор направления может включаться в тракт с помощью кнопки. Предусмотрено подслушивание (прослушивание) на входе с возможностью контроля сигналов с помощью квазипиковых измерителей уровня, имеющих газоразрядный показывающий прибор типа «баррграф». Предусмотрено подслушивание по выходу, при этом надо подключаться к точке после панорамного регулятора направления. В микрофонных каналах имеются отводы на «ауксы» — вспомогательные шины AUX. Отводы сделаны от точек канала до и после регулятора уровня.

В каждом из микрофонных каналов пульта серии 963 включены трехполосные частотные корректоры с возможностью регулировки АЧХ на ±15 дБ в области нижних, средних и верхних частот фильтры среза нижних частот, кнопки включения фантомного питания микрофонов +48 В, предусмотрены кнопки переключения фазы (на 180°).

Входной аттенюатор имеет восемь позиций: от генератора, с микрофона (четыре позиции), с линии (две позиции), с магнитной ленты (для многоканальной записи). Светодиод красного цвета в каждом канале является индикатором перегрузки.

В пульте предусмотрена кнопка «миксдаун» (MIX DOWN) — отключение канала по входу. В каждом микрофонном канале предусмотрена кнопка «отмена миксдауна» (MIX DOWN DEPEAT). Если нажаты кнопки «отмена миксдауна», например на второй и пятой микрофонных линейках, то при нажатии общей кнопки «миксдаун» отключаются от источников входы всех микрофонных каналов (1—28) за исключением второго и пятого, которые остаются подключенными.

В верхней части кассеты имеется два ряда по четыре кнопки, с помощью которых выход микрофонного канала подключается ко входу одной из восьми шин.

В групповых каналах расположены те же блоки, что и во входных, но отводы имеются только на две вспомогательные шины. С помощью кнопок в групповой канал включаются компрессоры-лимиттеры, их каналы управления могут быть объединены, например в стереопару, компрессоры можно обойти с подключением их к внешнему коммутатору. На лицевую панель групповой линейки выведены два регулятора компрессора-лимиттера: ступенчатый переключатель степени сжатия 1 : 1,5; 1 : 2; 1 : 5; 1 : 10; 1 : 20 и плавный регулятор времени восстановления. Имеется переключатель, определяющий источник, подключаемый ко входу

группового канала на два положения — микрофонный канал и внешний источник.

В пульте установлено 12 квазипиковых измерителей уровня с индикацией на «барграфах», восемь из них подключены к выходам групповых каналов и четыре — к выходу общих каналов.

Микшерные пульты серии 963 имеют следующие основные технические параметры:

Диапазон звуковых частот, Гц	31,5 ... 16 000
Неравномерность АЧХ при обходе корректоров, дБ, не более	±0,3
Коэффициент гармоник, %, в диапазоне частот 60 ... ...10 000 Гц	0,1
Выходное сопротивление, Ом, менее	40
Рекомендуемое сопротивление источников, Ом	200
Входное сопротивление, кОм:	
микрофонного входа, более	1,6
линейного входа, более	10
Чувствительность, дБн, по входу:	
микрофонному	—69 ... —9
линейному	—9 ... +21
Уровень собственных шумов, приведенных ко входу, дБн, не более	—125

Хорошо зарекомендовали себя в мировой практике звукорежиссерские пульты английской фирмы «Нив» (NEVE). Эти пульты серии V на 36 и 48 входных каналов используются в течение многих лет в радиовещательных корпорациях Эн-Эйч-Кей (Япония), Би-Би-Си (Англия), в Кельнском радио (ФРГ), в Государственном Доме радиовещания и звукозаписи в Москве и др. Отличительной особенностью микшерных пультов серии V является наличие автоматизации технологических процессов в виде системы NEKAM-II, а затем NEKAM-96. Эти системы открыли для звукорежиссеров совершенно новые технологические возможности при многодорожечной записи, монтаже, наложении, сведении, микшировании магнитных фонограмм.

Микшерный пульт серии V, установленный в студии № 5 ГДРЗ, показан на рис. 4.9. Габаритные размеры пульта 2911×
×1056×1353 мм. В пульте 48 универсальных каналов, разбитых на шесть секций. В центре пульта размещена секция системы автоматизации NEKAM-96. Слева и справа от нее — по две 12-канальных секции универсальных звуковых линеек. В правой части пульта размещена секция с гнездами коммутации и контроля.

Пульт серии DSP (Digital Sound Procesing) фирмы «Нив» является первым цифровым звукорежиссерским пультом. В связи с большими затратами на разработку этого пульта фирма стала ощущать большие финансовые затруднения. С помощью фирмы «Сименс» затруднения были устранены, работа завершена фирмой, получившей название «Сименс-Нив».

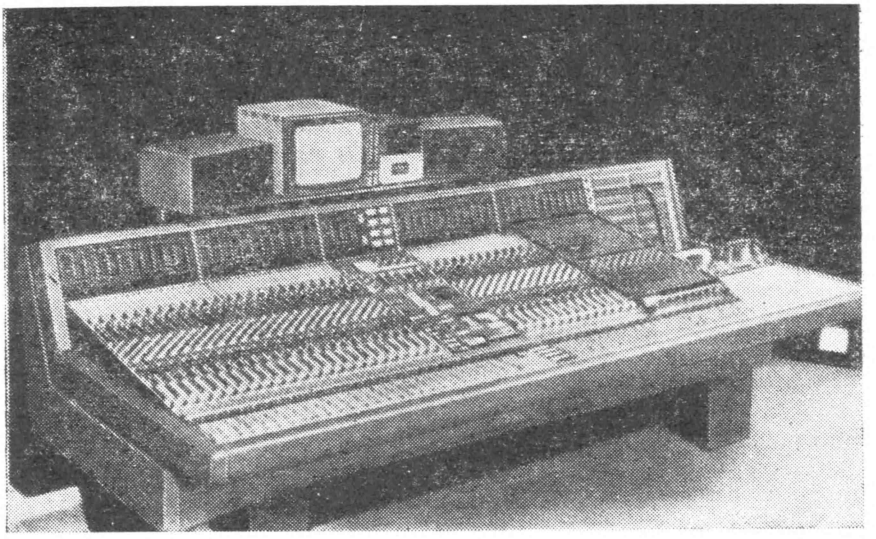


Рис. 4.9. Пульт серии V

Цифровой пульт DSP является одним из совершенных звукорежиссерских пультов. Он позволяет решать разнообразные задачи, удовлетворяет высоким требованиям эргономики. Система пульта имеет защиту от некорректных команд и случайных нажатий на кнопки панели управления. Пульт приспособлен к быстрой перестройке с одного режима работы на другой, например «Запись», «Сведение», «Живой эфир» и т. д.

Пульт имеет следующие основные технические параметры:

Диапазон звуковых частот, Гц, с неравномерностью ±0,1 дБ	20 ... 20000
Коэффициент гармоник, %, не более	0,05
Уровень шумов, дБн	—89
Уровень шумов, дБн, приведенных ко входу, не более	—125
Микрофонные входы	симметричные
Входное сопротивление, Ом	1,2
Чувствительность, дБн, с возможностью изменения	—26 ... +24
Выходы	симметричные
Выходной уровень, дБн	+24
Рекомендуемое сопротивление нагрузки, Ом	200
Четырехполосные эквалайзеры рассчитаны на диапазоны частот, Гц	30 ... 600; 100 ... 1200; 600 ... 12000; 12000 ... 15000
Фильтры среза имеют 21 ступень регулировки в диапазонах частот, кГц:	
НЧ	0,025 ... 0,28

ВЧ	2 ... 15,7
Крутизна характеристик фильтров среза, дБ/окт, не менее	12
Устройство задержки позволяет осуществлять задержку звуковых сигналов в пределах, с	$41 \cdot 10^{-6}$ ... 2,4
Коэффициент компрессирования автоматических регуляторов уровня	1,2 ... 20 : 1 (10 ступеней)
Коэффициент экспандирования	1 : 1,2 ... 1 : 16 (9 ступеней)
Коэффициент ограничения	100 : 1
Диапазон компрессирования, дБ	—20 ... +18
Диапазон экспандирования, дБ	—28 ... +10
Диапазон ограничения, дБ	0 ... +18
Время срабатывания, с	$20 \cdot 10^{-6}$ ... 5

Внешний вид пульта DSP приведен на рис. 4.10. В самом пульте расположены только органы управления и индикации, а цифровые звуковые каналы, цифровые системы управления и другие системы расположены в стандартных стойках шириной 19 дюймов.

Пульт DSP имеет: 32 цифровых входа формата AEG; 48 аналоговых микрофонных входов; 16 аналоговых линейных входов; 32 цифровых выхода; 32 линейных аналоговых выхода; 48 градаций задержек времени; 48 обрезных фильтров; 48 четырехполосных эквалайзеров; 48 компрессоров-лимиттеров; 48 экспандеров-шумоподавителей; 56 регуляторов уровня с сервоприводом;

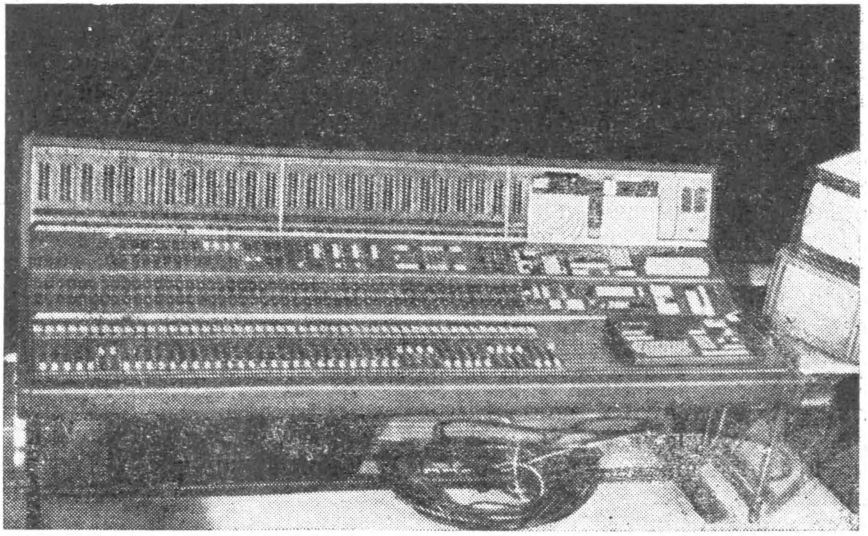


Рис. 4.10. Цифровой пульт серии DSP

56 квазипиковых измерителей уровня; 1 дисплей для вывода на него информации.

К достоинствам пульта относятся 100%-ная фиксация в памяти и стабильность хранения выбранных однажды звукорежиссером коэффициентов усиления и режимов фильтрации, т. е. режимов динамической и частотной обработки сигналов.

Панель цифрового пульта DSP аналогична панели традиционного аналогового звукорежиссерского пульта. На ней имеются органы управления регуляторами уровня, фильтрами, авторегуляторами уровня. На вертикальной части пульта расположены измерители уровня. Команды на встроенную в стойки ЭВМ подаются не через клавиатуру с использованием машинного языка, а посредством установки регуляторов в соответствующее положение. Система памяти пульта может заменять журнал репетиций, так как она запоминает все установки. При необходимости эти установки могут быть распечатаны на принтере, входящего в комплект пульта.

Конструктивно цифровой пульт выполнен в виде функциональных блоков. Во всех каналах нет постоянно им приданных регуляторов, а имеется один центральный блок регуляторов, который вызывается для работы в данном канале по мере необходимости. Достоинства такого принципа организации управления особенно проявляются в цифровых пультах, поскольку при этом обеспечивается максимальная гибкость построения схем управления. Центральные панели управления цифрового пульта выполнены сдвоенными. Это сделано для того, чтобы можно было быстро сравнить режимы работы стереоканалов Л и П и обеспечить возможность постоянного зрительного контроля за работой одного из каналов. Для этого в каждом регуляторе уровня имеется специальная кнопка вызова блока управления на данный канал. После нажатия кнопки ранее выбранные параметры для данного канала в наглядной форме высвечиваются на дисплее. Светящиеся полоски показывают повышение или понижение параметров, а частоты индицируются непосредственно численными показаниями. Для управления остальными установочными функциями, выходными каналами, панорамой, микрофонными усилителями имеются две линейки с индивидуальными поворачивающимися регуляторами в каждой линейке и индивидуальный цифровой индикатор. Функции этих блоков можно последовательно программировать либо на весь пульт, либо отдельно по каналам. О ходе исполнения функций в каждый момент сигнализирует система индикации на центральной панели. Доступ к данной функции с целью вмешательства обеспечивается практически мгновенно. Информация о состоянии данного канала (установочных параметров) с помощью все той же кнопки вызова может мгновенно выводиться и на дисплей панели управления, и в виде графика на общий эк-

ран. Звукоинженер избавлен от необходимости тянуться со своего места к дальнему каналу. Все необходимое он может проводить сидя на своем месте в центре стереобазы, непосредственно ощущая результаты своей работы.

В нашей стране цифровой звукорежиссерский пульт впервые был приобретен Гостелерадио СССР и установлен в апреле 1990 года в Государственном Доме радиовещания и звукозаписи в аппаратной студии № 5.

4.3. ЧАСТОТНЫЕ КОРРЕКТОРЫ

Стереофонический частотный корректор представляет собой прибор, в котором содержатся два монофонических частотных корректора с идентичными характеристиками. Органы управления корректоров (переключатели, потенциометры и др.) также должны быть идентичными, но в стереоварианте они не запараллеливаются, а используются независимо.

В состав звукорежиссерских пультов входят пять типов частотных корректоров, представляющих собой набор регуляторов: плавного подъема и спада нижних и верхних частот; среза нижних и верхних частот, «присутствия»; оптимальной обработки речи; эквалайзеры.

Фильтры плавного подъема и спада позволяют регулировать уровни сигналов на нижних и верхних частотах до ± 20 дБ, плавно или ступенями. Амплитудно-частотные характеристики таких фильтров приведены на рис. 4.11,*а*. С помощью фильтров плавного подъема и спада звукорежиссеры могут изменять спектр исходного сигнала в широких пределах, добиваться компенсации некоторых акустических дефектов студии и естественного звучания источников сигналов, выделять или подавлять низкочастотные и высокочастотные составляющие, подчеркивать характерные оттенки исполнения, в значительной степени изменять характер звучания, придавать звучанию новизну и оригинальность, устранять «бубнение» речи, уменьшать высокочастотные шумы («шипение») и т. д.

Применение любого корректора приводит к изменению тембра звучания первичного сигнала. При небольшой степени введения коррекции это изменение может быть незаметным на слух. При большой степени коррекции с помощью регуляторов плавного подъема и спада низкочастотных НЧ и высокочастотных ВЧ составляющих соотношение НЧ и ВЧ резко изменяется и воспринимается на слух следующим образом: если преобладают НЧ-составляющие, то звучание воспринимается бубнящим (как из бочки), при недостатке НЧ — звенящим, при избытке ВЧ — свистящим, при недостатке ВЧ — глухим.

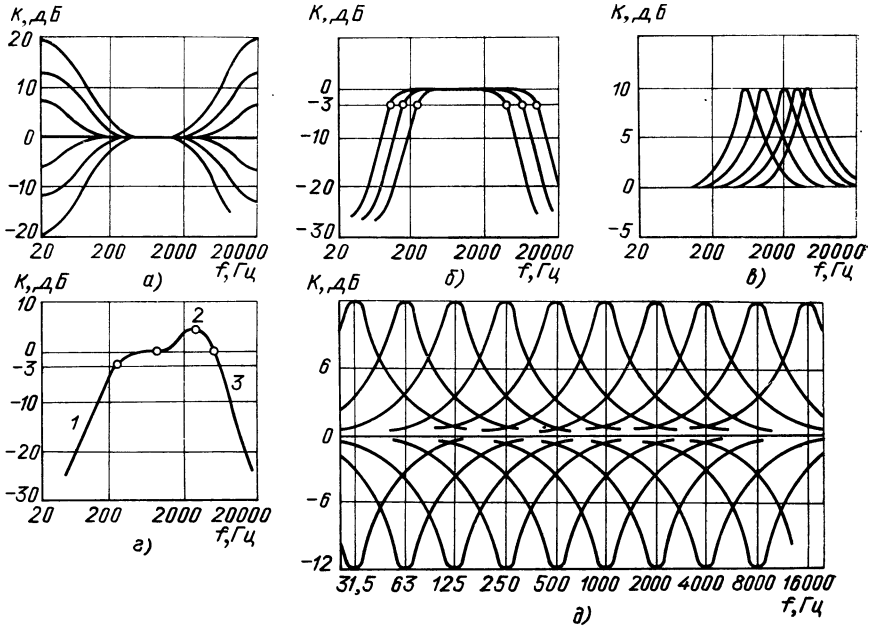


Рис. 4.11. Характеристики фильтров:

а) плавного подъема и спада; *б*) среза; *в*) «присутствия»; *г*) оптимальной обработки речи; *д*) октавного эквалайзера

Амплитудно-частотные характеристики *фильтров среза* приведены на рис. 4.11,*б*. Желательно, чтобы характеристика среза была достаточно крутой. Крутизна среза чаще всего составляет 12, 18 или 24 дБ на октаву. Частоту среза $f_{ср}$ можно изменять с помощью переключателя. Обычно ее выбирают из следующих значений: 125, 180 и 250 Гц на низких частотах; 5, 8 и 12,5 кГц на высоких.

С помощью фильтров среза звукорежиссеры существенно изменяют тембр звучания. Фильтрами среза можно имитировать «телефонный канал», «радиоканал». Эти фильтры помогают избавиться от мешающих призвуков при записи некоторых инструментов, уменьшить влияние НЧ и ВЧ помех. Широко применяются фильтры среза в аппаратных реставрации, где восстанавливается качество старых записей. Фильтры среза НЧ используются с целью ослабления фона от блоков питания, сети освещения. Фильтры среза ВЧ помогают избавиться от «шипения» магнитной ленты, грампластинки. У речевого сигнала спектр гораздо у́же, чем у музыкального, поэтому речевые сигналы наиболее часто обрабатываются фильтрами среза, так как при этом тембр

звучания практически не изменяется, а помехи значительно снижаются.

Фильтры «присутствия» («презенс-фильтры») получили свое название в связи с достигаемым эффектом: при правильном их подборе достигается как бы эффект приближения солиста или диктора к слушателю. Как видно из рис. 4.11,*в*, фильтры «присутствия» — это резонансные фильтры в области средних частот, обычно в пределах 700 ... 4000 Гц. Звукорежиссеры обычно могут выбрать среднюю частоту с помощью переключателя из следующих значений: 0,7; 1,4; 2: 2,8; 4 кГц. Подъем АЧХ фильтров «присутствия» обычно не превышает 10 дБ. Эти фильтры позволяют подчеркнуть составляющие спектра в области средних частот, где расположены певческие и музыкальные форманты, что делает звучание солистов и отдельных инструментов более сочным и ярким, как бы выделенным из общей звуковой картины и приближенным к слушателю. Для выделения солистов чаще всего поднимают уровень сигнала в области со средней частотой 2,8 кГц, так как у многих солистов ярко выраженная певческая форманта находится именно в этой области.

Во многих звукорежиссерских пультах имеются также «антипрезенс-фильтры», позволяющие ослаблять часть составляющих спектра в области средних частот.

Корректор с амплитудно-частотной характеристикой, приведенной на рис. 4.11,*г*, получил название *фильтра оптимальной обработки речи.* Его использование в каналах звукового вещания позволяет повысить разборчивость речи и ее среднюю громкость. Как видно из рис. 4.11,*г*, корректор состоит из трех фильтров: фильтра среза НЧ (участок *1*), фильтра «присутствия» (участок *2*) и фильтра среза ВЧ (участок *3*). За счет среза НЧ уменьшается «бубнение» речи, что способствует достижению лучшей разборчивости. Фильтр «присутствия» со среднегеометрической частотой 3 ... 5 кГц поднимает уровни в области второй и третьей формант речевых сигналов, что также приводит к повышению разборчивости. Поскольку на частоте 3 кГц отмечается наибольшая чувствительность слуха человека, то звучание становится более громким. За счет фильтра среза ВЧ достигается лучшая помехозащищенность речевого сигнала. К недостатку этого фильтра относится то, что он существенно изменяет тембр звучания, что не всем дикторам и артистам нравится.

Эквалайзер представляет собой набор резонансных фильтров со среднегеометрическими частотами во всем диапазоне звуковых частот. В зависимости от числа полос эквалайзеры бывают октавными (10 частотных каналов), полуоктавными (19 каналов) и третьоктавными (28 каналов). В качестве примера на рис. 4.11,*д* приведены амплитудно-частотные характеристики октавного эквалайзера (с регулировкой уровней до ± 12 дБ), как наибо-

лее простого и в то же время обеспечивающего широкие возможности регулирования АЧХ канала и спектра сигнала, тембра его звучания. Фактически эквалайзер может заменить собой любой из рассмотренных выше фильтров. Эквалайзеры (или выравниватели спектра) получили свое название именно в связи с тем, что они позволяют выравнивать спектр сигналов во всем звуковом диапазоне. В нашей стране эти устройства называются также графическими корректорами.

В качестве примера на рис. 4.12 приведена схема фильтра плавного подъема и спада АЧХ (*а*) и фильтра «присутствия» (*б*)

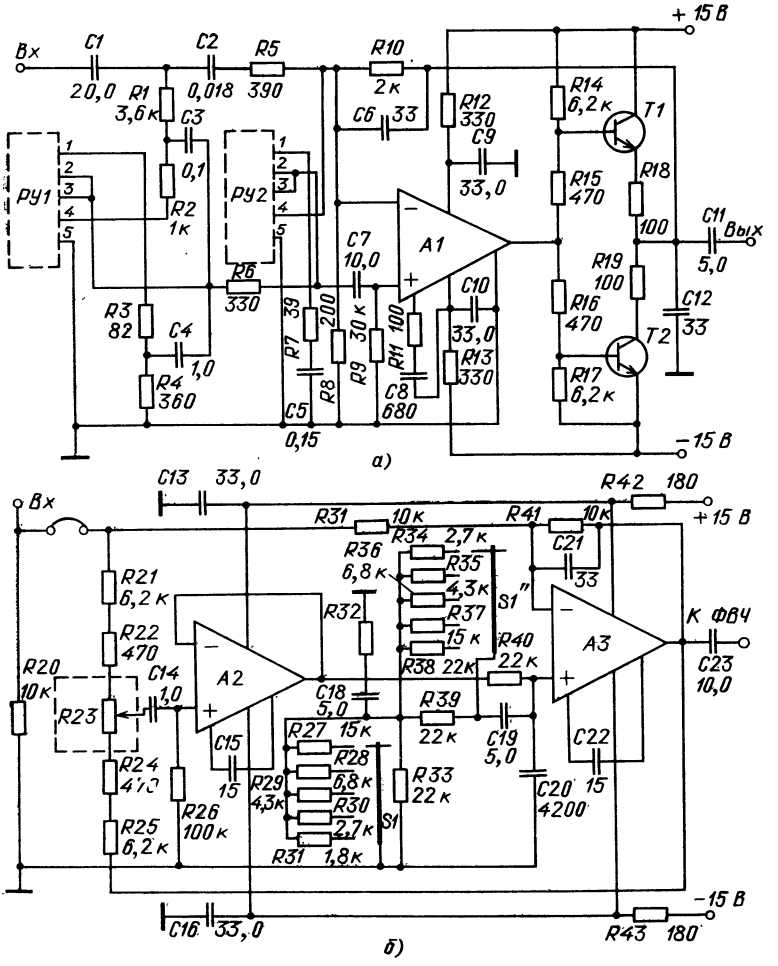


Рис. 4.12. Схема фильтров аппаратуры «Перспектива»

аппаратуры «Перспектива» отечественной разработки. Корректор обеспечивает плавный подъем и спад АЧХ на ±12 дБ на частотах 60 Гц и 10 кГц по отношению к частоте 1 кГц, подъем и спад АЧХ на +10 дБ на частотах 0,8; 1,4; 2; 2,8; 4 и 5,6 кГц. Фильтр плавного подъема и спада НЧ и ВЧ состоит из пассивного *RC*-четырехполюсника и усилителя А1 на микросхеме К1УТ401Б. При положении ручек регуляторов РУ1 и РУ2 в позиции «0 дБ» *RC*-четырехполюсник имеет линейную АЧХ (с отклонениями не более ±1,5 дБ) и вносит начальное затухание 20 дБ во всем рабочем диапазоне частот. Усилитель А1 имеет коэффициент усиления 20 дБ и компенсирует это затухание, коэффициент передачи фильтра получается равным $K_п = 1$. В верхних положениях ручек регуляторов РУ1 и РУ2 получается максимальный подъем АЧХ в области нижних и верхних частот на 12 дБ, а в нижних — спад на 12 дБ. На выходе фильтра стоит каскад усиления на транзисторах Т1 и Т2 типа КТ315Г и КТ361Г.

Фильтр «присутствия» собран на *RC*-элементах и микросхемах А2 и А3 типа К553УД2. Усилитель А2 служит для развязки избирательных *RC*-цепей от потенциометра R_{23}. Усилитель *А3* является дифференциальным. На его неинвертирующий вход сигнал поступает через частотно-избирательную цепь С17 ... С20, R27 ... R40. С выхода А3 сигнал через делитель *R31*/*R41* подается на инвертирующий вход А3. Коэффициент передачи этой цепи $K_п \approx 1$. В верхнем положении регулятора R_{23} сигнал на инвертирующий вход А3 поступает в фазе с сигналом на неинвертирующем входе, поэтому эти сигналы вычитаются, и на выходе корректора получается спад АЧХ на частотах, определяемых положением переключателя S1. В нижнем положении R23 сигналы на входах А3 оказываются в противофазе, поэтому получается подъем АЧХ на соответствующих частотах. Когда R23 находится в среднем положении, получается горизонтальная АЧХ фильтра.

4.4. РУЧНЫЕ И АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ УРОВНЯ

С помощью ручных и автоматических регуляторов уровня можно производить динамическую обработку сигналов звукового вещания и существенно изменять их свойства: устанавливать оптимальное соотношение громкости звучания различных инструментов, сжимать динамический диапазон, увеличивать среднюю громкость, повышать разборчивость, изменять слышимый энергетический спектр, уменьшать специфические «С»-искажения, осуществлять шумопонижение, улучшать соотношение громкости звучания речь-музыка, обеспечивать защиту от нелинейных искажений и т. д. [23, 26, 27, 28].

Ручной регулятор уровня (микшер) — это четырехполюсник с регулируемым затуханием, обычно в пределах до 80 дБ. В про-

стейшем случае он представляет собой потенциометрический регулятор (рис. 4.13,*а*). Достоинство такого регулятора — в его простоте, к недостатку относится зависимость выходного сопротивления от положения ползунка регулятора. В микшерных пультах системы ФИТ—ИС венгерского производства, получивших широкое распространение у нас, регулировка уровня производится с помощью оптрона (рис. 4.13,*б*). Положением ползунка регулятора R изменяется яркость свечения светодиода СД оптрона ОЭП, сопротивление $R_{оп}$ оптрона и, следовательно, затухание регулятора. Такие регуляторы допускают ручное или дистанционное управление. Инерционность оптрона в данном случае является его достоинством, так как при регулировке исключаются щелчки и трески.

С каждым годом все шире применяются автоматические регуляторы уровня (*авторегуляторы*). Они бывают безынерционными (мгновенного действия) и инерционными (с изменяющимся коэффициентом передачи, зависящим от уровня входного сигнала).

При прохождении сигналов через безынерционные авторегуляторы уровня (безынерционные ограничители) изменяется форма сигналов и, как следствие, появляются нелинейные искажения, поэтому в качестве устройства обработки безынерционные ограничители применяются в основном в виде «исказителей», т. е. устройств, специально предназначенных для введения нелинейных искажений, чаще всего для получения спецэффектов. Кроме того, безынерционные ограничители применяются в виде «пикосрезателей», устанавливаемых в инерционных авторегуляторах для срезания пиков срабатывания.

Простейшая схема безынерционного ограничителя и форма сигнала на его входе и выходе приведены на рис. 4.14. Пока мгновенное значение входного сигнала $U_{вх}$ меньше порогового $U_{п}$, форма выходного напряжения повторяет форму входного напряжения. Как только становится $U_{вх} > U_{п}$, открываются диоды, они шунтируют сопротивление нагрузки $R_{н}$, увеличивается падение напряжения на сопротивлении источника R_i. Чем больше $U_{вх}$, тем

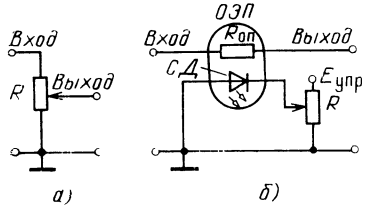


Рис. 4.13. Схемы ручных регуляторов потенциометрического типа:
а) мастичный; *б*) оптронный

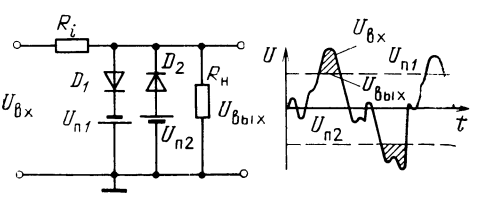


Рис. 4.14. Схема безынерционного ограничителя (*а*) и форма сигнала на его входе и выходе (*б*)

больше шунтирующее действие, больше падение напряжения на R_i, а выходное напряжение остается практически постоянным.

Широкое распространение получили *инерционные авторегуляторы уровня*: ограничители (лимиттеры), компрессоры (сжиматели), экспандеры (расширители), автостабилизаторы, шумоподавители, авторегуляторы громкости. Инерционными авторегуляторами уровня называются устройства, у которых коэффициент передачи автоматически изменяется в зависимости от значения уровня входного сигнала.

Структурная схема инерционного авторегулятора уровня приведена на рис. 4.15. В состав авторегулятора входит два канала — основной звуковой и управления. Сигнал на вход канала управления может поступать либо со входа, либо с выхода авторегулятора. В первом случае регулировка называется прямой, во втором случае — обратной. Если сигнал для управления снимается и со входа и с выхода, то регулировка называется комбинированной. В стереофонических авторегуляторах уровня каналы управления часто включаются параллельно [23, 27].

Структурная схема *ограничителя уровня* приведена на рис. 4.16. Пока на входе ограничителя напряжение меньше некоторого порогового значения (обычно оно соответствует номинальному входному напряжению $U_{\text{вх.ном}}$), напряжение на его выходе также меньше номинального значения $U_{\text{вых.ном}}$. При этом напряжение U на выходе усилителя У3 меньше опорного напряжения $E_{\text{оп}}$ и диоды детектора Д заперты. Следовательно, канал управления

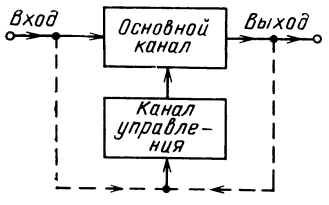
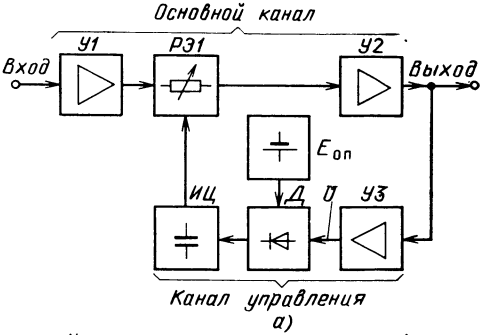


Рис. 4.15. Обобщенная структурная схема авторегулятора уровня



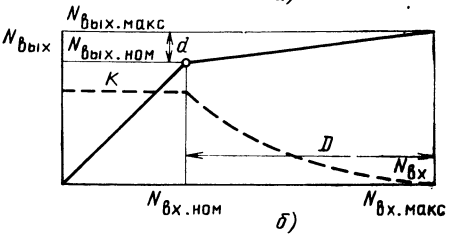


Рис. 4.15. Обобщенная структурная схема авторегулятора амплитудная характеристика (*б*)

не действует, и устройство работает как обычный усилитель. Как только напряжение на входе ограничителя превысит номинальное значение, напряжение на выходе усилителя УЗ превысит опорное напряжение $E_{оп}$, диоды детектора Д отпираются, начинает заряжаться конденсатор интегрирующей цепи ИЦ. По мере заряда конденсатора уменьшается коэффициент передачи регулируемого элемента РЭ1. Чем больше входное напряжение, тем до большего значения заряжается конденсатор и тем меньше становится коэффициент передачи K (рис. 4.16,*б*). Таким образом, за порогом ограничения выходное напряжение остается почти постоянным, так как оно равно произведению увеличивающегося входного напряжения на уменьшающийся коэффициент передачи: $U_{вых} = U_{вх}K \approx \text{const}$.

У ограничителей пределы регулирования уровней характеризуются двумя параметрами: диапазоном ограничения D и величиной превышения d (называемой также диапазоном сжатия). Диапазон ограничения — это разность между максимальным и номинальным входными уровнями, дБ:

$$D = 20 \lg \frac{U_{вх.макс}}{U_{вх.ном}} = N_{вх.макс} - N_{вх.ном}.$$

Так как в реальных условиях входной уровень может превышать номинальное значение по крайней мере в 10 раз, к ограничителю предъявляется требование $D \geqslant 20$ дБ.

Величина превышения — это разность между максимальным и номинальным выходными уровнями, дБ:

$$d = 20 \lg \frac{U_{вых.макс}}{U_{вых.ном}} = N_{вых.макс} - N_{вых.ном}.$$

Желательно, чтобы эта величина была как можно меньше. Реально при проектировании ограничителей исходят из требования ПТЭ-82, согласно которому на выходе радиодома уровень сигнала не должен превышать номинальное значение более чем на 1 дБ, поэтому ограничители имеют величину превышения в пределах $d \leqslant 1$ дБ.

Ограничитель должен работать в «сторожевом режиме», когда входной сигнал превышает номинальное значение не регулярно, а изредка, эпизодически. В прежних правилах технической эксплуатации была дана количественная оценка этому требованию: не более 3 раз в минуту.

Амплитудная характеристика инерционного ограничителя (см. рис. 4.16,б) практически совпадает с характеристикой безынерционного ограничителя. Отсюда иногда делают неправильный вывод о том, что и искажения получаются такими же. На самом деле большие нелинейные искажения возникают только в переход-

ный период, в момент срабатывания ограничителя, а этот интервал времени настолько кратковременный (менее 1 мс), что человек на слух их не замечает.

Переходные процессы в ограничителе характеризуются двумя параметрами: временем срабатывания и временем восстановления. На рис. 4.17 приведены эпюры уровней, иллюстрирующие эти понятия согласно рекомендации МЭК-268-8.

Время срабатывания $t_{ср}$ — это интервал времени между моментом скачка входного напряжения на 6 дБ сверх номинального значения и моментом, когда выходной уровень снижается с 6 до 2 дБ по отношению к номиналу $N_{вых.ном}$.

Время восстановления $t_в$ — это интервал времени между моментом скачкообразного снижения входного напряжения с 6 до 0 дБ и моментом, когда выходной уровень увеличится с —6 до —2 дБ по отношению к номиналу.

На основе экспериментальных исследований определили значения временных параметров ограничителей, близких к оптимуму: $t_{ср}=1$ мс; $t_в=1{,}5$ с. В некоторых типах современных ограничителей уровня $t_{ср}$ и $t_в$ делают автоматически изменяющимися от параметров входного сигнала.

Принцип действия *компрессора* (сжимателя) близок к принципу действия ограничителя: чем больше входной сигнал, тем больше уменьшается коэффициент передачи и, как следствие,

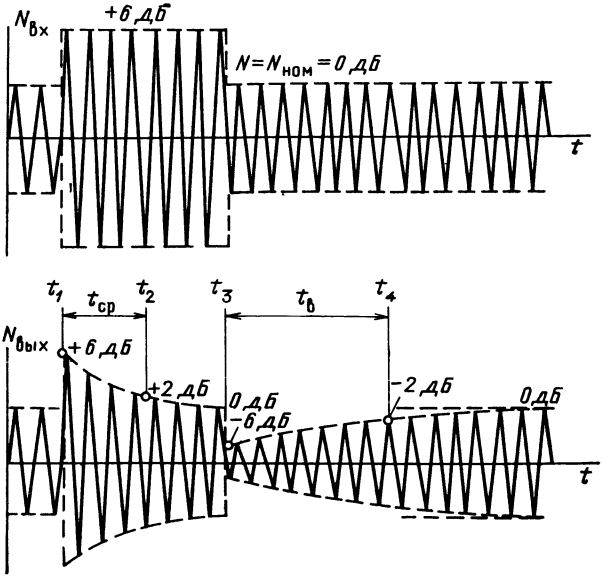


Рис. 4.17. Переходные процессы в ограничителе уровня

сжимается динамический диапазон сигнала. Структурная схема компрессора практически совпадает со схемой ограничителя, приведенной выше на рис. 4.16,*а*, за исключением источника опорного напряжения $E_{оп}$, который в этом случае не нужен. За счет отсутствия $E_{оп}$ амплитудная характеристика компрессора *сдвигается влево по сравнению с характеристикой ограничителя.*

Амплитудная характеристика компрессора приведена на рис. 4.18,*а* сплошной линией (штриховой линией показана характеристика усилителя, штрихпунктирной — характеристика экспандера). Такие компрессоры, применяющиеся в трактах Минсвязи РФ, сжимают исходный сигнал с динамическим диапазоном $D_1=40$ дБ в сигнал с динамическим диапазоном $D_2=20$ дБ.

В звукорежиссерских пультах в качестве устройств обработки применяются компрессоры с иной характеристикой, приведенной на рис. 4.18,*б*. Параметры таких компрессоров выбираются в зависимости от их назначения: речевые или музыкальные. У речевых компрессоров диапазон сжатия D выбирается равным 18 ... 30 дБ, величина сжатия d' обычно составляет 10 дБ. Если установить в речевых компрессорах $d'>10$ дБ, например, выбрать $d'=20$ дБ, то качество звучания ухудшается, поскольку начинает заметно подчеркиваться дыхание диктора. У музыкальных компрессоров диапазон сжатия $D\approx30$ дБ, а величину сжатия d' можно устанавливать дискретно: 5, 10, 15, 20 и 25 дБ (рис. 4.18,*в*). Чем больше d', тем эффективней сжатие сигналов, но тем заметнее на слух работа компрессора.

Время срабатывания у компрессоров такое же, как у ограничителей: $t_{ср}\approx1$ мс.

Время восстановления у речевого компрессора $t_в=300$ мс, у музыкального компрессора его выбирают из значений: 0,1; 0,3; 0,5; 1 и 2 с.

Если не принять специальных мер, то действие компрессора приведет к увеличению уровня не только полезных сигналов, но

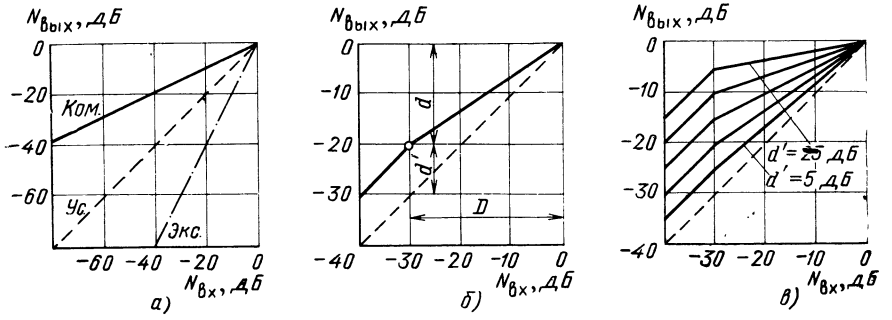


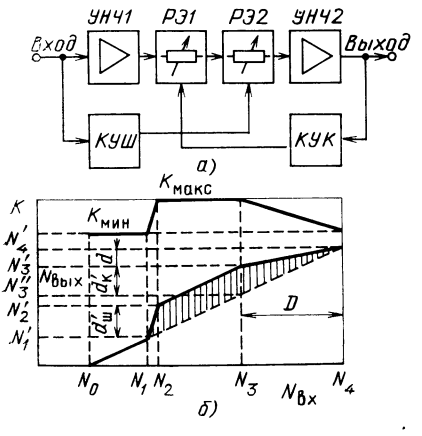
Рис. 4.18. Амплитудные характеристики компрессоров:
а) классического; *б*) речевого; *в*) музыкального

также и шумов. Чтобы этого не произошло, в состав всех речевых компрессоров вводятся пороговые шумоподавители. Пороговый шумоподавитель — это экспандер, в котором регулировка осуществляется не во всем диапазоне уровней, а в области на границе сигнал-шум, т. е. чаще всего при входных уровнях —35 ... ... —40 дБ относительно номинального входного напряжения сигнала.

Структурная схема речевого компрессора с пороговым шумоподавителем приведена на рис. 4.19,*а*. При отсутствии на входе компрессора полезного сигнала коэффициент передачи РЭ1 минимален, следовательно, коэффициент передачи всего устройства в целом также минимален $K_{мин}$ (рис. 4.19,*б*). За счет этого подавляются шумы в паузах передачи. Как только появляется сигнал с уровнем $N_2 > N_1$, срабатывает канал управления шумоподавителя КУШ, шумоподавитель быстро восстанавливает коэффициент передачи до максимума $K_{макс}$. За счет этого полезные сигналы с уровнями от N_2 до N_3 дополнительно усиливаются на 10 дБ. По мере дальнейшего увеличения входных сигналов от N_3 до N_4 начинает срабатывать канал управления компрессора КУК, коэффициент передачи устройства при этом уменьшается таким образом, что при $N_{вх} = N_{вх.ном}$ выходной уровень также оказывается равным номинальному значению $N_{вых} = N_{вых.ном}$. При дальнейшем увеличении входного сигнала устройство обычно переходит в режим ограничения.

Время срабатывания порогового шумоподавителя обычно составляет $t_{ср} = 200 ... 300$ мс, время восстановления $t_в \leqslant 5$ мс.

При работе речевых компрессоров часто заметен на слух сигнал придыхания диктора в момент паузы между чтением. Это происходит даже при наличии порогового шумоподавителя. Для устранения этого недостатка разработан гистерезисный шумопо-



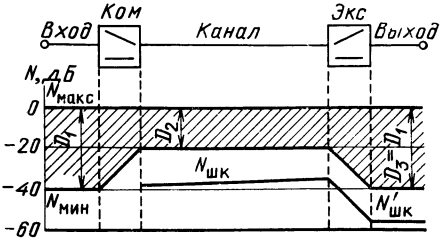


Рис. 4.20. Компандерный шумоподавитель

← Рис. 4.19. Структурная схема (*а*) и эпюры напряжений (*б*) речевого компрессора с пороговым шумоподавителем

давитель, который нашел применение, в частности, в речевом компрессоре ЛТ-12 [23, 27].

Экспандер предназначен не для сжатия, а для расширения динамического диапазона передачи. Амплитудная характеристика экспандера приведена на рис. 4.18,*а* штрихпунктирной линией. Из графика видно, что входной сигнал с динамическим диапазоном в 30 дБ расширяется экспандером до динамического диапазона 60 дБ.

В виде самостоятельных устройств экспандеры применяются в звуковом вещании редко. Обычно они используются либо в качестве пороговых шумодавителей в речевых компрессорах, либо в сочетании с компрессорами — в качестве компандерных шумоподавителей.

Шумоподавители предназначены для улучшения соотношения сигнал-шум в каналах звукопередачи или устройствах звукозаписи. Шумодавители могут быть двух видов — статические и динамические (адаптивные). У статических шумодавителей параметры зависят только от уровня входного сигнала и не зависят от его энергетического спектра. Адаптивные шумоподавители реагируют на изменение как входного уровня, так и его энергетического спектра.

К статическим шумоподавителям относятся системы частотных предыскажений с предыскажающим и восстанавливающим контурами и рассмотренные выше пороговые шумодавители. Примерами адаптивных шумоподавителей могут служить системы Долби, Тельком, DNL и др. [31].

Схема включения компандерного шумоподавителя приведена на рис. 4.20. Компандерный шумоподавитель состоит из компрессора Ком, включаемого на входе звукового канала (соединительная линия, записывающий магнитофон, передатчик и др.), и экспандера Экс, включаемого на выходе канала. Как видно из диаграммы уровней, принцип шумопонижения заключается в том, что уровень минимальных полезных сигналов компрессором повышается, например, с —40 до —20 дБ, и поэтому он становится выше уровня шумов канала передачи, который составляет, например, $N_{ш.к}$=—35 дБ. Установленный в конце канала экспандер расширяет диапазон уровней полезного сигнала до исходного значения $D_э=D_1$ и снижает уровень шумов с $N_{ш.к}$=—35 дБ до $N'_{ш.к}$=—55 дБ. Без применения компандерного шумоподавителя уровень шумов канала $N_{ш.к}$=—35 дБ был бы больше, чем уровень минимального полезного сигнала $N_{мин}$=—40 дБ.

Если вместо компрессора и экспандера в начале и в конце тракта установить соответственно предыскажающий ПК и восстанавливающий ВК контуры (фильтры), то получается система шумоподавления с ПК и ВК. Шумы в каналах связи часто бывают преимущественно высокочастотными, поэтому включение ПК ока-

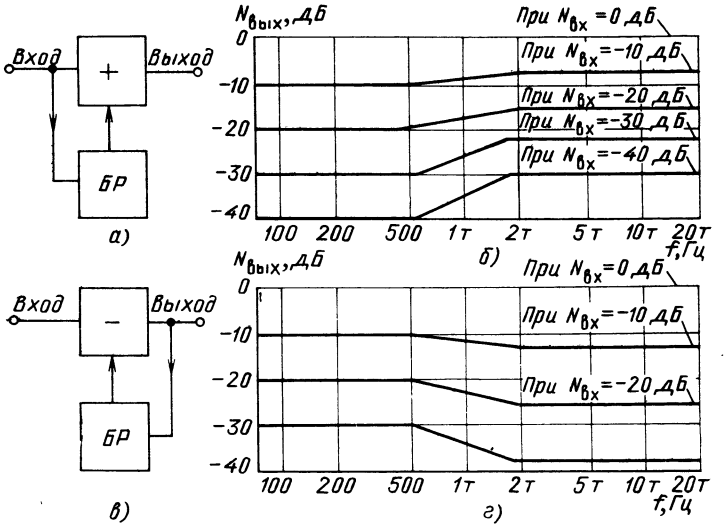


Рис. 4.21. Шумоподавитель Долби-В

зывается аналогичным включению компрессора, поскольку за счет ПК высокочастотные составляющие полезного сигнала усиливаются на 10 ... 15 дБ. Восстанавливающий контур ВК преобразует энергетический спектр к исходному состоянию и снижает уровень высокочастотных составляющих шума в паузе на 10 ... 15 дБ.

В междугородных каналах звукового вещания используется комбинированная система шупомодавления: в начале канала устанавливаются компрессор и предыскажающий контур, а в конце канала — восстанавливающий контур и экспандер.

В профессиональной и бытовой звукозаписи в основном используется адаптивный компандерный шумоподавитель системы Долби, особенно Долби-В. Устанавливаемый в канале записи Долби-В компрессор, упрощенная структурная схема которого приведена на рис. 4.21,*а*, изменяет уровни высокочастотных полезных сигналов так, как показано на АЧХ рис. 4.21,*б*. Из графиков видно, что при слабых сигналах (—40 дБ) высокочастотные составляющие усиливаются с —40 до —30 дБ, т. е. на 10 дБ. При воспроизведении включается экспандер Долби-В (рис. 4.21,*в*) с АЧХ, приведенной на рис. 4.21,*г*. Ясно, что в результате энергетический спектр исходного сигнала восстанавливается, а уровень шумов действием экспандера снижается.

4.5. РЕВЕРБЕРАТОРЫ И ЛИНИИ ЗАДЕРЖКИ

При стереофонической звукозаписи так же, как и при монофонической, широко используются реверберато́ры, позволяющие искусственно увеличивать время реверберации по сравнению с натуральным и существенно изменять звучание музыки и речи. Реверберато́ры подключаются к звукорежиссерскому пульту через отдельные входы (рис. 4.22). С выхода микрофона сигнал поступает на один из микрофонных входов звукорежиссерского пульта, например на вход *1*, как это показано на схеме. Со входа или с выхода индивидуального регулятора ИР, в зависимости от выбора звукорежиссера, сигнал ответвляется от основного канала *1* и подается на вход устройства искусственной реверберации, например на вход *27* звукорежиссерского пульта ESZ-2808. С выхода *27* сигнал подается не на общую шину Ш, а на вход реверберато́ра. С выхода реверберато́ра проревербери́рованный сигнал подается на вход линейки *28* звукорежиссерского пульта, здесь выбирается уровень этого сигнала и через шину Ш он подмешивается к основному сигналу.

Стереофонические звукозаписи осуществляются в основном в музыкальных студиях, время реверберации которых составляет 1,2 ... 2,2 с. С помощью систем искусственной реверберации можно получить время реверберации до 5 с и более.

Известны пять основных типов устройств искусственной реверберации: эхо-камерные, магнитные (магнитофонные), листовые (пластинчатые), пружинные и цифровые.

Эхо-камерные реверберато́ры — это специальные гулкие помещения, т. е. помещения с большим временем реверберации, в которых размещаются акустический контрольный агрегат и микрофон. Реверберация определяется свойствами самой эхо-камеры. Для получения большого времени реверберации эхо-камеры имеют стены, слабо поглощающие звук, а для уменьшения влияния

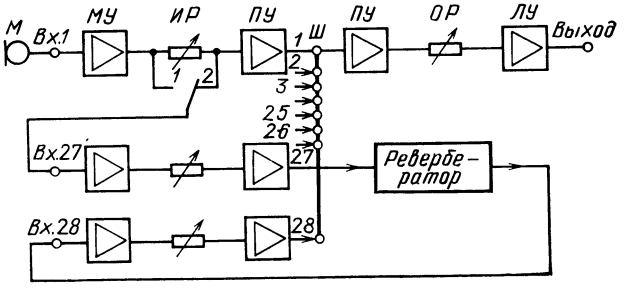


Рис. 4.22. Схема подключения реверберато́ра к звукорежиссерскому пульту

резонансов камере придают неправильную геометрическую форму, стены выполняются непараллельными, потолок делается наклонным. Рекомендуемый объем эхо-камеры не менее 120 м^3.

Магнитный ревербератор представляет собой магнитофон с магнитным носителем в виде барабана или кольца магнитной ленты. Магнитофон имеет несколько расположенных рядом магнитных головок. Входной сигнал через усилитель записи подается на головку записи и записывается на магнитный носитель. При движении носителя этот сигнал поочередно воспроизводится несколькими головками. Таким образом осуществляется задержка сигнала, определяемая расстоянием между головками и скоростью движения магнитного носителя. Задержанные сигналы через усилители и регуляторы с определенными весовыми коэффициентами подаются на сумматор, с выхода которого прореверберированный сигнал поступает на выход ревербератора.

Листовой ревербератор представляет собой тонкий стальной лист толщиной 0,4 ... 0,5 мм, в котором задержка сигнала осуществляется за счет изгибных колебаний листа. Большое значение времени реверберации долгое время получали только от реверберераторов с большими геометрическими размерами порядка 1×2 м. Затем появились листовые реверберераторы с геометрическими размерами менее 1 м, обеспечивающие время реверберации на низких частотах до 5 ... 6 с. Лист укрепляется с помощью пружин к амортизационной раме. Колебания возбуждаются вибратором — электродинамическим преобразователем с коническим острием, приваренным к листу. Виброснимателем является пьезоэлектрический датчик из титаната бария, который помимо прямой бегущий волны изгиба листа воспринимает также серию затухающих волн, отраженных от краев листа. Рядом с листом укрепляется панель из микропористого звукопоглощающего материала, который может перемещаться по отношению к стальному листу. При приближении звукопоглотителя к стальному листу увеличивается затухание колебаний стального листа и, следовательно, уменьшается время реверберации; при удалении звукопоглотителя от листа время реверберации увеличивается.

Если магнитный ревербератор может быть смоделирован одномерной системой, то листовой ревербератор моделирует колебания в двумерном плане (в плоскости). Следовательно, с помощью листового ревербератора характер затухания имитируется более естественным.

Пружинный ревербератор по принципу действия близок к листовому, но в нем задержка осуществляется за счет колебаний металлической пружины, к одному из концов которой прикрепляется излучатель, а к другому — приемник колебаний.

Наиболее перспективными и распространенными стали в последнее время цифровые реверберераторы.

Цифровой ревербератор представляет собой устройство, в котором аналоговый входной звуковой сигнал с помощью АЦП преобразуется в цифровой. В цифровой форме легко, чисто электронными средствами, без наличия движущихся или колебательных систем, осуществляется задержка сигнала и дозирование его уровня. Затем производится обратное преобразование прореверберированного сигнала в аналоговую форму. Физические основы действия цифровых реверберatоров рассмотрены далее, в гл. 9.

В нашей стране при звукозаписи нашли широкое распространение цифровые реверберatоры REV-1 и SPX-900 фирмы «Ямаха», EMT-250 (Япония), EMT-250 фирмы EMT (Германия), DRS-78 фирмы «Динакорд» (Германия), DM-780 фирмы «Кларк-Техник» (Англия), *L*-480 фирмы «Лексикон» (США) и др.

Структурная схема цифрового реверберatора EMT-250 приведена на рис. 4.23. Входной сигнал после усиления и прохождения через ФНЧ1, в котором происходит ограничение полосы частот до 16 кГц, преобразуется с помощью АЦП в цифровую форму и поступает на цифровую линию задержки Δt. Генератор тактовых импульсов ГТИ для уменьшения дискретности реверберационного сигнала выполняют в виде генератора со случайной выборкой. Процессор обрабатывает сигнал с учетом выбранного звукорежиссером режима работы. С помощью ЦАП сигнал снова преобразуется в аналоговую форму. Фильтры ФНЧ2 высокого порядка отфильтровывают появившиеся в процессе преобразования сигналов высокочастотные составляющие. Затем сигналы через выходные усилители поступают на четыре выхода.

Реверберatор имеет следующие режимы работы: «Реверберация», «Задержка», «Эхо», «Космос», «Хор», «Стереофазирование». В режиме «Задержка» на выходах *1—4* можно получить следующие задержки сигнала: до 1; 16; 80 и 440 мс. В режиме «Хор» многократно увеличивается число слышимых источников звука-

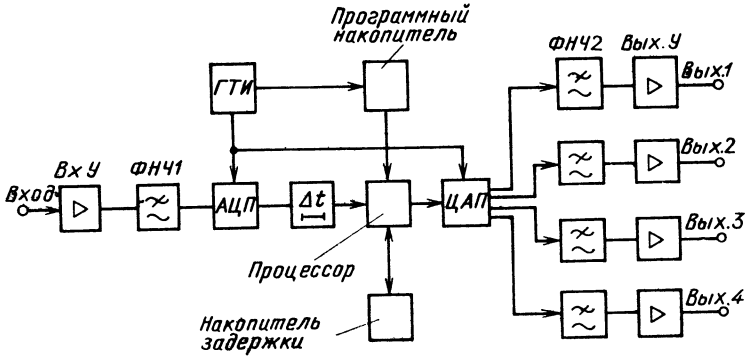


Рис. 4.23. Схема цифрового реверберatора EMT-250

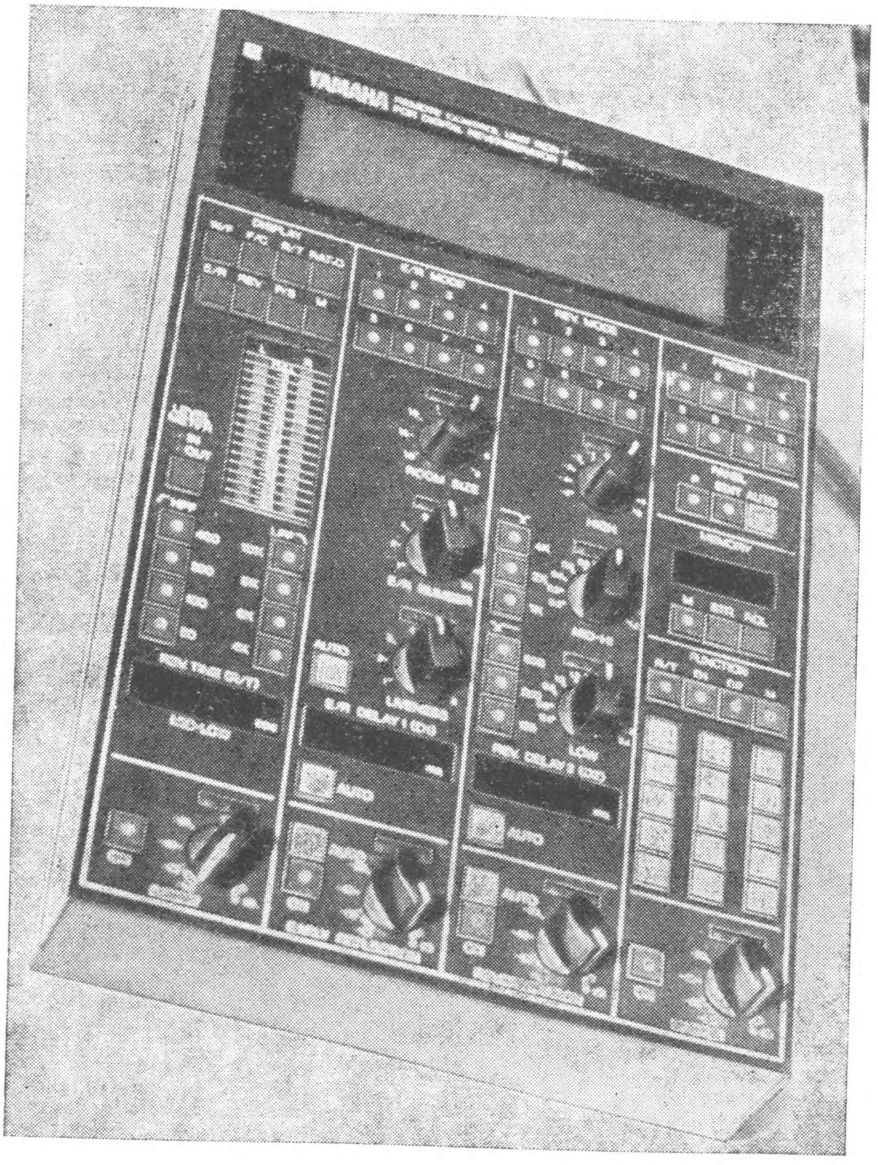


Рис. 4.24. Ревербератор REV-1

ния, вместо звучания солиста создается впечатление хорового пения. В режиме «Космос» обеспечивается время реверберации до 15 с. В режиме «Эхо» создаются повторяющиеся звуки в интервале времени до 440 мс, имитирующие звучание отраженных звуковых сигналов.

Большие технологические возможности звукорежиссерам обеспечивает ревербератор REV-1 фирмы «Ямаха», внешний вид которого показан на рис. 4.24. Этот малогабаритный цифровой ревербератор имеет 30 следующих стандартных программ:

1. Большой зал
2. Средний зал
3. Малый зал
4. Вокал А
5. Вокал В
6. Ударные А
7. Ударные В
8. Подъем
9. Струнные
10. Электронный бас
11. Тихо
12. Орган
13. Духовые
14. Гитара
15. Аплодисменты
16. Ловушка
17. Удар
18. Комната-эхо
19. Задержка
20. Эхо-стерео
21. Фленжер-стерео
22. Стерео-фаза
23. Тремоло
24. Хор А
25. Хор В
26. Заполнение А
27. Заполнение В
28. Заполнение С
29. Живой эталон
30. L=E/R; R=REV

Ревербератор REV-1 имеет три формы выходного сигнала: прямой сигнал Е; отражения E/R; реверберация R.

Технические характеристики ревербератора следующие:

Вход	один симметричный
Выход	два симметричных
Входное сопротивление, кОм	10
Выходное сопротивление, Ом	600
Входной уровень, дБн:	
максимальный	20
номинальный	4
Выходной уровень, дБн:	
номинальный	4
максимальный	12
Диапазон звуковых частот, Гц, с неравномерностью АЧХ не более ±1 дБ	20 ... 18000
Коэффициент гармоник, %, на частоте 1 кГц при максимальном выходном уровне, не более	0,03
Уровень собственных шумов, дБ, в режимах:	
«Реверберация», «Эхо», не более	—85
«Задержка», не более	—90
Частота дискретизации, кГц	44,1
Кодирование	линейное 16-разрядное

4.6. УСТРОЙСТВА СПЕЦЭФФЕКТОВ

Устройства спецэффектов используются звукорежиссерами для такой обработки звуковых сигналов, которая приводит к новому, зачастую неизвестному ранее звучанию. Рассмотрим некоторые из наиболее известных современных устройств спецэффек-

тов, в частности гармонайзер, вокалстрессор, комплекс, эксайтер.

Гармонайзерами называются многоцелевые программируемые цифровые процессоры звуковых сигналов, обеспечивающие возможность изменения высоты тона. При этом высота тона может изменяться в реальном масштабе времени в сторону как более высоких частот, так и более низких частот.

Наибольшее распространение получил гармонайзер *H*-3000 фирмы «Эвентайд» (США). Эта модель названа ультрагармонайзером, так как она реализует значительно больше функций, чем другие модели. Ультрагармонайзер Н-3000 выполняет функции изменения высоты тона стереофонических сигналов (более 10 вариантов), осуществляет задержку до 1,5 с, выполняет функции ревербератора, позволяет создавать неизвестные ранее эффекты.

Спецэффекты достигаются нажатием на клавиши. Можно получить следующие характерные программы спецэффектов: смещение высоты тона, две раздельные программы смещения высоты тона, два смещения высоты тона от одного входа, стереофоническое смещение высоты тона, совместимое с монофоническим, «эффект Буратино», обратное смещение высоты тона (эффект баса), плотная, «теплая» реверберация, реверберация с четким «ярким» звучанием, реверберация с раздельной регулировкой частотных характеристик и времени реверберации, эффект ударных инструментов, эффект «острого края» и др.

Цифровой стереофонический ультрагармонайзер Н-3000 имеет следующие технические характеристики:

Кодирование	16-разрядное
Частота дискретизации, кГц	44,1
Входы и выходы	дифференциальные стереофонические
Диапазон звуковых частот, Гц, с неравномерностью АЧХ не более ±1 дБ	5 ... 20000
Уровень шумов по взвешенной кривой *A*, дБ, не более	—92
Коэффициент гармоник, %, при номинальном уровне сигнала, не более	0,01
Задержка, с	до 1,5
Изменение высоты тона	до одной октавы вверх и двух вниз
Потребляемая мощность, Вт	75
Габариты, мм	89×483×343

Внешний вид лицевой панели управления гармонайзера Н-3000 показан на рис. 4.25. Управление осуществляется от находящегося внутри устройства *MIDI* — цифрового интерфейса музыкального инструмента. Расположенные на лицевой панели клавиши имеют следующее назначение.

Клавиша PROGRAM («Программа») служит для обновления программ: записи новых программ и стирания прежних. Клавиша FUNCTION («Функция») осуществляет путем управления от

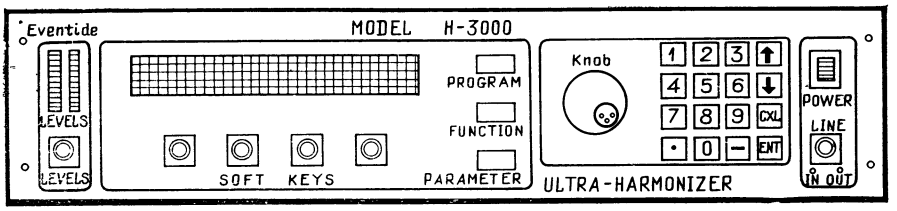


Рис. 4.25. Панель управления гармонайзера H-3000

MIDI изменение программ, параметров, последовательности операций, яркости свечения индикатора уровня. Клавиша PARAMETER («Параметр») служит для редактирования параметров. Ручка управления KNOB служит для плавного изменения значения выбранного параметра.

С помощью оцифрованных клавишей (0 ... 9), а также клавишей «—» (минус») и «.» («точка») в программу вводятся числовые значения. При нажатии на клавишу ENT («Ввод») происходит ввод набранного числа, при нажатии на клавишу CXL — отмена последнего нажатия на клавиши 0 ... 9. Клавиши ↑ («Вверх») и ↓ («Вниз») используются для увеличения или уменьшения числового значения.

Клавиша LEVELS («Уровни») служит для согласования входных и выходных номинальных уровней гармонайзера с уровнями той точки микшерного пульта, куда подключается гармонайзер. Над клавишей LEVELS расположен стереофонический светодиодный измеритель уровня. Входной уровень выбирается таким образом, чтобы при номинальном значении входного уровня загорались девять нижних светодиодов желтого цвета и не загорался верхний светодиод красного цвета.

Правее измерителя уровня, над клавишами SOPT и KEYS расположено индикаторное табло. На нем высвечивается две строки. В верхней строке отображается номер программы, ее имя, название параметра или функции, которая в настоящее время подвергается изменению. Нижняя строка предназначена для отображения назначений четырех программно-управляемых клавишей, расположенных непосредственно под индикаторным табло.

Вокалстрессор — это устройство, представляющее собой сочетание компрессора и эквалайзера и предназначенное для обработки звуковых сигналов пения.

Упрощенные структурные схемы вокалстрессора F-769X-R фирмы «Аудио-Дизайн» (Англия), при различном включении компрессора F-760X и эквалайзера E-900 приведены на рис. 4.26. При включении по схеме 4.26,*а* сначала с помощью эквалайзера выделяется основная форманта вокалиста и затем этот сигнал ком-

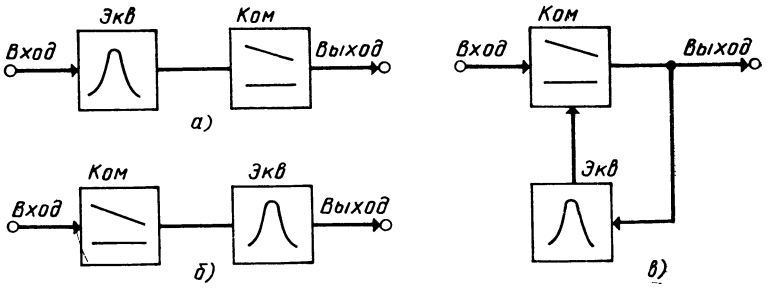


Рис. 4.26. Структурные схемы вокалстрессора F-769X-R

прессируется по диапазону уровней. При включении по схеме 4.26,*б*, наоборот, сначала сигнал компрессируется, а затем изменяется спектр сигнала пения с помощью эквалайзера. При работе по схеме 4,26,*в* эквалайзер вводится в канал управления компрессора и динамическая обработка сигнала получается с учетом спектра, преобразованного эквалайзером.

Приведенный на схеме 4.26 компрессор «Ком» является, строго говоря, более сложным авторегулятором типа экспандер-компрессор-лимиттер. Основное назначение — компрессирование сигнала. При уменьшении сигнала начинает действовать экспандер, который снижает уровни шумов. При сигналах выше номинального значения срабатывает лимиттер и ограничивает максимальные уровни в пределах заданного допуска, обычно в пределах до 1 дБ по отношению к номиналу.

Компрессор и лимиттер авторегулятора F-760X имеет следующие временные параметры: время срабатывания может выбираться из трех значений: 250 мкс, 2,5 и 25 мс; время восстановления автоматически изменяется в пределах 0,25 ... 3,2 с, в зависимости от изменений динамики сигналов. У экспандера время восстановления имеет аналогичные пределы изменения, а время срабатывания может выбираться из значений 20 мкс, 2 и 40 мс.

Авторегулятор типа Компекс, например Компекс-2 фирмы «Аудио-Дизайн» (Англия), представляет собой сочетание компрессора и экспандера. В отличие от известных схем шумоподавления, когда компрессор устанавливается в начале тракта (линии связи, устройства звукозаписи и т. д.), а экспандер — в конце тракта, в Компексе-2 компрессор и экспандер находятся в одном устройстве, разделение функций осуществляется самим сигналом: при слабых сигналах действует экспандер, при больших сигналах в пределах номинала — компрессор, при сигналах выше номинала — лимиттер. Параметры Компекса-2 такие же, как у приведенного выше вокалстрессора F-769X-R.

Эксайтер — это устройство, представляющее собой синтезатор, который на основе анализа низкочастотных составляющих сигнала генерирует высокочастотные составляющие и тем самым обогащает энергетический спектр передачи. Находит широкое применение при реставрации старых звукозаписей. Примером такого устройства является эксайтер AURAL-II-S фирмы «Афекс» (США).

5. Стереофоническое радиовещание

5.1. ОБЗОР СИСТЕМ

Принципиально стереофоническое вещание можно организовать в любом диапазоне радиоволн или в любой многопрограммной системе проводного вещания. Чаще всего используется радиовещание в диапазоне метровых волн. Ввиду большой ширины частотных каналов и применения частотной модуляции реализуются высокие параметры качества. Сети радиовещания в диапазоне МВ сложились давно и широко развиты. Их перевод на стереофоническое вещание производится сравнительно просто, без больших материальных и денежных затрат.

Для радиовещания в диапазоне МВ с ЧМ выделены следующие полосы частот: у нас — 66 ... 74 и 100 ... 108 МГц, в Западной Европе — 88 ... 104 МГц, в США — 88 ... 108 МГц. Для построения систем двухканальной стереофонии вводят поднесущую частоту, которую модулируют по амплитуде или по частоте. Международным консультативным комитетом по радиовещанию (МККР) для диапазона МВ-ЧМ рекомендованы три системы:

1. Система с полярной модуляцией (система ЧМ-АМ), разработанная Л. М. Кононовичем, с амплитудной модуляцией поднесущей частоты 31,25 кГц (эта частота равна удвоенной строчной частоте 15,625 кГц отечественного стандарта вещательного телевидения).

2. Американская система с пилот-тоном (ЧМ-АМ), разработанная инженерами фирмы Zenit-General Electrik, с амплитудной модуляцией поднесущей частоты 38 кГц при частоте пилот-тона 19 кГц.

3. Шведская система Берглунда с частотной модуляцией поднесущей частоты 33,5 кГц и сжатием динамического диапазона сигнала на поднесущей (система ЧМ-ЧМ).

Системы 1 и 2 близки по структуре и параметрам. Главное различие: в системе *1* амплитуда несущей на стороне передачи подавляется в 5 раз (ее уровень уменьшается на 14 дБ) и вновь восстанавливается до исходной величины из оставшейся

части в приемнике; в американской системе поднесущая подавляется практически полностью (в 100 раз или на 40 дБ) и вновь образуется в приемнике путем удвоения частоты пилот-тона 19 кГц, передаваемого малым уровнем. Частичное или полное подавление амплитуды поднесущей улучшает энергетические показатели радиопередатчика.

Система 3 отличается большей помехоустойчивостью, чем системы 1 и 2, благодаря сжатию динамического диапазона сигнала, передаваемого на поднесущей, и применению частотной модуляции поднесущей. Обеспечивается такое большое переходное затухание между трактами, по которым передаются сигналы П и Л, что по ним вместо стереосигнала можно передавать две независимые монофонические программы.

Наряду с системами стереофонии, действующими в диапазоне МВ, все шире применяются системы, использующие диапазон ГМВ, а в отдельных случаях и проводные системы. Полоса частот, выделяемая для этих систем, не превышает ± 10 кГц (исключение составляет система МПВ-Т, в которой полоса частот простирается до 15 кГц), поэтому применять поднесущую частоту для образования второго канала передачи в этих системах невозможно. Мыслимыми решениями в этих случаях могут быть применение двойной модуляции несущей частоты вида АМ-ЧМ или АМ-ФМ, двукратной однополосной и квадратурной амплитудной модуляции (ДОМ и КАМ).

Немаловажной задачей при разработке всех перечисленных систем стереофонического вещания явилось достижение их совместимости с монофоническими системами. Более просто эта задача решается в системах с поднесущей частотой. В основном канале передается сумма сигналов М=Л+П, а в канале на поднесущей — разность сигналов S=Л—П. Сложнее эта задача решается в системах с комбинированными видами модуляции: АМ-ЧМ, АМ-ФМ, ДОМ и КАМ.

Для организации стереофонических систем применимы цифровые методы. С их помощью получают системы с практически одинаковыми каналами, малыми искажениями, но ценой значительного усложнения аппаратуры и многократного расширения полосы пропускания каналов передачи.

5.2. СИСТЕМА С ПОЛЯРНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Идея полярной модуляции ПМ впервые описана в 1939 г. А. И. Косцовым [21]. Положительные полупериоды высокочастотного колебания промодулированы одним сигналом, например сигналом П, а отрицательные полупериоды — другим, например, Л (рис. 5.1,*а*). Спектр полярно-модулированного колебания (рис. 5.1,*б*) содержит поднесущую частоту $f_{\text{п}}$, промодулированную по

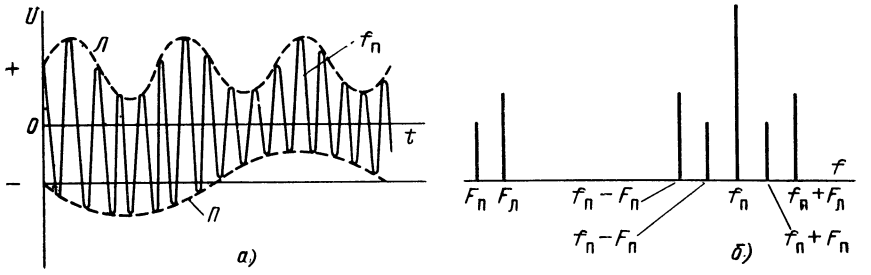


Рис. 5.1. Осциллограмма (*а*) и спектр (*б*) полярно-модулированного колебания при $f_Л > f_П$

амплитуде сигналами П и Л, и низкочастотную составляющую с частотами $f_П$ и $f_Л$, обусловленную асимметрией положительных и отрицательных полуволн высокочастотного колебания. Составляющие П и Л выделяют полярным детектором, простейшая схема которого изображена на рис. 5.2.

Полярно-модулированное колебание ПМК можно представить в форме

$$u = U_m (m_Л \sin \Omega_Л t + m_П \sin \Omega_П t) + U_m (2 + m_Л \sin \Omega_Л t + m_П \sin \Omega_П t) \sin \omega_П t.$$

Введем обозначения $Л = m_Л \sin \Omega_Л t$ и $П = m_П \sin \Omega_П t$. Тогда

$$u = U_m (Л + П) + U_m (2 + Л - П) \sin \omega_п t.$$

В вышеприведенных выражениях U_m — амплитуда поднесущей частоты, $m_Л$ и $m_П$ — коэффициенты модуляции поднесущей сигналами Л и П.

Спектр ПМК содержит звуковые частоты, поэтому он не может быть непосредственно излучен антенной радиопередатчика. Этим спектром после дополнительных преобразований модулируют по частоте несущую радиопередатчика МВ [19, 21, 31]. Последовательность преобразований видна из рис. 5.3,*а,б*. Для повышения помехозащищенности исходных сигналов Л и П в области верхних частот, где уровни спектральных составляющих существенно меньше, чем на средних частотах, сигналы подвергают частотным предыскажениям с помощью предыскажающего контура ПК, реализованного в виде *RC*-цепи с постоянной времени $\tau = 50$ мкс. Схема цепи предыскажений показана на рис. 5.4,*а*, а ее

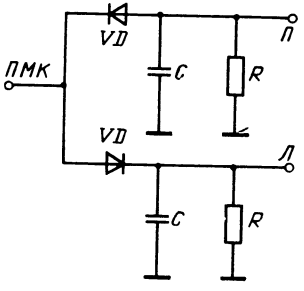


Рис. 5.2. Упрощенная схема полярного детектора

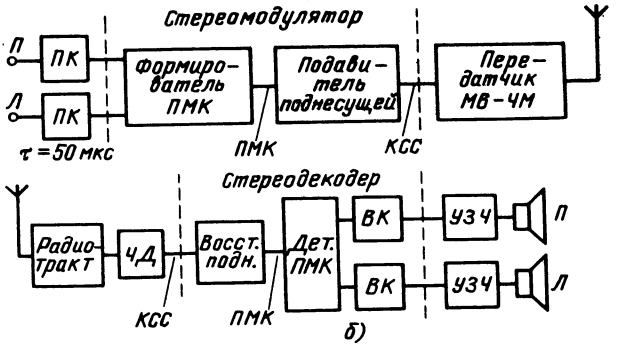


Рис. 5.3. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) частей системы с полярной модуляцией

АЧХ — на рис. 5.4,*б*. Далее сигналы поступают на стереомодулятор, состоящий из формирователя ПМК и подавителя поднесущей. Одна из возможных схем подавителя поднесущей изображена на рис. 5.5,*а*, а его АЧХ — на рис. 5.5,*б*. Спектр ПМК изображен на рис. 5.6,*а*, его измененная форма после подавления поднесущей на рис. 5.6,*б* — штриховой линией, а форма спектра КСС с учетом частотных предыскажений на этом же рисунке — сплошной линией. Здесь же для сравнения показаны спектры КСС системы с пилот-сигналом (рис. 5.6,*в*) и системы ЧМ-ЧМ (рис. 5.6,*г*).

В ходе развития системы с полярной модуляцией были разработаны, испытаны и внедрены в практику несколько методов формирования КСС [19,31].

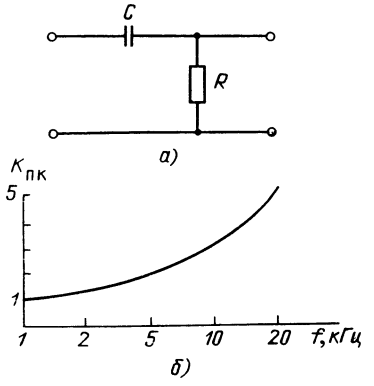


Рис. 5.4. Схема (*а*) и амплитудно-частотная характеристика (*б*) цепи предыскажений

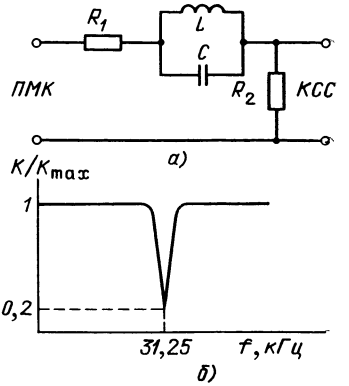


Рис. 5.5. Схема (*а*) и амплитудно-частотная характеристика (*б*) цепи подавления поднесущей

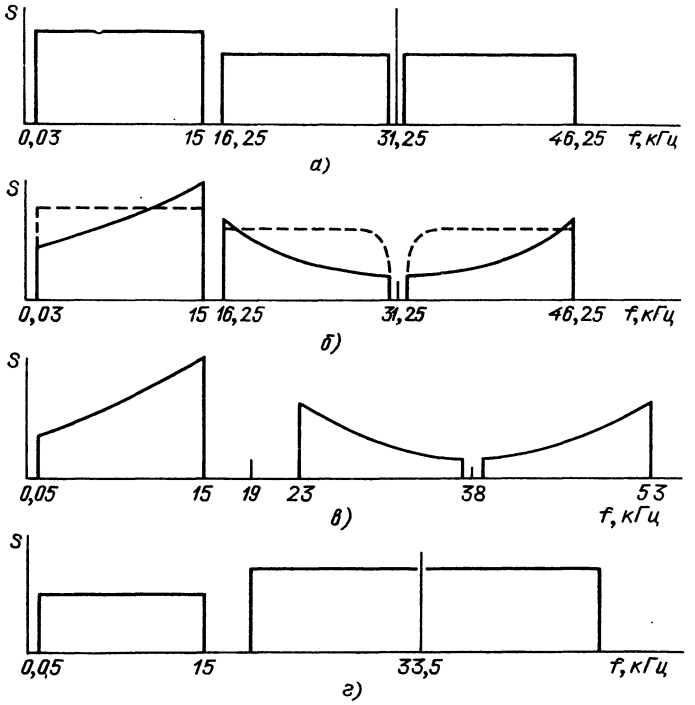


Рис. 5.6. Спектры полярно-модулированного колебания (*а*) и комплексного стереосигнала в системах с полярной модуляцией (*б*), с пилот-тоном (*в*) и с ЧМ-ЧМ (*г*)

При суммарно-разностном методе (рис. 5.7,*а*) из сигналов Л и П, подвергшихся частотным предыскажениям, образуется суммарный и разностный сигналы М=Л+П и S=Л—П, второй модулирует по амплитуде поднесущую частоту, полученную от задающего генератора поднесущей. Далее сигнал М и амплитудно-модулированное колебание складываются и образуют ПМК. После частичного подавления поднесущей формируется КСС. Метод не обеспечивает хорошей стабильности амплитуд и фаз между двумя частями спектра КСС, что приводит к уменьшению переходного затухания между каналами.

Бóльшее переходное затухание обеспечивает ключевой метод (рис. 5.7,*б*). В сигналы, прошедшие цепи предыскажений, с помощью сумматоров Σ вводится постоянная составляющая, определяющая уровень поднесущей. Постоянная составляющая вырабатывается источником опорного напряжения ИОН. Триггер Шмитта ТШ, управляемый частотой поднесущей попеременно открывает электронный ключ ЭК для входных сигналов. С выхода ЭК снимается КСС. Он проходит через цепь, устраняющую пре-

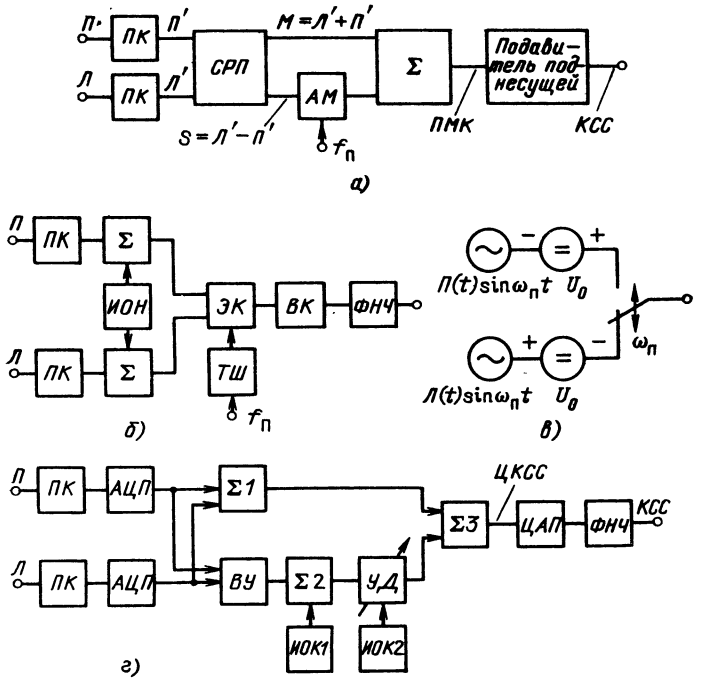


Рис. 5.7. Схемы формирования КСС суммарно-разностным (*а*), ключевым (*б*, *в*) и цифровым (*г*) способами

дыскажения, созданные в цепях предыскажений на входе каналов, и поступает на ФНЧ с линейной ФЧХ, устраняющий гармоники поднесущей частоты и продукты их модуляции. Схематически принцип действия ключевого стереомодулятора иллюстрируется рис. 5.7,*в*. Достоинством этого метода является отсутствие цепи подавления поднесущей, являющейся источником нестабильности параметров модулятора и причиной уменьшения переходного затухания. По ключевому методу действует стереомодулятор МОД-16. В нем обеспечивается неравномерность АЧХ в полосе частот до 46 кГц менее 1 дБ, $a_п$ на частоте 100 Гц не менее 36 дБ, 42 дБ на частоте 315 Гц, 50 дБ на частоте 1000 Гц и 40 дБ на частоте 10000 Гц, уровень фона и других помех — не более —70 дБ.

Еще более высокая точность формирования КСС достигается цифровыми методами (рис. 5.7,*г*). В аналого-цифровых преобразователях АЦП сигналы Л и П преобразуются в цифровую форму. С помощью сумматора Σ1 и вычитающего устройства ВУ образуются сумма и разность цифровых сигналов. К цифровому разностному сигналу в сумматоре Σ2 добавляется константа 0,2 от

источника опорного кода ИОК1. Далее сигнал поступает на управляемый цифровой делитель напряжения УД, коэффициент передачи которого изменяется ступенчатым цифровым кодом, формируемым источником опорного кода ИОК2. С помощью УД устанавливается необходимое соотношение между тональной и надтональной частями КСС.

Выходной сигнал УД и суммарный сигнал Л′+П′ складываются в сумматоре Σ3, образуя цифровой КСС. Затем цифровой сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя ЦАП и фильтра нижних частот ФНЧ преобразуется в аналоговый КСС. При цифровом преобразовании существенно уменьшаются паразитные продукты преобразования и нестабильность параметров КСС, обусловленная изменениями температуры и питающих напряжений.

Сформированный в стереомодуляторе сигнал поступает на вход частотного модулятора радиопередатчика МВ. В стереодекодере радиоприемника (см. рис. 5.3,*б*) сигналы подвергаются обратным преобразованиям. Восстановление амплитуды поднесущей до величины, необходимой для нормального детектирования полярно-модулированного сигнала, происходит в цепи, схема которой инверсна по отношению к схеме рис. 5.5,*а*. Затем в детекторе ПМК выделяются сигналы П′ и Л′, после чего они проходят восстанавливающий контур (*RC*-цепь), восстанавливаются исходные спектры сигналов П и Л. Сигналы усиливаются усилителями звуковых частот УЗЧ и воспроизводятся громкоговорителями.

Монофонические радиоприемники воспринимают только низкочастотную часть спектра КСС. Надтональная часть КСС не детектируется и не воспроизводится.

Выше изложено лишь самое общее представление о процессах, происходящих в системех с полярной модуляцией. Существенно усложняет техническую реализацию системы требование большого переходного затухания между каналами П и Л. Переходное затухание характеризует степень разделимости этих сигналов. По определению

$$a_{\text{п}} = 20 \lg (U'_{\text{л}}/U'_{\text{п}}) .$$

Здесь $U'_{\text{л}}$ — напряжение на выходе левого канала, $U'_{\text{п}}$ — напряжение на выходе правого канала, если на входе каналов $U_{\text{л}} \neq 0$, а $U_{\text{п}} = 0$. Если $a_{\text{п}} = \infty$, то разделение сигналов Л и П идеально, если $a_{\text{п}} = 0$, сигналы Л и П становятся одинаковыми, их отношение равно единице, и звуковая панорама стягивается в одну точку. Слушатель, находящийся на оси симметрии стереофонической звуковоспроизводящей системы, воспринимает вместо широкой панорамы один кажущийся источник звука, расположенный посередине базы громкоговорителей. В соответствии с требованиями, предъявляемыми к системе стереофонического вещания

в целом, переходное затухание должно быть не менее 30 дБ, При $a_п = 20$ дБ сужение звуковой панорамы уже начинает ощущаться.

Переходное затухание между каналами зависит от ширины полосы частот радиоканала, формы АЧХ и ФЧХ тракта КСС, точности преобразования ПМК в КСС в стереомодуляторе передатчика и КСС в ПМК в приемнике (заметим, что в системе с пилот-тоном — от точности восстановления фазы подавленной поднесущей).

Ширина полосы частот Δf радиоканала и $a_п$ связаны соотношением

$$a_п \approx 20 \lg (\Delta f / f_п)^2,$$

где $f_п$ — частота поднесущей. Например, при $a_п = 30$ дБ и $f_п = 31{,}25$ кГц необходима ширина полосы частот радиоканала не менее 176 кГц.

Уменьшают $a_п$ спады АЧХ на верхних и нижних частотах. Первые обусловлены недостаточной шириной полосы пропускания радиотракта и паразитными емкостями устройств, вторые — недостаточной величиной переходных (разделительных) емкостей в межкаскадных цепях. Для областей верхних и нижних частот справедливы соотношения

$$a_{п\,вч} \approx 20 \lg (2 f_{ср}/f_д)^2, \quad a_{п\,нч} \approx 20 \lg (2 F/n F_{ср}),$$

где $f_{ср}$ и $F_{ср}$ — частоты среза на уровне —3 дБ; $f_п$ — частота поднесущей; n — число переходных RC-цепей, а F — нижняя частота, на которой определяется $a_п$. Подставив $a_п = 30$ дБ; $f_п = 31{,}25$ кГц, $n = 2$ и $F = 100$ Гц, получаем: $f_{ср} = 88$ кГц, $F_{ср} = 3{,}1$ Гц. Эти требования весьма жестки и трудно реализуемы.

Важное значение имеет точность восстановления уровня и фазы поднесущей частоты при приеме. При расхождении фаз поднесущей на $\Delta\varphi$

$$a_п = 20 \lg \left| \operatorname{ctg} \frac{\Delta\varphi}{2} \right| .$$

При отклонении фазы поднесущей в приемнике на 11° от фазы поднесущей исходного ПМК $a_п = 40$ дБ, а при отклонении на 20° $a_п = 30$ дБ. При $\Delta\varphi = 90°$ $a_п = 0$, т. е. передача становится монофонической. Чтобы получить $a_п = 30$ дБ, точность восстановления уровня поднесущей должна составлять примерно 0,5 дБ.

Довольно жесткие требования предъявляются к стабильности коэффициентов передачи сквозных каналов Л и П. Расхождение коэффициентов передачи на 1 дБ приводит к смещению кажущегося источника звука на 6°, расхождение на 2 дБ — к смещению почти на 15° и т. д. Поддержание равенства коэффициентов передачи и их стабильности во времени — сложная техническая задача.

Большие трудности возникают из-за подавления и последующего восстановления уровня поднесущей частоты. Резкое изменение АЧХ в области поднесущей частоты (см. рис. 5.5,*б*) приводит к столь же резким отклонениям ФЧХ от линейного закона, поскольку в основе первого и второго явления лежит одна и та же причина — сильное влияние реактивных элементов цепей подавления и восстановления уровня поднесущей частоты. Добиться точной компенсации возникших фазо-частотных искажений невозможно, и это приводит к нежелательным фазовым сдвигам сигналов Л и П в области частот, близкой к $f_п$.

Несмотря на отмеченные сложности, система с полярной модуляцией выдержала испытание временем, и область ее применения расширяется, а многочисленные усовершенствования сделали ее конкурентноспособной в соревновании с другими системами. Несомненным преимуществом системы с полярной модуляцией по сравнению с другими системами является простота ее внедрения в телевизионное вещание ввиду рационального выбора поднесущей частоты.

5.3. СИСТЕМА С ПИЛОТ-ТОНОМ

Как уже указывалось, главным отличием системы с пилот-тоном от системы с полярной модуляцией является практически полное подавление поднесущей частоты. Для ее восстановления передается пилот-тон. Он располагается в области частот между низкочастотной и высокочастотной частями спектра модулирующих частот (см. рис. 5.6,*в*). Чтобы разместить пилот-тон и облегчить его выделение в радиоприемнике, высокочастотную часть спектра пришлось сместить вправо по оси частот. Соответственно увеличилась и поднесущая частота. Увеличение верхней границы спектра модулирующих частот повлекло за собой заметное расширение спектра частотно-модулированных колебаний. Полоса частот, занимаемая спектром системы с пилот-тоном, по разным оценкам составляет 190 ... 266 кГц против 140 ... 190 кГц для системы с полярной модуляцией.

Структурные схемы передающей и приемной частей системы с пилот-тоном представлены рис. 5.8.

Как и в системе с полярной модуляцией, исходные сигналы П и Л для повышения помехозащищенности подвергаются предыскажениям с помощью *RC*-цепи. Ее постоянная времени 75 мкс вместо 50 мкс в системе с полярной модуляцией, поэтому подъем АЧХ на частоте 10 кГц составляет 13,3 дБ, на частоте 15 кГц — 16,7 дБ вместо соответственно 10,3 и 13,6 дБ в системе с полярной модуляцией. Далее производится суммарно-разностное преобразование в СРП. Разностный сигнал $S=Л'—П'$ с помощью балансного модулятора Бм смещается в область более высоких частот и в сум-

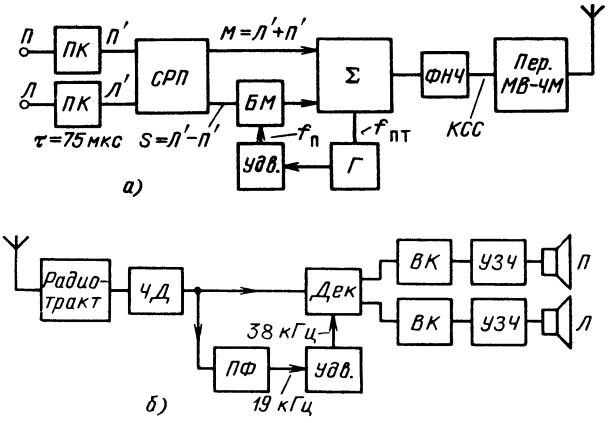


Рис. 5.8. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) части системы с пилот-тоном

маторе Σ смешивается с сигналом М=Л′+П′ и пилот-тоном с частотой $f_{пт}$=19 кГц, вырабатываемой генератором Г. От этого же генератора пилот-тон подается на удвоитель частоты Удв и далее с частотой $f_п$=38 кГц на балансный модулятор БМ.

Выражение для КСС можно представить в виде:

$$u = U_m\,(m_Л \sin \omega_Л t + m_П \sin \omega_П t) +$$

$$+ U_m\,(m_Л \sin \Omega_Л t - m_П \sin \Omega_п t) \sin \omega_П t + k U_m \sin \frac{\Omega_П}{2} t,$$

где kU_m — амплитуда пилот-тона ($k<1$); остальные обозначения имеют тот же смысл, что и в предыдущем параграфе.

Декодирование сигналов в системе с пилот-тоном производится с помощью стереодекодера, схема которого изображена на рис. 5.9. Рассматриваемый стереодекодер действует по ключевому

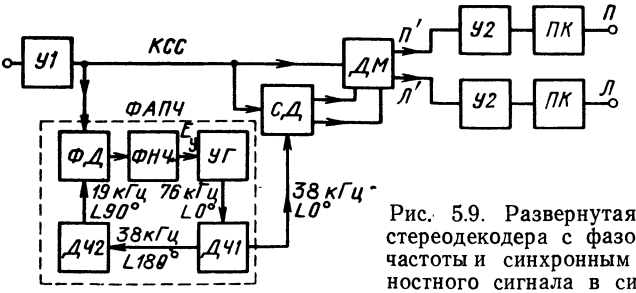


Рис. 5.9. Развернутая структурная схема стереодекодера с фазовой автоподстройкой частоты и синхронным детектированием разностного сигнала в системе с пилот-тоном (вместо ПК следует читать ВК)

принципу. В нем используется фазовая автоподстройка частоты ФАПЧ. В ее схему входят управляемый генератор прямоугольных импульсов УГ с частотой 76 кГц, первый и второй делители частоты ДЧ1 и ДЧ2, уменьшающие частоту УГ соответственно до 38 и 19 кГц, фазовый детектор ФД и фильтр нижних частот ФНЧ. В фазовом детекторе частота пилот-тона, входящего в состав КСС, сравнивается с частотой 19 кГц, полученной в результате деления частоты 76 кГц, вырабатываемой УГ. Если частота пилот-тона лежит в полосе захвата ФАПЧ, то на выходе ФНЧ появится управляющее напряжение $E_у$, воздействующее на частоту УГ. В режиме синхронизации частоты УГ и пилот-тона равны, а их фазы отличаются на 90°. Чтобы исключить влияние на режим захвата составляющих КСС, лежащих близко к пилот-тону, полоса захвата ФАПЧ должна быть существенно у́же ширины промежутка между надтональной и тональной частями спектра КСС, т. е. у́же 23—15=8 кГц. Обычно ширина захвата составляет 2 ... 3 кГц.

Напряжение УГ, синхронизированное по частоте ($\Delta\omega=0$) и фазе ($\Delta\varphi=\pi/2$) с пилот-тоном, поступает на делитель частоты ДЧ1. В нем формируются две противофазные последовательности импульсов, каждая с частотой следования 38 кГц. Последовательность, противофазная с пилот-сигналом, поступает на делитель частоты ДЧ2. Последовательность прямоугольных импульсов с частотой следования 19 кГц на выходе ДЧ2 отличается по фазе в режиме синхронизации от пилот-тона на 90°. Последовательность прямоугольных импульсов, снимаемая со второго выхода ДЧ1 и синфазная с напряжением частоты $2f_{пт}$, поступает на один из входов синхронного детектора СД. На второй его вход через усилитель У1 подается КСС. В синхронном детекторе оба сигнала перемножаются. В результате на его выходах образуются противофазные сигналы, низкочастотные части которых, равные Л′—П′ и П′—Л′, складываются в декодирующей матрице ДМ с КСС. Низкочастотная часть выходных сигналов ДМ представляет собой сигналы Л′ и П′. После усилителей У2 оба сигнала поступают на цепи коррекции предыскажений, восстанавливающие исходный спектр сигналов П и Л.

Помимо устройства ФАПЧ, синхронного детектора, декодирующей матрицы и цепей коррекции предыскажений, в состав стереодекодера входит еще не показанное на схеме устройство опознавания режима работы передатчика («Моно» или «Стерео»), управляющее световым индикатором и переключающее декодер в режим «Моно», когда уровень помех при стереовоспроизведении становится недопустимо большим (аналогичные устройства имеются и в стереодекодерах системы с полярной модуляцией).

Параметры качества систем с полярной модуляцией и пилот-тоном практически одинаковы, но стереодекодер второй системы существенно сложнее стереодекодера первой.

5.4. СИСТЕМА С ДВОЙНОЙ ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

В Швеции была предложена система стереофонического радиовещания, в которой поднесущая частота модулируется не по амплитуде, а по частоте. Модулированная поднесущая затем модулирует по частоте несущую радиопередатчика. Эту систему часто называют системой с двойной ЧМ и обозначают ЧМ-ЧМ. Как и в других системах, сигналы П и Л подвергают суммарно-разностному преобразованию. Суммарный сигнал М передается обычным способом и принимается монофоническими приемниками. Разностный сигнал модулирует по частоте поднесущую 33,5 кГц (рис. 5.6,*г*). Максимальная девиация частоты поднесущей составляет 10 кГц. Спектр ЧМ колебания теоретически бесконечен, но практически он может быть ограничен частотами $33{,}5 \pm 15$ кГц. Для передачи сигнала М отведено 80% максимальной девиации частоты передатчика, для передачи сигнала частотно-модулированной поднесущей — 20%.

Отличительной чертой системы является сжатие динамического диапазона сигнала S. Коэффициент сжатия $\gamma_{сж}=0{,}5$, временные параметры сжимателя таковы: постоянная времени при нарастании сигнала 2 мс, при спаде сигнала — 20 мкс. Расширитель, находящийся в приемнике, восстанавливает исходный динамический диапазон, поэтому его коэффициент расширения $\gamma_р=2$, т. е. обратен γ сжимателя. Применение частотной модуляции поднесущей и сжатие динамического диапазона существенно повышает помехоустойчивость канала S и переходное затухание между каналами. Благодаря этому система универсальна: вместо стереофонического сигнала можно передавать два независимых монофонических сигнала.

Структурная схема передающей и приемной частей системы изображена на рис. 5.10. В этой схеме СРП — суммарно-разност-

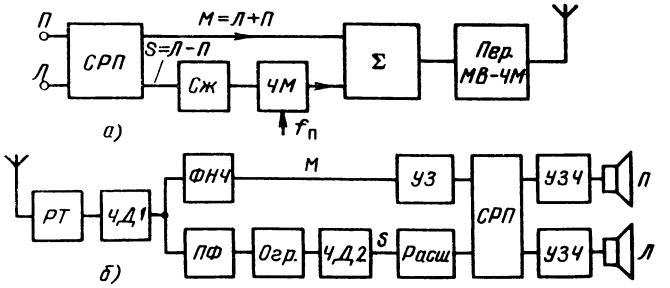


Рис. 5.10. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) частей системы ЧМ-ЧМ

ный преобразователь, Сж — сжиматель, ЧМ — частотный модулятор, Σ — сумматор, Пер — передатчик, РТ — радиотракт приемника, ЧД1 — частотный детектор, Огр — ограничитель, ПФ — полосовой фильтр, ЧД2 — второй частотный детектор (детектор поднесущей), Расш — расширитель.

Для упрощения структурной схемы на ней не показаны цепи частотных предыскажений на входе каналов и цепи восстановления исходных спектров на выходе каналов (перед УЗЧ).

Тональная и надтональная части спектра КСС разделяются фильтрами ФНЧ и ПФ. Для правильного преобразования высокочастотной части спектра КСС необходимо подавить паразитную амплитудную модуляцию, возникающую из-за неидеальности амплитудно-частотных характеристик резонансных цепей радиотракта приемника, с помощью ограничителя Огр. Ограничитель обычно выполняют в виде триггера Шмитта. После частотного детектора ЧД сигнал S поступает на расширитель Расш, восстанавливающий исходный динамический диапазон сигнала, и далее на СРП.

Из рис. 5.10,*б* видно, что пути прохождения тональной и надтональной частей спектра КСС в стереодекодере различны. Из-за этого возникает задержка сигнала S по сравнению с сигналом M. Для компенсации этой задержки и уравнивания времени прохождения через стереодекодер сигналов M и S в тракт сигнала M включается устройство задержки УЗ.

Система ЧМ-ЧМ имеет два важных преимущества. Первое — более высокая помехозащищенность. Отношение сигнал-помеха в канале S при малых сигналах почти не уступает этому отношению в канале M. При увеличении уровня сигнала S отношение сигнал-помеха в канале S становится меньше и при номинальном уровне хуже, чем в канале M, примерно на 20 дБ. Это — следствие действия компандерной системы (системы сжиматель-расширитель). Худшая помехозащищеность при сильных сигналах не имеет существенного значения из-за явления маскировки помехи сильным сигналом. Второе преимущество — большое переходное затухание между каналами П и Л (50 ... 60 дБ), что позволяет передавать две независимые монофонические программы.

Основной недостаток системы как стереофонической — трудность поддержания баланса амплитуд составляющих M и S. Для правильного действия необходимо, чтобы уровень сигнала M на выходе ЧД1 оставался постоянным при изменении уровня сигнала на входе приемника. Второй недостаток — стереодекодер несколько сложнее и дороже, чем в системе с пилот-тоном и, тем более, чем в системе с полярной модуляцией. Но при выполнении стереодекодера в виде специализированной интегральной схемы его стоимость может быть существенно уменьшена.

5.5. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ РАДИОПЕРЕДАТЧИКОВ ДИАПАЗОНА МЕТРОВЫХ ВОЛН

Качество стереофонического радиовещания в значительной мере зависит от структуры и параметров используемых радиопередатчиков. Выпускаемые и эксплуатируемые радиопередатчики должны удовлетворять некоторым специальным требованиям, накладываемым стереофоническим режимом действия, особенностями спектра модулирующих сигналов. В отличие от монофонических стереофонические передатчики модулируются по частоте спектром сигналов, который более чем в три раза шире спектра монофонического сигнала (46 кГц в системе в полярной модуляцией, 53 кГц в системе с пилот-тоном против 15 кГц при монофонии). Итак, первая особенность — необходимость применения широкополосного возбудителя. Вторая особенность — необходимость использования дополнительного оборудования, прежде всего, стереофонического модулятора, предназначенного для формирования КСС из поступающих на вход радиостанций из радиодома двух независимых сигналов Л и П. Необходимо дополнительное контрольное оборудование для проверки соответствия параметров формируемого КСС и выходных сигналов требованиям ГОСТ 18633—80 «Система стереофонического радиовещания. Основные параметры». Эти параметры следующие:

Диапазон передаваемых звуковых частот для каждого канала, кГц	0,03 ... 15
Отклонение АЧХ каналов во всем диапазоне частот, дБ, не более	±1,0
Отношение сигнал-помеха, дБ, не хуже	60
Коэффициент гармоник, %, в диапазоне частот, 0,03 ... 15 кГц, не более	1,5 ... 2,0
Относительная нестабильность несущей частоты передатчика	$\pm 2{,}0 \cdot 10^{-5}$
Частота поднесущей, Гц	31250±2
Подавление поднесущей частоты, дБ	14±0,2
Максимальный коэффициент модуляции поднесущей частоты КСС, %, не более	80
Максимальная девиация частоты передатчика, кГц	±50
Максимальная девиация частоты передатчика сигналом М=Л+П, кГц:	
при Л=П	±40
при Л=0 или П=0	±20
при Л=—П	0±1
Максимальная девиация частоты передатчика сигналом S=Л—П, кГц:	
при Л=П	0±1
при Л=0 или П=0	±20
при Л=—П	±40
Максимальная девиация частоты передатчика остатком частично подавленной поднесущей, кГц, не более	±10

Если мощность внеполосных излучений составляет 0,1% общей мощности передатчика, то ширина спектра, занимаемая сте-

реофоническим сигналом в радиоканале, получается равной 165 кГц. Модуляция передатчика осуществляется так, что положительным значениям переменного напряжения КСС соответствует увеличение частоты, а отрицательным — ее уменьшение.

Сигналы Л и П, поступающие по соединительной линии СЛ на радиостанцию, подвергаются прежде всего суммарно-разностному преобразованию. Идея действия суммарно-разностного преобразователя иллюстрируется рис. 5.11,*а*. На диагонали моста подаются исходные сигналы Л и П, а с двух плеч снимаются сигналы М=Л+П и S=Л—П. Чтобы показать, как происходит такое преобразование, примем, что в какой-то момент полярность входных сигналов такова, что на верхних зажимах входов имеется знак «+». Сплошные стрелки покажут направление тока сигнала П, штриховые — направление тока сигнала Л. Направления токов на резисторах R2 и R3 совпадут, а на резисторах R1 и R4 будут встречными. Очевидно, что на верхней паре выходных зажимов появится сумма входных напряжений, на нижней паре — разность. Практически СРП реализуются различными путями, например с помощью двух трансформаторов с согласным и встречным включением вторичных обмоток (рис. 5.11,*б*) или с помощью операционных усилителей (рис. 5.11,*в*).

После цепей частотных предыскажений и СРП сигналы поступают на стеремодулятор, в котором формируется КСС и далее — на ЧМ возбудитель передатчика. В ходе развития стереофонического радиовещания у нас последовательно применялись два способа модуляции передатчика комплексным стереосигналом: с разделенным и с общим спектром.

Применение первого способа было вызвано отсутствием на первых порах широкополосных ЧМ-возбудителей. При модуляции разделенным спектром (рис. 5.12,*а*) тональная часть КСС непосредственно модулирует высокочастотные колебания ЧМ-возбудителя В, а надтональная часть подается на вторичный модулятор

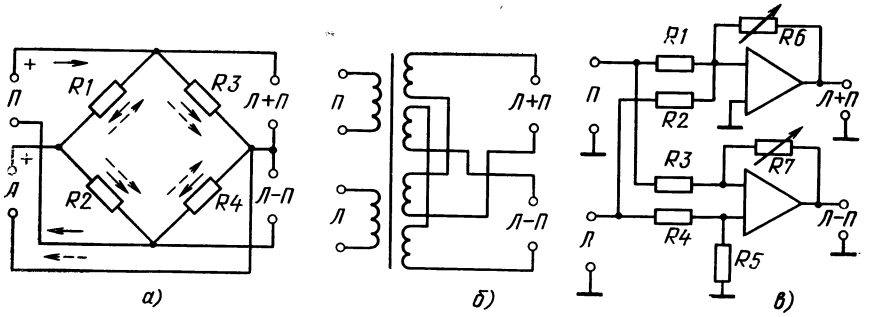


Рис. 5.11. Суммарно-разностные преобразователи на резисторах (*а*), трансформаторах (*б*) и операционных усилителях (*в*)

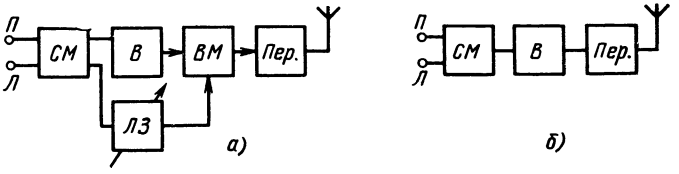


Рис. 5.12. Структурная схема стереофонических передатчиков с модуляцией раздельными спектрами (*а*) и общим спектром (*б*)

ВМ. На прохождение тональной части КСС через возбудитель затрачивается некоторое время. Эта задержка компенсируется включением в тракт S линии задержки ЛЗ. Длительность задержки Δt несколько меняется в зависимости от типа и свойств данного экземпляра возбудителя, а также от внешних причин: изменения питающих напряжений и атмосферных условий, и потому ЛЗ должна быть регулируемой.

Преимущества первого способа очевидны. Для стереофонического вещания можно использовать обычный передатчик с узкополосным возбудителем. Однако способ обладает тремя недостатками: первый — необходимо включать в тракт передатчика вторичный модулятор; второй — нестабильность действия из-за изменения длительности задержки тональной части КСС при ее прохождении через возбудитель; третий — необходимость непрерывно контролировать баланс девиаций частоты от тональной и надтональной частей КСС. Первые два недостатка не являются принципиальными, при компенсации временного сдвига с помощью ЛЗ не сказываются на качестве вещания, третий наиболее серьезен. Изменения коэффициентов передачи в одном из трактов меняет соотношение девиаций. При этом уменьшается переходное затухание между трактами

$$a_{\text{п}} = 20 \lg \frac{2}{\Delta},$$

где Δ — относительная величина разбаланса коэффициентов передачи.

При $\Delta=0{,}1$ (различие уровней примерно 1 дБ) $a_{\text{п}}=26$ дБ, при $\Delta=0{,}2$ (примерно 2 дБ) переходное затухание уменьшается до 20 дБ. Такой разбаланс может возникнуть, например, при смене монофонического режима стереофоническим, когда вторичный модулятор то включается, то выключается, а первичный возбудитель нуждается в подстройке.

Способ модуляции с разделенным спектром был применен в аппаратуре «Веста» (вещательная стереофоническая аппаратура).

Более совершенным явился способ модуляции с общим спектром (рис. 5.12,*б*). Весь КСС со стереомодулятора СМ подается

на широкополосный возбудитель В передатчика. Для формирования КСС используются различные виды стереофонических модуляторов от МОД-12 до МОД-17 [19]. В частности, в аппаратуре АРС-2 (аппаратура радиовещательная стереофоническая, вторая модель) применен стереомодулятор МОД-16, обладающий коэффициентом гармоник менее 0,3% и переходным затуханием между каналами более 50 дБ. Помимо стереомодулятора, в аппаратуру АРС входят блоки визуального контроля стереосигналов, звукового и допускового контроля.

Постоянный уровень сигналов Л и П на входах возбудителя и блока допускового контроля поддерживается блоками автоматического поддержания уровня АПУ (рис. 5.13). Блок содержит входной преобразователь ВП, управляемый регулятор уровня РУ, сравнители Ср уровней сигналов Л и П с уровнем эталонного сигнала, панель управления ПУ, управляющую цепь УЦ в виде реверсивного счетчика и панель индикации отклонений уровня «Больше», «Меньше». Регуляторы уровня выполнены в виде восьмиразрядной декодирующей матрицы с электронными ключами. На выходе блока АПУ имеются усилители звуковых частот УЗЧ. Если уровень сигнала Л или П стал больше или меньше эталонного, то реверсивный счетчик начинает управлять регуляторами. Коэффициент передачи в обоих трактах регулируется одновременно, поэтому положение кажущихся источников звука при воспроизведении не изменяется.

К передатчикам, используемым для стереофонического радиовещания, предъявляется главное требование — неискаженная передача КСС. Для этого АЧХ передатчика в полосе пропускания КСС должна быть горизонтальной, а ФЧХ линейной. Необходимо хорошее подавление сопутствующей паразитной амплитудной модуляции во всем диапазоне модулирующих частот и подавление различных помех в области надтональных частот. К таким помехам, в первую очередь, относится частота задающего кварцевого

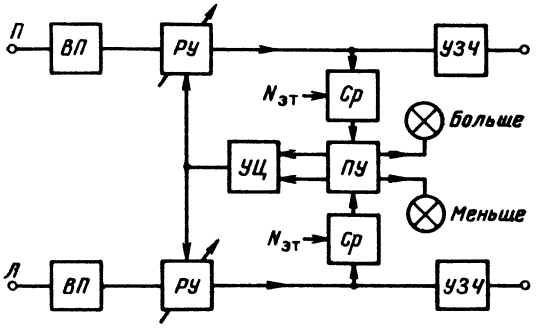


Рис. 5.13. Структурная схема блока автоматического поддержания уровня

генератора (чаще всего 100 кГц), ее гармоники и комбинационные частоты, например комбинация частоты задающего генератора и третьей гармоники поднесущей частоты. В передатчике, предназначенном для стереофонического радиовещания, эти паразитные составляющие в области частот до 200 кГц должны иметь уровень, по крайней мере, на 50 ... 60 дБ ниже уровня сигнала.

5.6. УЗКОПОЛОСНЫЕ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Наряду со стереофоническими системами, действующими в диапазоне МВ, все шире применяют системы, действующие в диапазоне гектометровых волн ГМВ, а в отдельных случаях и системы стереофонического проводного вещания. Имеются несколько причин, из-за которых прибегают к иным средствам распространения стереофонических программ, помимо радиовещания в диапазоне МВ.

1. Сети радиовещания в диапазоне МВ давно сформированы. Определены радиусы обслуживания, высота антенных опор, мощности передатчиков, частотные каналы, расстояния между станциями. При переходе к стереофоническому радиовещанию радиус зоны обслуживания сокращается, возникают области, в пределах которых прием стереофонических программ становится невозможным из-за возрастания помех. Рассчитывать на установку в этих областях дополнительных радиопередатчиков не приходится, так как для них нет свободных частотных каналов.

2. В крупных городах строятся здания со стальными или железобетонными каркасами. Возникают области радиотени, в которых прием радиоволн диапазона МВ невозможен или затруднен. Прямые и отраженные от больших зданий радиоволны взаимодействуют между собою, что приводит при детектировании ЧМ-сигналов к частотным и нелинейным искажениям.

3. Радиоприем в диапазоне МВ в движущихся транспортных средствах, например в автомобилях, в силу причин, указанных в п. 2, сопровождается глубокими изменениями уровня напряженности поля и приводит к искажениям. Доброкачественный прием стереосигналов в диапазоне МВ в движущемся транспорте практически невозможен.

4. Сети звукового радиовещания в диапазоне МВ технически и экономически неэффективны на территориях с небольшой плотностью населения, поэтому организовывать стереофоническое радиовещание в диапазоне МВ на этих территориях нецелесообразно.

Организовать двухканальное стереофоническое вещание вне диапазона МВ можно либо радиосредствами в диапазонах, отведенных для радиовещания с амплитудной модуляцией АМ, либо средствами проводного вещания ПВ. И в первом, и во втором случаях максимальная модулирующая частота ограничена частотой

10 кГц. Это обстоятельство дает право назвать такие системы узкополосными.

Насколько ухудшается восприятие звучания при ограничении ширины полосы модулирующих частот? Проведенные исследования [20] показали, что большинство радиослушателей предпочитает стереофоническую передачу в полосе частот первого и даже второго класса качества монофонической передаче высшего класса качества. Если оценить звучание в полосе частот 15 кГц пятью баллами, то звучанию с ограничением полосы частот до 10 кГц дается оценка 4,5 балла, а до 6 кГц — 3,9 балла. Однако лучшим подтверждением тому, что для стереофонии можно использовать ограниченную полосу частот, служит тот факт, что находят широкий спрос и удовлетворяют слушателей стереофонические радиовещательные приемники, магнитофоны и электрофоны первого и второго класса качества и даже такие, полоса частот которых хуже норм второго класса качества.

Организация двухканальной стереофонии мыслима либо по двум частотным каналам радиовещания или проводного вещания, либо по одному частотному каналу. Вариант с использованием двух частотных каналов, несмотря на его простоту, приходится сразу отбросить из-за организационных трудностей, неудобств для слушателей, экономической неэффективности. Более пригоден второй вариант. К системам, занимающим один частотный канал, относятся системы с двойной модуляцией — амплитудно-частотной АМ-ЧМ и амплитудно-фазовой АМ-ФМ, с двукратной однополосной и квадратурно-амплитудной модуляцией ДОМ и КАМ. Очевидно, что во избежание чрезмерного расширения спектра первая и вторая могут использоваться лишь при малых индексах частотной и фазовой модуляции m_f и m_φ. Более предпочтительны системы с ДОМ и КАМ. Важными обстоятельствами, определяющими пригодность той или иной системы, являются их совместимость с монофонической системой и степень сложности приемных устройств.

В системах с двойной модуляцией для получения совместимости сигналы Л и П преобразуются в сигналы М=Л+П и S=Л—П, аналогично тому, как это делается при стереофоническом радиовещании в диапазоне МВ. Затем несущая передатчика модулируется по амплитуде сигналом М, а по частоте или фазе сигналом S. Модулированный сигнал может быть представлен в виде

$$u(t)=A(t)\cos[\omega_0 t+\theta(t)]=A(t)\cos\psi(t),$$

где ω_0 — несущая частота; $A(t)$ характеризует изменение амплитуды высокочастотного колебания, а $\psi(t)$ — изменения частоты или фазы. Для упрощения записи амплитуду A_0 высокочастотного колебания $A_0\cos(\omega_0 t+\theta_0)$ и амплитуды моделирующих сигналов $Л=A_{m\,л}\cos(\omega_0 t+\theta_д)$ и $П=A_{m\,П}\cos(\omega_П t+\theta_П)$ принимают

равными единице, а начальные фазы этих составляющих θ_0, $\theta_Л$ и $\theta_П$ равными нулю. Тогда при модуляции высокочастотного колебания по амплитуде суммарным сигналом M, а по частоте или фазе разностным сигналом S, получим

$$A(t) = 1 + m_Л \cos \Omega_Л t + m_П \cos \Omega_П t,\ \theta(t) = 0,$$

$$\cos \psi(t) = \cos(\omega_0 + \omega_д \cos \Omega_Л t - \omega_д \cos \Omega_П t),\ A(t) = 1,$$

$$\cos \psi(t) = \cos\left(\omega_0 t + \frac{\omega_д}{\Omega_Л} \sin \Omega_Л t - \frac{\omega_д}{\Omega_П} \sin \Omega_П t\right),\ A(t) = 1,$$

причем $\Omega_Л$ и $\Omega_П$ — модулирующие частоты сигналов Л и П, $\omega_д$ — девиация частоты, $\omega_д/\Omega_Л$ и $\omega_д/\Omega_П$ соответственно индексы фазовой модуляции, обусловленные сигналами Л и П. Подставив первое и второе выражения или первое и третье выражения в формулу для $u(t)$, получим соответственно законы изменения напряжения для АМ-ЧМ или АМ-ФМ колебаний.

Передатчик содержит устройство для суммарно-разностного преобразования сигналов СРП, амплитудный модулятор АМ и частотный или фазовый модулятор ЧМ, ФМ. Стереофонический приемник содержит два отдельных тракта: один — для детектирования АМ сигнала, второй — для детектирования ЧМ или ФМ сигнала, а также СРП и два УЗЧ. Монофонический приемник должен воспринимать только АМ сигнал. Но вследствие неидеальности амплитудно-частотных характеристик резонансных контуров радиотракта приемника он будет реагировать и на частотную или амплитудную модуляцию, что приведет к искажениям.

Структурные схемы передающей и приемной части стереофонической системы АМ-ЧМ, предложенной фирмой Belar, показаны на рис. 5.14 [5, 13]. Передающая часть содержит суммарно-разностный преобразователь СРП, возбудитель В, частотный и амплитудный модуляторы ЧМ и АМ, оконечные каскады ОК. Для

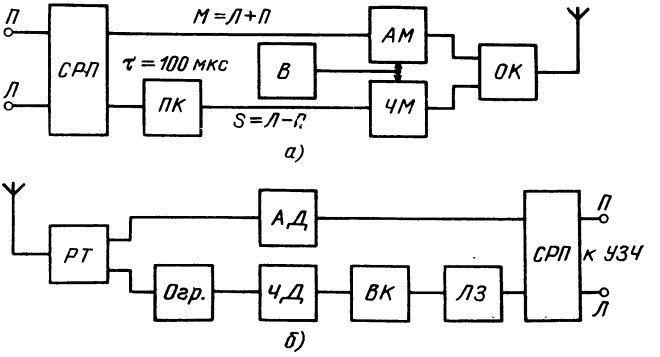


Рис. 5.14. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) частей системы фирмы Белар (Belar)

уменьшения спектра модулированиих колебаний девиация частоты выбрана небольшой — 1,25 кГц. На верхней частоте 10 кГц индекс частотной модуляции — 0,125. Для увеличения помехозащищенности тракта разностного сигнала включена цепь предыскажений ПК с постоянной времени 100 мкс. Радиоприемное устройство содержит радиотракт РТ, амплитудный детектор АД, безынерционный ограничитель Огр, частотный детектор ЧД, восстанавливающий контур ВК, СРП и два УЗЧ. Линия задержки ЛЗ необходима для компенсации временны́х сдвигов сигналов М и S, проходящих по разным цепям.

Ухудшение отношения сигнал-помеха в системе фирмы Belar по сравнению с монофонической системой составляет примерно 2,5 дБ, что не приводит к заметному уменьшению зоны обслуживания и потому считается приемлемым.

Фирмой Magnavox разработана система АМ-ФМ. Ее структурная схема подобна схеме рис. 5.14. Отличия: нет цепи предыскажений ПК, а ЧМ и ЧД заменены соответственно ФМ и ФД. Максимальная девиация фазы несущей сигналом S составляет ± 1 рад. В приемнике имеется индикатор стереорежима, управляемый пилот-сигналом передатчика. При переходе передатчика из монофонического в стереорежим отношение С/П уменьшается на 2,2 дБ.

В системе с ДОМ нижняя и верхняя боковые полосы частот используются для передачи сигналов Л и П. Каждый из двух однополосных сигналов формируется фильтровым или фазовым способом. При фильтровом способе нежелательная боковая, а иногда и несущая подавляются фильтром. При фазовом способе получают несколько (чаще два) двухполосных сигнала, сдвинутых по фазе. Их суммируют с определенными амплитудными и фазовыми соотношениями. При этом составляющие одной боковой полосы подавляются, а составляющие другой усиливаются.

Идея действия системы, в которой реализуется фазовый метод, иллюстрируется рис. 5.15. На этом рисунке приняты следующие

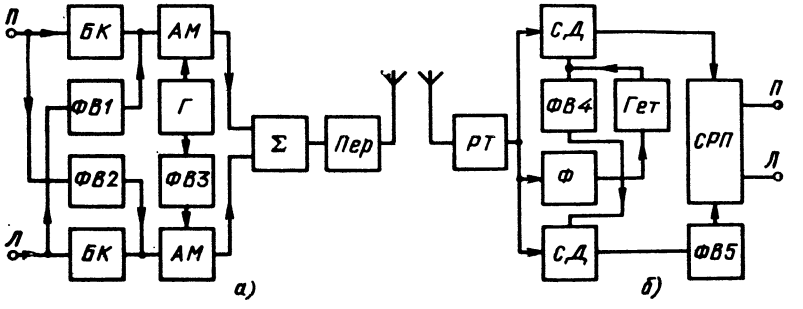


Рис. 5.15. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) частей системы ДОМ

обозначения: Г — возбудитель (задающий генератор), БК — буферные каскады, ФВ1 — ФВ2 — широкополосные фазовращатели, создающие сдвиг фазы модулирующих сигналов на 90°, АМ — амплитудные модуляторы, ФВ3 и ФВ4 — узкополосные фазовращатели, сдвигающие фазу несущей частоты на 90°, Σ — сумматор, СД — синхронные детекторы, Ф — фильтр, выделяющий несущую частоту, Гет — гетеродин приемного устройства, СРП — суммарно-разностный преобразователь, ФВ5 — широкополосный фазовращатель.

Сигнал каждой из боковых полос формируется путем сложения двух равных амплитудно-модулированных колебаний, фазы которых сдвинуты на 90°. Фазы высокочастотных напряжений несущей также сдвинуты на 90°. В результате компенсируются колебания и подавляются составляющие одной из боковых полос.

В приемном устройстве два одинаковых синхронных детектора СД управляются напряжением несущей частоты, получаемым от гетеродина Гет, частота которого синхронизирована с частотой несущей. Сдвиг фаз осуществляется фазовращателем ФВ4. Выходные напряжения СД складываются и вычитаются в СРП, причем одно из них предварительно поворачивается по фазе на 90° фазовращателем ФВ5. Подробный анализ происходящих процессов приведен в [32]. Полностью сформированный сигнал ДОМ имеет вид:

$$u(t) = \cos \omega_0 t + m_{\text{Л}} \cos(\omega_0 - \Omega_{\text{Л}}) t + m_{\text{П}} \cos(\omega_0 + \Omega_{\text{П}}) t.$$

Детектирование такого сигнала детектором монофонического приемника не сопровождается нелинейными искажениями только при Л=П. Промежуточные значения нелинейных искажений получаются при наличии сигнала в одном канале. В случае стереофонического сигнала искажения максимальны. Уже при $m=0{,}3$, $K_{\text{г}}=4\%$.

Метод ДОМ был использован в разработке фирмы RCA (США). Однако он не давал удовлетворительной совместимости с монофонической системой. Более совершенную, но и более сложную систему предложила фирма Kahn (США) совместно с Haseletine Corp. Сигнал с независимыми полосами создается искусственно путем раздельной АМ и ФМ. Для улучшения совместимости в ФМ сигнал вводится компенсирующая добавка [39].

Можно предположить, что совместимость системы ДОМ улучшится, если на боковых полосах передавать не сигналы Л и П, а сигналы М и S.

Варианты систем с КАМ разработаны в ряде стран, в том числе у нас [5, 13, 31, 32, 40].

В системах с квадратурной амплитудной модуляцией КАМ используются два АМ колебания с одинаковыми несущими частотами, фазы которых сдвинуты относительно друг друга на 90°. По

идее действия к этому классу систем можно отнести и те, в которых фазовый угол сдвига несущих отличается от 90°. С учетом ранее введенных допущений и обозначений сигнал КАМ можно выразить формулой

$$u(t) = (1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t + m_{П} \cos \Omega_{П} t) \cos \Omega_0 t + \\ + (m_{Л} \cos \Omega_{Л} t - m_{П} \cos \Omega_{П} t) \sin \omega_0 t = A(t) \cos [\omega_0 t - \theta(t)],$$

причем

$$A(t) = \sqrt{(1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t)^2 + (m_{Л} \cos \Omega_{Л} t - m_{П} \cos \Omega_{П} t)^2},$$

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{m_{Л} \cos \Omega_{Л} t - m_{П} \cos \Omega_{П} t}{1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t - m_{П} \cos \Omega_{П} t}.$$

В приемном устройстве два синхронных детектора СД, на которые подается сигнал КАМ и, кроме того, колебания несущей частоты, сдвинутые по фазе на 90°, выделят составляющие Л и П. Детектор монофонического приемника выделит огибающую $A(t)$, которая при небольших $m_{Л}$ и $m_{Л}$ близка к $1+m_{П}\cos\Omega_{П} t+ +m_{П}\sin\Omega_{П} t$. Однако применение небольших коэффициентов модуляции экономически невыгодно, поэтому идут на некоторые усложнения системы.

В системе фирмы Motorola несовместимую огибающую $A(t)$ заменяют огибающей вида $A'=1+m_{Л}\cos\Omega_{Л} t+m_{П}\cos\Omega_{П} t$. Структурная схема передающей и приемной частей системы представлена на рис. 5.16. В передающую часть входят СРП, амплитудный и балансный модуляторы АМ и БМ, возбудитель В, фазовращатель ФВ, сумматор Σ, амплитудный ограничитель Огр, устраняющий огибающую $A(t)$, и собственно передатчик Пер. Несущая передатчика модулируется по амплитуде сигналом M, а по

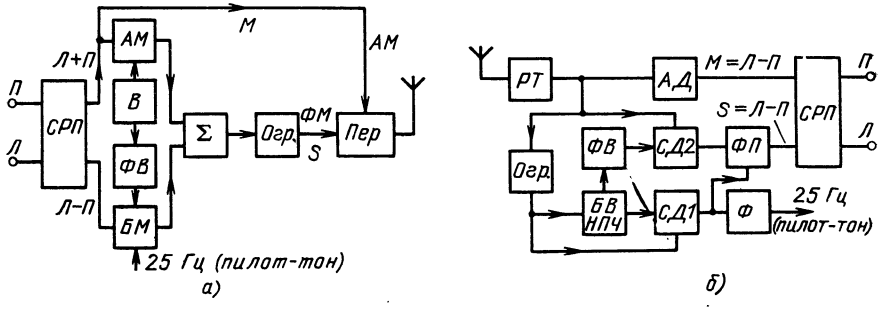


Рис. 5.16. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) частей системы КАМ фирмы Моторола (Motorola)

фазе — сигналом, снимаемым с выхода ограничителя. Таким образом излучаются колебания вида АМ-ФМ

$$u(t) = (1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t + m_{П} \cos \Omega_{П} t) \cos [\omega_0 t + \theta(t)],$$

где

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{m_{Л} \cos \Omega_{Л} t + m_{П} \cos \Omega_{П} t}{1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t + m_{П} \cos \Omega_{П} t}.$$

Декодирование этого сигнала производится устройством, изображенным на рис. 5.16,*б*. На выходе радиотракта РТ получается сигнал, аналогичный вышеприведенному, но транспонированный в область промежуточной частоты $\omega_{пр}$

$$u(t) = (1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t + m_{П} \cos \Omega_{П} t) \cos [\omega_{пр} t + \theta(t)].$$

Этот сигнал подается на амплитудный детектор АД и на безынерционный ограничитель Огр. На выходе АД получаем сигнал М, на выходе ограничителя сигнал

$$u'(t) = \cos[\omega_{пр} t + \theta(t)] = \cos[\theta(t)] \cos \omega_{пр} t + \sin[\theta(t)] \sin \omega_{пр} t.$$

Из сигнала $u'(t)$ в блоке выделения немодулированной промежуточной частоты БВНПЧ получают составляющую $\omega_{пр}$. Далее эту составляющую подают на вход синхронного детектора СД1 без сдвига фазы, а на вход СД2 через фазовращатель ФВ — со сдвигом фазы на 90°. На вторые входы СД подают сигналы $u(t)$ и $u'(t)$. В результате детектирования получаем соответственно сигналы

$$u_1(t) \approx (1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t + m_{П} \cos \Omega_{П} t) \sin \theta(t),$$
$$u'_1(t) \approx \cos[\theta(t)].$$

Далее с помощью функционального преобразователя ФП производится операция деления $u_1(t)$ на $u'_1(t)$. Тогда с учетом выражений для $u(t)$ и θ получаем

$$(1 + m_{Л} \cos \Omega_{Л} t + m_{П} \cos \Omega_{П} t) \operatorname{tg} [\theta(t)] = m_{Л} \cos \Omega_{Л} t - m_{П} \cos \Omega_{П} t,$$

т. е. разностный сигнал S. Итак, для выделения разностного сигнала производят синхронное детектирование сигналов $u(t)$ и $u'(t)$ и деление сигналов $u_1(t)$ и $u'_1(t)$, полученных в результате детектирования.

В суммарно-разностном преобразователе СРП из сигналов М и S восстанавливаются сигналы Л и П. Модулированный по фазе пилот-тон 25 Гц выделяется фильтром Ф и служит для сигнализации о стереоприеме.

Чтобы получить небольшие нелинейные искажения, ширина полосы пропускания радиотракта должна значительно превышать удвоенное значение высшей модулирующей частоты. Коэффициент гармоник в каналах М и S составляет при ширине полосы пропускания $\Delta f = 6F_{макс}$ доли процента, при $\Delta f = 4F_{макс}$ $K_г \approx 3{,}5\%$, при коэффициенте модуляции $m = 0{,}45$. Наконец, при $\Delta f = 2F_{макс}$ $K_г = 5\%$ даже при коэффициенте модуляции m, уменьшенном до 0,15.

Система фирмы Motorola получила сокращенное наименование «C-QUAM» («совместимая, с квадратурной модуляцией»). При приеме стереофонических сигналов по этой системе отношение С/П ухудшается по сравнению с монофоническим приемом на 3 дБ.

Нелинейные искажения в системах, аналогичных системе Motorola, могут быть значительно уменьшены при введении в модулирующие сигналы особых предыскажений. Такой способ предложен в [38].

К системам с квадратурной модуляцией примыкает система фирмы Harris (рис. 5.17). В этой системе сигнал получают балансной модуляцией двух несущих одинаковой частоты, сдвинутых фазовращателями ФВ на углы $+\varphi$ и $-\varphi$ относительно фазы колебаний возбудителя (задающего генератора) В. Промодулированные колебания и несущая поступают на сумматор Σ:

$$u(t) = \cos \omega_0 t + m_Л \cos \Omega_Л t \cos (\omega_0 t - \varphi) +$$

$$+ m_П \cos \Omega_П t \cos (\omega_0 t + \varphi).$$

Данное выражение может быть преобразовано в форму

$$u(t) = [1 + (m_Л \cos \Omega_Л t + m_П \cos \Omega_П t) \cos \varphi] \cos \omega_0 t +$$

$$+ [1 + (m_Л \cos \Omega_Л t - m_П \cos \Omega_П t) \sin \varphi] \sin \omega_0 t.$$

Здесь использованы те же обозначения и допущения, что и ранее. Это выражение отображает колебание, в котором, изменяя параметр φ, можно изменить соотношение суммарной и разностной составляющей стереосигнала. Если $\varphi = 0$, то равно нулю и второе слагаемое и сигнал становится монофоническим. Если $\varphi = 90°$, то исчезает суммарный сигнал. При $\varphi = 45°$ присутствуют оба сла-

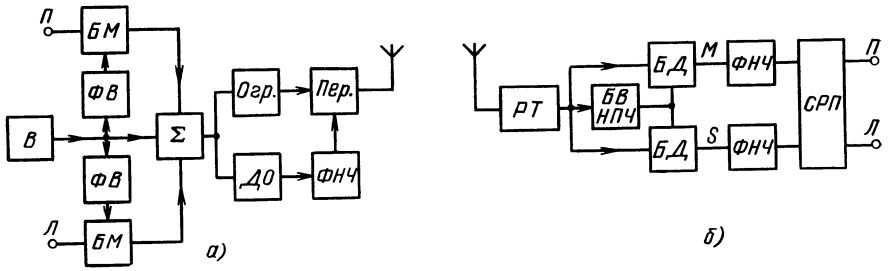


Рис. 5.17. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) частей системы фирмы Харрис (Harris)

гаемых и имеет место обычная квадратурная модуляция. Аналогичная система разработана в ОЭИС [5, 40].

Система Harris действует следующим образом. Колебание, полученное на выходе сумматора, поступает на ограничитель Огр и детектор огибающей ДО. На выходе Огр получается только фазомодулированное колебание, фаза которого меняется по закону θ (см. с. 124). Выделенная детектором огибающей ДО и ФНЧ огибающая квадратурного сигнала модулирует по амплитуде несущую передатчика Пер. В качестве несущей используется полученное на выходе Огр фазомодулированное колебание. Введение этих дополнительных преобразований сигнала дает возможность использовать для стереофонического вещания обычный передатчик без переделки.

В приемнике сигнал поступает на два балансных детектора БД и блок выделения немодулированной промежуточной частоты БВ НПЧ. Составляющая с частотой $\omega_{пр}$ через фазовращатели ФВ поступает на вторые входы БД. На выходе одного БД получается суммарный сигнал M, на выходе другого — разностный S. Далее оба поступают на СРП.

Достоинством системы фирмы Harris является относительная простота реализации. В отличие от системы фирмы Motorola внеполосные излучения отсутствуют. Следовательно, при переходе к стереофоническому радиовещанию нет необходимости расширять полосу пропускания радиоканала. Вероятность появления паразитной амплитудной модуляции при монофоническом приеме сигналов, сформированных по системе Harris, мала.

Характерный недостаток систем с квадратурной модуляцией — неполная совместимость с монофонической системой. При детектировании сигналов КАМ детектором монофонического приемника возникают большие нелинейные искажения, даже при существенном уменьшении коэффициента модуляции. Так, при $m_Л = m_П = 0{,}3$ $K_г = 8 \ldots 10\%$, что в радиовещании недопустимо. Уменьшая φ, можно существенно уменьшить $K_г$, правда, при одновременном уменьшении отношения С/П. В системе фирмы Harris $\varphi = \pm 15°$. При таком угле и коэффициенте модуляции $m = 0{,}5$ коэффициент гармоник $K_г = 0{,}9\%$, т. е. в 10 раз меньше чем при $\varphi = 90°$. Но отношение С/П уменьшается при этом на 8,7 дБ по сравнению с С/П при монофоническом приеме.

5.7. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И ТРАКТОВ ПЕРВИЧНОГО И ВТОРИЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

Сформированные в тракте радиодома сигналы стереофонических программ доводятся до радиослушателей с помощью трактов первичного и вторичного распределения (соответственно ТПР и ТВР).

В тракты первичного распределения входят городские соединительные линии СЛ, коммутационно-распределительная аппаратная КРА, междугородные вещательные аппаратные МВА и междугородные каналы звукового вещания МКЗВ. Сеть МКЗВ организуется на основе магистральной и внутризоновой первичной сети единой автоматизированной сети связи страны ЕАСС. В нее входят кабельные, радиорелейные и спутниковые системы передачи. Тракты вторичного распределения предназначены непосредственно для передачи программ слушателям. Эти тракты начинаются с конца СЛ, идущей от местной КРА, МВА или центральной аппаратной радиодома ЦА, РД и заканчиваются входом антенны вещательного передатчика или абонентской розеткой сети проводного вещания. Таким образом, доведение программ непосредственно до приемного устройства слушателя осуществляется двумя способами: с помощью технических средств радиовещания или проводного вещания. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки и наиболее выгоден в определенных конкретных условиях.

Современные аналоговые системы передачи АСП, в которых организуются МКЗВ, построены на основе частотного разделения каналов ЧРК. Цифровые системы передачи ЦСП строят на основе временно́го разделения каналов, когда каждому каналу отводится определенный временно́й интервал в пределах общего цикла передачи. И в том, и в другом случае структурная схема прохождения сигналов по ТПР и ТВР имеет примерно один и тот же вид (рис. 5.18). Сигнал с выхода ЦА РД по СЛ поступает в КРА, которая связана с потребителями программ — радиопередающими центрами РПЦ, местным узлом проводного вещания УПВ и междугородной вещательной аппаратной МВА — также СЛ. Из МВА сигналы поступают в МКЗВ, который заканчивается в оконечной междугородной вещательной аппаратной ОМВА пункта назначения. Отсюда сигналы через местную КРА или центральную аппаратную местного радиодома поступают к местному РПЦ или УПВ.

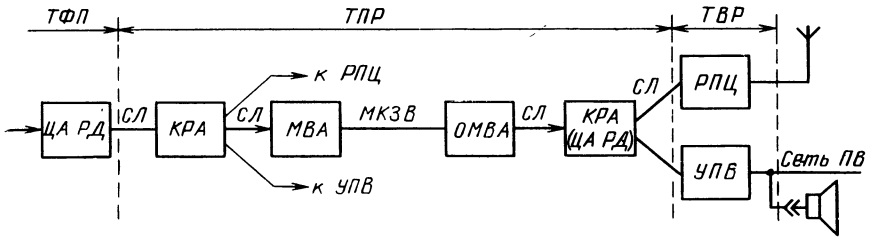


Рис. 5.18. Структура каналов звукового вещания:
ТФП — тракт формирования программ, ТПР и ТВР — тракты первичного и вторичного распределения

5.8. ОРГАНИЗАЦИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

Междугородные стереофонические каналы необходимы для обмена стереофоническими программами между городами страны, а в некоторых случаях для подачи программ и в другие страны. Стереофонический МКЗВ образуется двумя монофоническими каналами высшего класса качества. К их параметрам качества предъявляются некоторые специфические требования. Главное из них — синхронизация генераторного оборудования передающей и приемной сторон. При отсутствии синхронизма фазовый сдвиг между каналами непрерывно меняется, что приводит к недопустимым искажениям стереосигналов, вплоть до потери стереоэффекта. Кроме того, фазовые сдвиги между каналами вносятся усилительными и преобразовательными устройствами, фильтрами, частотными корректорами, входящими в канал. Разность фаз между каналами в области средних звуковых частот (200 ... 4000 Гц) не должна превышать 10 ... 20°. Различия коэффициентов передачи и АЧХ каналов так же, как и фазовые сдвиги, приводят к пространственным искажениям, нарушению стереопанорамы вследствие смещения кажущихся источников звука от их истинного положения. Разность нормированных значений уровня на выходе каналов в области частот 125 ... 10000 Гц не должна быть более 1 дБ. Выполнение этих требований в аналоговых системах передачи является сложной технической задачей.

Фирмой Siemens для организации стереофонических МКЗВ разработана аппаратура MST-15, выпускаемая в ФРГ, SPKR-15, выпускаемая в Польше (рис 5.19,*а*). Входные сигналы Л и П поступают на корректирующие контуры КК, исправляющие частотные искажения соединительных линий, усиливаются усилителями У, далее проходят ФНЧ, ограничивающие полосу частот 15 кГц, и подводятся к сумматорам Σ, где к ним добавляются сигналы пилот-тона с частотой 16,5 кГц, поступающие от генераторного оборудования ГО. Далее спектр сигналов подвергается частотным преобразованиям в преобразователях П1, П2, П3. На первые от ГО подается несущая частота 95,5 кГц. После П1 следуют полосовые фильтры ПФ, выделяющие нижние боковые полосы сигналов Л и П, и вырезающие фильтры ВФ, подавляющие несущую частоту 95,5 кГц. Далее сигналы проходят устройства шумоподавления, состоящие из предыскажающего контура ПК и сжимателя динамического диапазона Сж, и ограничители максимальных уровней Огр.

Второе преобразование осуществляется на несущей частоте 322,5 кГц, третье в канале Л на частоте 336 кГц, в канале П на частоте 504 кГц. На выходах всех преобразователей образуются однополосные сигналы. Использование трех ступеней преобразо-

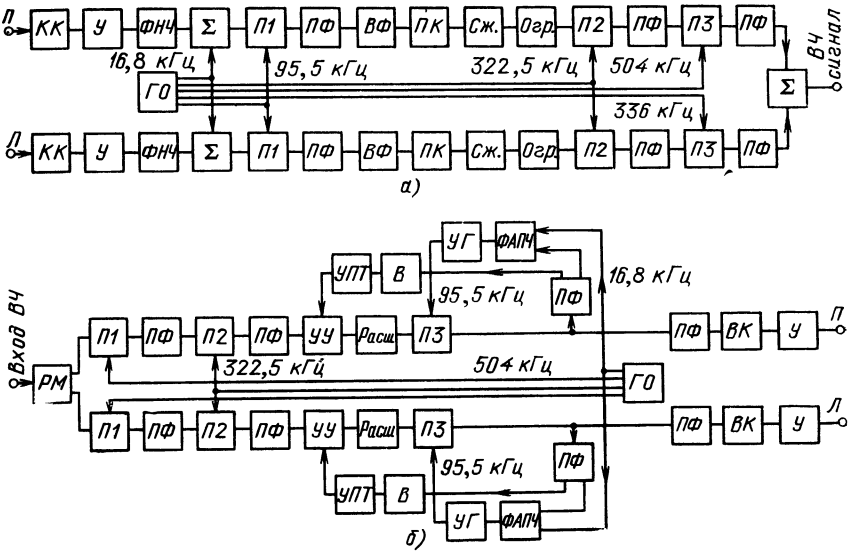


Рис. 5.19. Структурная схема передающей (*а*) и приемной (*б*) частей аппаратуры передачи стереосигналов по МКЗВ фирмы «Сименс» (Siemens)

вания обеспечивает большой разнос между несущими частотами и используемыми боковыми полосами. Это позволило ослабить требования к крутизне частотных характеристик затухания полосовых фильтров, упростило и удешевило их.

После всех преобразований сигнал канала Л занимает полосу частот 67,2 ... 81,97 кГц, сигнал канала П — полосу частот 86,03 ... ... 101 кГц. Пилот-тоны каналов Л и П занимают соответственно частоты 65,2 и 102,8 кГц. Далее сигналы Л и П соединяются в сумматоре Σ, образуя стереофонический сигнал в полосе частот первичной группы 60 ... 108 кГц.

На выходе МКЗВ (рис. 5.19,*б*) сигналы разделяются фильтрами, входящими в состав блока разветвителя мощности РМ, и проходят три обратные ступени преобразования частот, на первой — на частотах 336 и 504 кГц, на второй — на несущей частоте 322,5 кГц. В результате первого и второго преобразований сигналы переносятся в область частот 78,7 .. 95,47 кГц. Несущая частота третьего преобразования генерируется управляемым генератором УГ, ведомым устройством фазовой автоподстройки частоты ФАПЧ, которое реагирует на разность фаз пилот-тона, выделяемого полосовым фильтром ПФ, и колебания с частотой 16,8 кГц, создаваемого местным генераторным оборудованием ГО. При совпадении частот на входах фазовых детекторов устройства ФАПЧ управляемые генераторы вырабатывают напряжение с частотой

95,5 кГц; при их расхождении несущая частота третьего преобразователя приемного устройства подстраивается под несущую частоту первого преобразователя П1 передающего устройства. В результате смещения спектра выходного сигнала не происходит. Использование одного ГО позволяет избежать случайных фазовых сдвигов.

С помощью пилот-тона устраняется разбаланс коэффициентов передачи каналов Л и П. Выпрямленное и усиленное усилителем постоянного тока УПТ напряжение пилот-тона изменяет коэффициенты усиления управляемых усилителей УУ в зависимости от коэффициентов передачи каждого канала. Таким образом, каждый канал имеет две цепи управления и регулирования — по частоте и по коэффициенту передачи.

Расширители восстанавливают исходный динамический диапазон сигналов, а восстанавливающие контуры ВК компенсируют частотные предыскажения, внесенные ПК.

Для организации монофонических МКЗВ широко используется отечественная аппаратура вещания АВ-2/3. При образовании канала второго класса качества занимаются четвертый и пятый каналы тональной частоты ТЧ первичной группы. При образовании канала первого класса качества занимаются четвертый, пятый и шестой каналы ТЧ (рис. 5.20). Аппаратура АВ-2/3 непосредственно не может быть использована для передачи стереофонических сигналов, поскольку полоса частот в лучшем случае соответствует лишь первому классу качества, а неравномерность АЧХ достигает 2,5 дБ. Главное препятствие — отсутствие синхронизации генераторного оборудования на передающей и приемной стороне. В результате фазовые сдвиги между каналами, занимаемыми под передачу стереофонических сигналов, непрерывно изменяются, что недопустимо. Разработаны и предложены способы для введения синхронизации, но все они требуют модернизации оборудования или введения в установленное оборудование блоков и, главное, не решают задачи создания стереофонических МКЗВ, соответствующих современным требованиям.

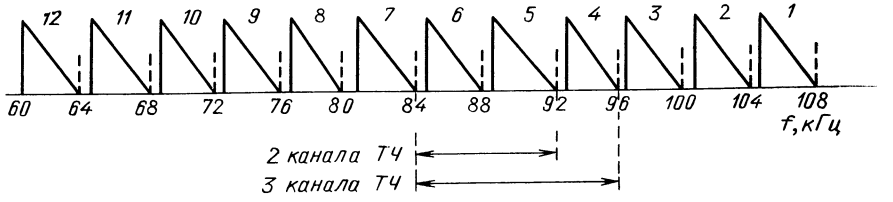


Рис. 5.20. Организация частотных каналов вещания в спектре первичной 12-канальной группы с частотным разделением каналов

5.9. ОРГАНИЗАЦИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

В цифровых системах передачи ЦСП используют импульсно-кодовую модуляцию ИКМ. Частота дискретизации телефонного сигнала с верхней граничной частотой 3,4 кГц принята равной 8 кГц. Применяется восьмиразрядный код с неравномерным квантованием. Скорость цифрового потока при этом составляет 64 кбит/с. Эта скорость в ЦСП является наименьшей, и канал, по которому ведется передача с такой скоростью, называют основным цифровым каналом (ОЦК). На его основе строят более скоростные каналы и тракты. На рис. 5.21 в виде примера показана временная структура цикла 30-канальной системы ИКМ. Каждому телефонному каналу 1—30 отведен определенный промежуток времени в цикле. Часть цикла занимают служебные каналы и каналы синхронизации. Наращивание объема передаваемой информации производится путем увеличения скорости передачи. Различают субпервичный цифровой канал — 480 кбит/с, первичный — 2048 кбит/с, вторичный — 8448 кбит/с, третичный — 34386 кбит/с и четверичный — 139464 кбит/с. При передаче по ЦСП сигналов цифрового вещания параметры аналого-цифрового преобразования выбирают так, чтобы результирующая скорость цифрового потока была кратна скорости одного из типовых каналов или трактов.

Цифровые сигналы передаются по кабельным, волоконно-оптическим, спутниковым линиям связи. В зависимости от среды распространения сигналам придают такой вид, при котором их параметры в наибольшей степени соответствуют свойствам, параметрам линии связи. Учитываются также помехи, характерные для данной линии.

Высокая достоверность передачи по ЦСП сделала актуальной передачу по ним сигналов звукового вещания, в том числе стереофонических. Мыслимы три сочетания трактов формирования программ и трактов первичного распределения в ЦС: 1) аналоговый ТФП соединяется с ЦСП через АЦП, 2) цифровой ТПФ соединяется с ЦСП через аналоговое устройство соединения (аналоговый интерфейс), 3) цифровой ТПФ соединяется с ЦСП через цифровой интерфейс, т. е. без перехода к аналоговой форме. В последнем случае необходимость в АЦП на входе ЦСП отпадает, однако возникает задача сопряжения параметров сигналов на выходе ТПФ и входе ЦСП. В оборудовании ТФП принята частота дискретизации 48 кГц, а при организации цифровых каналов звукового вещания высшего класса в ЦСП — 32 кГц. В зависимости от применяемого метода сжатия цифрового потока могут различаться и скорости цифрового потока на один монофонический канал. Если цифровой сигнал звукового вещания вводится в тракт первичной ЦСП совместно с другими сигналами, то скорость цифрового потока, предназначенного для звукового вещания, должна

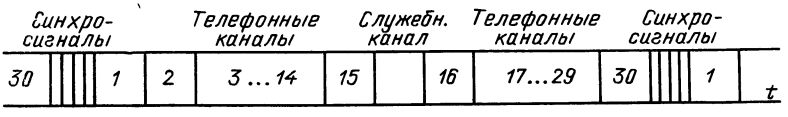


Рис. 5.21. Структура временно́го цикла при ИКМ

быть кратной скорости основного цифрового канала, т. е. кратной 64 кбит/с. В процессе передачи сигнала из одной ЦСП в другую с отличающимися от первой параметрами потребуется передача команд согласования скоростей. Из-за этого скорость передачи возрастает на несколько процентов. Некоторую часть цифрового потока займет передача символов защиты от ошибок, поэтому результирующая скорость цифрового потока еще более возрастет. Исследования показали, что организовать цифровой канал звукового вещания со скоростью 320 кбит/с можно только методом почти мгновенного компандирования с дифференциальной импульсной модуляцией ПМК-ДИКМ [11, 17]. Этот канал в структуре цикла передачи первичной ЦСП занимает место пяти основных цифровых каналов. При этом в потоке 2048 кбит/с можно передать три стереофонические программы звукового вещания. При использовании других методов аналого-цифрового преобразования можно организовать передачу сигналов звукового вещания лишь со скоростью 384 кбит/с и большей. В этом случае в первичной ЦСП удается организовать два стереофонических канала и один монофонический. Следует заметить, что кратность скоростей передачи сигналов звукового вещания и основного цифрового канала не обязательна, если совместная передача сигналов звукового вещания и другой информации не предусмотрена и вся первичная ЦСП предназначена для передачи сигналов звукового вещания.

Конкретным примером устройств для цифровой передачи стереофонических сигналов может служить аппаратура ИКМ В6/12. Она предназначена для образования шести каналов звукового вещания высшего класса при скорости цифрового потока 316 кбит/с. Кодирование производится методом ПМК-ДИКМ. Вместо шести монофонических можно организовать три стереофонических канала.

5.10. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ НАЗЕМНЫЕ И СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ

Тракты вторичного распределения программ ТВР, т. е. системы и сети звукового радиовещания, организуют с помощью наземных и спутниковых систем.

У нас для радиовещания в диапазоне с частотной модуляцией выделены участки диапазона метровых волн 4,5 ... 4,1 и 3 ... 2,9 м, чему соответствуют участки диапазона частот 65,8 ... 74,0 и 100 ... 108 МГц. Участок частот 100 ... 108 МГц будет занят системой стереофонического радиовещания с пилот-тоном.

Частотная модуляция позволяет значительно ослабить влияние помех и тем самым улучшить качество приема. При одинаковом отношении сигнал-помеха на входе приемника частотная модуляция обеспечивает улучшение этого отношения на выходе ЧМ-детектора в $\sqrt{3m_f}$ по сравнению с АМ, причем $m_f = \Delta f_0/F_в$ — индекс частотной модуляции, $F_в$ — верхняя (максимальная) частота модулирующего сигнала, Δf_0 — максимальная девиация несущей частоты ЧМ передатчика. Защищенность ЧМ приема от помех увеличивается с ростом индекса частотной модуляции, но одновременно увеличивается ширина полосы

частот $\Delta f_{\text{п}}$, занимаемой спектром ЧМ сигнала в радиоканале. При $m_f > 1$ ее можно оценить выражением

$$\Delta f_{\text{п}} = 2(\Delta f_0 + F_{\text{в}}).$$

Максимальная девиация частоты стандартизована и в СНГ при радиовещании в диапазоне МВ равна ±50 кГц. Высшая модулирующая частота составляет 15 кГц. Тогда защищенность приема от помех при ЧМ возрастает по сравнению с АМ в $\sqrt{3 \cdot 3{,}3} = 5{,}8$ раза или примерно на 15 дБ, а ширина полосы частот составляет $\Delta f_{\text{п}} = 2(50+15) = 130$ кГц, т. е. в 4,3 раза больше, чем при АМ.

При переходе к стереофоническому радиовещанию высшая модулирующая частота — 46,25 кГц, индекс модуляции уменьшается с 3,3 до 1,1, выигрыш по сравнению с АМ $\sqrt{3 \cdot 1{,}1} = 1{,}9$ раза или примерно 5,5 дБ, а ширина полосы частот увеличится до 190 кГц.

Радиус зоны обслуживания в диапазоне МВ, км,

$$r \approx 4{,}12\,(\sqrt{h_{\text{пер}}} + \sqrt{h_{\text{пр}}}),$$

где $h_{\text{пер}}$ и $h_{\text{пр}}$ — высоты подвеса передающей и приемной антенн, м, и лежит в пределах 50 ... 90 км. Например, при $h_{\text{пер}} = 300$ м и $h_{\text{пр}} = 25$ м $r = 4{,}12(\sqrt{300} + \sqrt{25}) \approx 90$ км.

Мощность передатчика определяется заданной напряженностью поля на границе зоны обслуживания. Следует иметь в виду, что увеличение мощности передатчика в диапазоне МВ приводит не к расширению зоны обслуживания, ограниченной примерно расстоянием прямой видимости, а лишь к увеличению помех другим станциям, работающим в совмещенном частотном канале.

При построении сети радиовещания в диапазоне МВ исходили из нужд монофонического вещания. При монофоническом приеме минимальная напряженность поля на границе зоны обслуживания (обычно в сельской местности) определяется, главным образом, внутренними шумами приемника и космическими шумами и составляет 200 мкВ/м. В городах из-за большого уровня промышленных помех и ослабления напряженности поля препятствиями (домами, проводами воздушных сетей) эта норма увеличена до 1 ... 5,5 мВ/м. Напряженность поля особенно ослаблена внутри зданий. Норма напряженности поля при стереофоническом приеме существенно увеличена ввиду возрастания влияния помех при расширении полосы пропускания радиоканала и уменьшения защищенности ЧМ приема из-за уменьшения индекса модуляции. Так, при приеме в сельской местности норма напряженности поля для стереофонического вещания составляет 500 мкВ/м против 200 мкВ/м для монофонического вещания.

Поскольку мощности передатчиков диапазона МВ выбирали, исходя из норм напряженности поля для монофонического приема, влияние помех при стереофоническом приеме заметно возрастает, что приводит к уменьшению радиуса зоны обслуживания в 2,3 раза и площади зоны обслуживания в 5,3 раза. На качестве стереофонического приема в городах существенно сказывается приход в точку приема волн, отраженных от различных препятствий. Взаимодействие волн, различающихся амплитудами и фазами, приводит к сильным нели-

нейным и частотным искажениям. Для уменьшения этих искажений необходимо применять наружные направленные антенны.

Анализ различных вариантов построения сетей радиовещания в диапазоне МВ показал, что в области частот 66...74 МГц можно передавать без взаимных помех программ ограниченное количество. Для полного покрытия территории одной программой необходимо примерно 30 рабочих частот. При передаче одной монофонической программы при разносе несущих частот 60 кГц требуемое защитное отношение составляет 20 дБ, при разносе 120 кГц — 10 кГц. При переходе к стереофонии первую величину следует увеличить более чем на 20 дБ, а вторую на 10 дБ. Увеличение защитного отношения показывает, что при передаче стереофонических программ радиус зоны обслуживания уменьшается.

Спутниковые системы вещания предназначены для передачи сигналов вещания от передающих земных станций Пер.ЗС через искусственные спутники земли ИСЗ на приемные станции Пр.ЗС (рис. 5.22). От приемных станций сигналы поступают на радиопередающие центры РПЦ и кабельные сети. Может вестись прием и на индивидуальные приемники.

Спутниковые сети радиовещания строят на основе спутников связи, находящихся на геостационарной и высокой эллиптической орбите. Спутник, находящийся на геостационарной орбите, обращается вокруг Земли с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли. В результате он наблюдается в одной точке небосвода. Геостационарная круговая орбита расположена в плоскости экватора. Ее радиус примерно 36 тыс. км. Находящийся на этой орбите спутник охватывает радиовещанием почти одну треть поверхности Земли. Однако приполярные области обслуживаются им плохо, поскольку видимое на небосводе положение спутника близко к горизонту. Спутники, находящиеся на высокой эллиптической орбите, имеют период обращения вокруг Земли 12 ч. Максимальное удаление от Земли составляет примерно 40 тыс. км, минимальное — 500 км. При наклонении плоскости орбиты к плоскости экватора 63,4°, характерном для наших спутников связи, спутник охватывает радиовещанием также около одной трети поверхности Земли, но вся она приходится на северное полушарие. Всю территорию СНГ обслуживает один спутник в течение 8 ч, поэтому для круглосуточного вещания на орбите достаточно иметь три спутника.

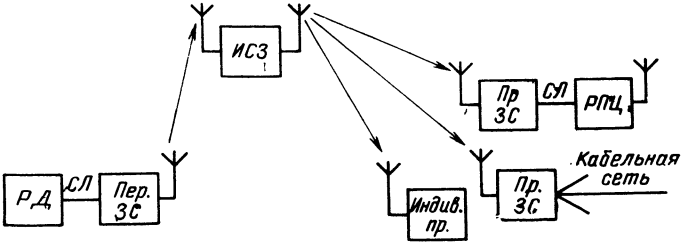


Рис. 5.22. Схема спутниковой системы вещания

Для спутникового вещания выделены диапазоны частот: 0,62 ... 0,79; 2,5 ... ... 2,69; 3,4 ... 4,2; 11,7 ... 12,2; 12,2 ... 12,5 ГГц. Для обеспечения электромагнитной совместимости спутниковых систем между собой и с радиорелейными системами связи международными соглашениями ограничена плотность потока мощности, создаваемая спутниками у поверхности Земли. Диапазон 0,62 ... 0,79 ГГц предназначен и для наземного телевизионного вещания, в связи с чем плотность потока мощности ограничена значением 129 дБВт/м^2.

В СНГ применяют несколько способов передачи сигналов звукового вещания через спутниковые системы: на поднесущих частотах в низкочастотном канале, частотным уплотнением высокочастотного ствола, цифровыми методами с временным разделением каналов ВРК.

При первом способе передачи поднесущие частоты располагают выше частоты 6 МГц, являющейся верхней границей спектра телевизионного сигнала. Спектры мощности сигналов телевизионного $S_{тв}$ и звукового вещания $S_{зв1}$ и $S_{зв2}$ на поднесущих $f_{п1}$ и $f_{п2}$ показаны на рис. 5.23. Здесь же штриховой линией изображен спектр мощности шумов на выходе частотного детектора, на вход которого воздействует флуктуационный шум с равномерным спектром. Видно, что спектр мощности шумов возрастает с увеличением частоты. Спектры сигналов звукового вещания находятся в области максимальных шумов. Если для передачи сигналов звукового вещания использовать однополосную модуляцию, как в системах с ЧРК, то для получения требуемого отношения сигнал/помеха потребуется большая мощность сигналов звукового вещания. При этом значительная часть девиации частоты телевизионного ствола будет затрачена на передачу сигнала звукового вещания и качество передачи телевидения ухудшится. Применение не однополосной, а частотной модуляции позволяет улучшить отношение сигнал/помеха при демодуляции. Сигналы звукового вещания модулируют по частоте поднесущую 6,5 ... 8,5 МГц в частотном модуляторе ЧМ1, затем в сумматоре складываются с телевизионным сигналом и подаются на вход частотного модулятора ЧМ2 (рис. 5.24).

Итак, сигнал звукового вещания подвергается двойной частотной модуляции. При этом ввиду расширения спектра сигнала звукового вещания на поднесущих частотах получается дополнительный выигрыш в помехоустойчивости. Поскольку спектр сигнала звукового вещания на несколько порядков уже спектра сигнала телевидения, расширение спектра на входе ЧМ2 существенной роли не играет, и отношение сигнал/помеха при передаче телевизионного сигнала практически не ухудшается. Для дополнительного улучшения отношения сиг-

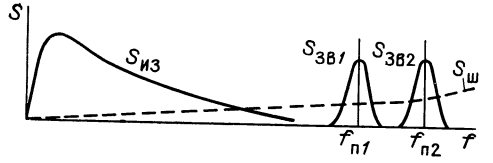


Рис. 5.23. Спектры мощности сигналов изображения и звука в стволе спутникового вещания

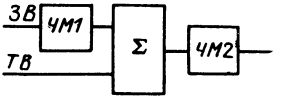


Рис. 5.24. Структурная схема формирования сигнала в стволе спутникового вещания

нал/помеха в образованных каналах звукового вещания применяют компандирование с помощью системы сжиматель-расширитель.

Сигналы звукового вещания передают на поднесущих частотах 7; 7,5 и 8,2 МГц в системах «Орбита-2» и «Москва». Девиация поднесущей ±150 кГц, девиация несущей сигналом поднесущей ±0,6 ... ±1,5 МГц, что составляет 5 ... 10% девиации, создаваемой телевизионным сигналом. В канале звукового сопровождения телевидения системы «Экран» также использован метод передачи на поднесущей, но частота поднесущей равна 6,5 МГц, а девиация частоты ±50 кГц, что совпадает с параметрами канала звукового сопровождения при наземном вещании и упрощает формирование стандартного телевизионного сигнала в приемной станции этой системы. Но при выбранных параметрах первого частотного модулятора приходится увеличивать девиацию частоты несущей до ±2,5 МГц, что ухудшает отношение сигнал/помеха в канале изображения.

Недостатком передачи сигналов звукового вещания на поднесущих является возможность возникновения нелинейных переходов сигнала изображения в каналы звукового вещания. Для уменьшения этой опасности необходимо предъявлять очень жесткие требования к линейности общего канала.

При частотном уплотнении высокочастотного ствола сигналы звукового вещания передаются методом ЧМ на нескольких несущих. Достоинством этого способа является возможность обмена программами между несколькими наземными станциями, поскольку через один ствол можно вести передачу в различных направлениях. Из-за присущих способу нелинейных переходов в стволе спутниковой связи удается организовать не более 8—10 каналов звукового вещания первого класса качества в полосе частот ствола 35 МГц. Очевидно, полоса частот используется недостаточно эффективно. Сигнал звукового вещания в системе преобразуется вначале в цифровую форму, а несущие манипулируются по фазе. Скорость передачи в аппаратуре «Градиент-В» в канале высшего класса — 480 кбит/с. Структурная схема каналообразующей аппаратуры показана на рис. 5.25. В передающую часть входит ФНЧ, сжиматель Сж, АЦП, устройство помехоустойчивого кодирования УПК и модулятор М. Частота дискретизации 32 кГц, число разрядов в кодовой группе 10, скорость цифрового потока на выходе АЦП $C = nf_д = 10 \cdot 32 = 320$ кбит/с. Кодовые комбинации, поступающие из АЦП, преобразуются в УПК в помехоустойчивый код путем добав-

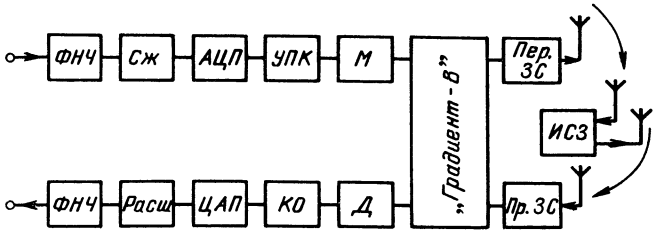


Рис. 5.25. Структурная схема канала звукового вещания в аппаратуре «Градиент-В»

ления проверочных импульсов, в результате чего скорость увеличивается до 480 кбит/с. В модуляторе М несущая манипулируется по фазе по закону цифрового сигнала. После различных преобразований сигналы через передатчик земной станции. Пер.ЗС поступают на бортовую аппаратуру спутника, излучаются и через приемную станцию Пр.ЗС проходят демодулятор Д, корректор ошибок КО, ЦАП, расширитель Расш и ФНЧ.

Значительные преимущества при передаче сигналов звукового вещания дает способ цифровой передачи с временным разделением каналов ВРК. Помехи нелинейного вида здесь не возникают, поэтому высокочастотный ствол можно использовать эффективнее, чем при ЧРК. Возможно организовать 80—90 каналов звукового вещания вместо 8—10 при ЧРК. Способ ВРК применен в аппаратуре «Орбита-РВ», предназначенной для передачи большого числа программ в разные районы страны с помощью геостационарных спутников «Горизонт» и «Радуга». Система «Орбита-РВ» занимает лишь половину емкости ствола. Вторая половина используется для телефонной связи. Для каналов высшего класса качества принята частота дискретизации 32 кГц, для каналов первого класса $f_д$=21 1/3 кГц, для каналов второго класса $f_д$=14 2/9 кГц. В каналах высшего класса применено 10-разрядное кодирование с мгновенным компандированием, в каналах первого и второго класса — 9-разрядное. Скорость цифрового потока при организации каналов высшего класса — 320 кбит/с, первого класса — 192 кбит/с, второго — 128 кбит/с. В цифровом потоке 2048 кбит/с системы «Орбита-РВ» образуются либо шесть каналов высшего класса, либо 10 — первого класса, либо 15 каналов второго класса. Всего для сигналов звукового вещания выделяются два потока по 2048 кбит/с.

Дальнейшее совершенствование систем спутникового вещания позволит вести прием непосредственно на коллективные и даже индивидуальные приемные устройства.

6. Стереофонические радиоприемники

6.1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОПРИЕМНИКА

Для приема стереофонических сигналов предназначены разнообразные устройства: радиоприемники, радиолы, тюнеры. *Радиолой* называют сочетание радиоприемного и электропроигрывающего устройства. *Тюнером* называют радиоприемное устройство без оконечных усилителей звуковых частот и акустических систем. Тюнеры подключают к электрофонам и магнитофонам, снабженным названными выше блоками.

Типовая структурная схема стереофонического радиоприемника приведена на рис. 6.1. Как и в обычном монофоническом радиоприемнике, входной сигнал, принятый антенной, поступает сначала на блок УКВ (преселектор, усилитель высокой частоты УВЧ,

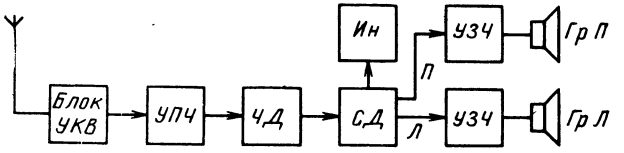


Рис. 6.1. Типовая структурная схема стереофонического радиоприемника

преобразователь частоты), а затем на усилитель промежуточной частоты УПЧ и частотный детектор ЧД. Схема стереофонического радиоприемника отличается от монофонического тем, что после частотного детектора ЧД вводится стереодекодер СД, выделяющий из комплексного стереофонического сигнала КСС сигналы левого и правого стереоканалов. Эти сигналы поступают на двухканальный стереофонический усилитель звуковой частоты УЗЧ и на два громкоговорителя Гр.Л и Гр.П, а точнее — на две акустические системы. Стереоприемник имеет сдвоенные регуляторы громкости и тембров, а также регулятор стереобаланса.

В стереофонический радиоприемник обычно вводят индикатор наличия стереофонической передачи Ин. Радиослушатель определяет по индикатору, какая на данной частоте идет передача — монофоническая или стереофоническая. В том случае, когда по программе объявлена стереофоническая передача, в ней может быть до 30% монофонических фрагментов. Если радиослушатель, принимающий в диапазоне МВ объявленную стереофоническую программу, обнаруживает на слух, что программа звучит как монофоническая, он по индикатору может определить, из-за чего это происходит: неисправен приемник или действительно передается монофонический фрагмент.

Стереофонический радиоприемник работает в иных условиях, чем монофонический. Прежде всего, при стереоприеме значительно увеличивается уровень шумов и помех, так как полоса пропускания у него более широкая, чем у монофонического приемника. В радиоприемнике предусматриваются меры для повышения помехозащищенности.

Шумы в приемнике представляют собой сумму атмосферных, промышленных, космических шумов, шумов антенны и внутренних шумов самого приемника. Составляющая шума на выходе частотного детектора тем больше, чем дальше она отстоит по частоте от несущей.

Большое значение при стереоприеме имеет выбор приемной антенны. Применение многоэлементной направленной антенны существенно увеличивает принимаемый полезный сигнал и, следовательно, улучшает отношение сигнал-помеха. Уменьшению шумов способствует подавление паразитной АМ в тракте приемника.

В монофонических радиоприемниках подавление АМ проверяется только на одной частоте модуляции 1 кГц. В стереофонических радиоприемниках подавление АМ должно осуществляться и проверяться во всем диапазоне модулирующих частот КСС до 46,25 кГц.

Стереофонический радиоприемник должен принимать и детектировать без искажений ЧМ-колебания в широкой полосе частот, более чем втрое шире полосы модулирующих частот монофонического сигнала. Это предъявляет особые требования к характеристикам усилителя промежуточной частоты и частотного детектора радиоприемника.

Для уменьшения шумов при приеме стереофонических программ во многих странах применяется система шумоподавления «Долби-Б». Принцип действия этой системы заключается в том, что в тракте радиопередатчика включается сжиматель (компрессор), который поднимает уровни слабых сигналов и, таким образом, «отрывает» их от уровня шумов радиоканала, а в тракте радиоприемника включается расширитель (экспандер), восстанавливающий исходный сигнал.

6.2. ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ТРАКТ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО РАДИОПРИЕМНИКА

Радиотракт приемника, предназначенного для приема радиостанций диапазона МВ ЧМ, рассчитан на работу в диапазоне частот 66 ... 74 МГц. Более широкая полоса пропускания радиотракта достигается уменьшением добротности контуров. При двух настраиваемых контурах в этом тракте с добротностью $Q=50$ полоса пропускания УВЧ составляет 1,4 МГц, поэтому амплитудно- и фазо-частотные характеристики радиоприемника определяются в основном избирательными элементами тракта промежуточной частоты.

На выходе блока УКВ имеется один или два контура ПЧ со средней частотой $f_{пч}=10{,}7$ МГц. Два контура с критической связью $Q=50$ обеспечивают полосу пропускания 300 кГц.

Ограничение полосы пропускания радиотракта приемника ЧМ сигналов ведет к появлению паразитной амплитудной модуляции, спаду АЧХ на верхних модулирующих частотах и появлению нелинейных искажений. Паразитная амплитудная модуляция подавляется ограничителем, не показанным на рис. 6.1. Неравномерность АЧХ можно уменьшить корректирующими цепями, которые включаются после частотного детектора.

Рассмотрим три экстремальных варианта стереосигнала.

Вариант 1. Сигнал М максимален, сигнал S отсутствует. При этом имеется большая вероятность попадания гармоник сигнала М в область надтональных частот, т. е. в область S. После детек-

тирования в стереодекодере эти частоты создают призвуки, которые ощущаются в выходном сигнале. Например, при передаче частоты 10 кГц ее третья гармоника создает после декодирования стереосигнала составляющую звуковой частоты $31{,}25-3\cdot10=1{,}25$ кГц.

Вариант 2. Сигнал S максимален, сигнал M отсутствует. В этом случае образуются комбинационные частоты ввиду взаимодействия верхней и нижней боковых полос модуляции. Например, при модуляции частотой 10 кГц появляются боковые составляющие $31{,}25+10=41{,}25$ кГц и $31{,}25-10=21{,}25$ кГц, которые при нелинейности третьего порядка создают составляющую звуковой частоты $21{,}25\cdot2-41{,}25=1{,}25$ кГц.

Вариант 3. Сигнал имеется только в одном канале. При этом комбинационные частоты образуются также ввиду взаимодействия между гармониками звуковой частоты канала M и боковыми полосами модуляции в канале S. Например, при модуляции той же частотой 10 кГц образуется составляющая звуковой частоты $21{,}25-10\cdot2=1{,}25$ кГц.

Следует учитывать, что преобладают искажения третьего и других нечетных порядков, так как при симметричной резонансной кривой радиоприемника искажения четных порядков теоретически отсутствуют.

Чтобы нелинейные искажения были минимальными, радиотракт приемника должен иметь по возможности линейную горизонтальную амплитудно-частотную характеристику $K=F_1(\omega)$ и линейную наклонную фазо-частотную характеристику $\varphi=F_2(\omega)$, как это показано на рис. 6.2.

В теории частотной модуляции показано, что основным источником нелинейных искажений является нелинейность ФЧХ радиотракта, свойственная системам с ограниченной полосой пропускания. При монофоническом приеме верхняя частота модуляции составляет 15 кГц. Установлено, что с учетом различных факторов, возможных нестабильностей в радиотракте радиоприемника (уход частоты гетеродина, неточная настройка контуров и др.), для высококачественного моноприема следует иметь полосу пропускания тракта в пределах 120 ... 180 кГц.

При стереофоническом приеме верхняя модулирующая частота значительно выше — 46,25 кГц. Кроме того, модулирующий сигнал при стереофонии является более сложным, содержащим несколько частотных составляющих даже в самых простых случаях. Аналитические расчеты нелинейных искажений при стереофо-

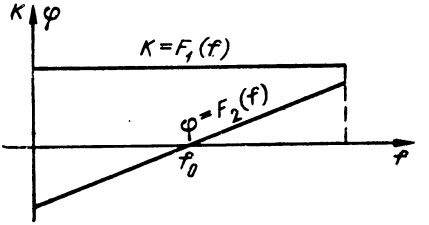


Рис. 6.2. Идеализированные характеристики ВЧ тракта

ническом приеме весьма сложны, поэтому вопрос о ширине полосы пропускания тракта промежуточной частоты решается экспериментально. Обследование большого числа серийно выпускаемых приемников показало, что переход к стереофонии требует расширения полосы тракта промежуточной частоты не менее чем на 20%, до значений 150 ... 210 кГц. Более широкую полосу частот следует обеспечивать в радиоприемниках более высокого класса.

В первых образцах стереофонических радиоприемников тракт промежуточной частоты строился по схеме «с распределенной селекцией», при которой селективные (контурные) элементы чередуются с усилительными (рис. 6.3,*а*). Селективными элементами СЭ при этом служат связанные контуры с коэффициентом связи примерно 0,8, при котором получаются малые нелинейные искажения. Такие тракты легко настраивать, так как каждый селективный элемент настраивается самостоятельно. Однако в транзисторных радиоприемниках схема с разделенной селекцией обладает серьезными недостатками. Во-первых, форма резонансной кривой радиоприемника зависит от уровня входного сигнала. При изменении уровня меняются входные и выходные параметры транзисторов, изменяются паразитные обратные связи в УПЧ. Из-за этого изменяются степень связи между контурами и частота настройки. В результате возникают большие нелинейные искажения, может даже нарушиться устойчивость работы тракта.

В новых радиоприемниках схема с распределенной селекцией не применяется. Вместо нее получила распространение схема с сосредоточенной селекцией (рис. 6.3,*б*). На входе тракта промежуточной частоты, обычно после согласующего каскада, расположен фильтр сосредоточенной селекции ФСС, состоящий из ряда настроенных контуров и обеспечивающий необходимые селективные свойства тракта. За ФСС следует импульсный (безынерционный) ограничитель Огр и частотный детектор ЧД. Фильтр сосредоточенной селекции настраивается так, чтобы он имел оптимальную форму АЧХ и ФЧХ для неискаженного прохождения стереофонического сигнала. При этом обеспечивается достаточная защита тракта от соседних радиостанций.

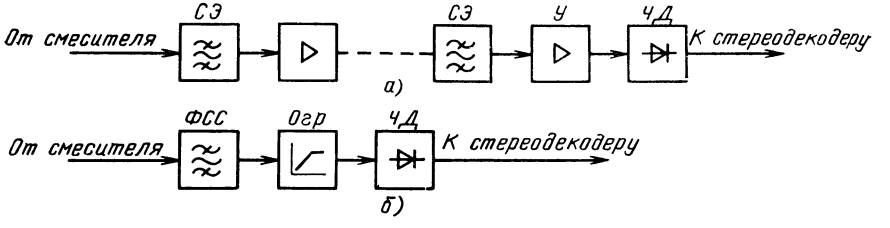


Рис. 6.3. Структурные схемы тракта промежуточной частоты с распределенной (*а*) и сосредоточенной (*б*) селекциями

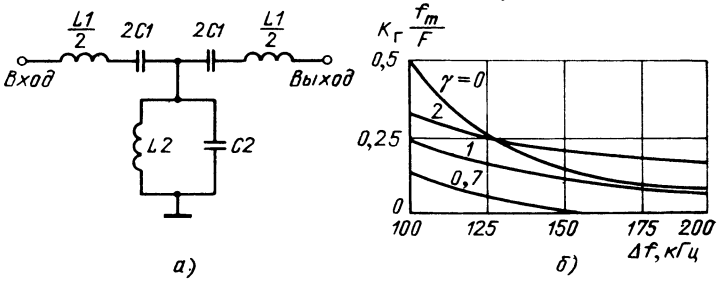


Рис. 6.4. Звено фильтра сосредоточенной селекции типа k (*а*) и график его коэффициента гармоник (*б*)

В качестве фильтра сосредоточенной селекции применяют полосовой фильтр, состоящий из n звеньев. Одно из звеньев фильтра показано на рис. 6.4,*а*. Коэффициент гармоник модулирующего напряжения

$$K_г \approx \frac{2nF}{3f_в}\left[\frac{\beta}{2}\,\frac{1-\frac{1}{x^2}-\beta^2+z}{z-\left(\frac{1}{x^2}+\beta^2\right)z-\left(\frac{1}{x^2}-\beta^2\right)-\left(\frac{1}{x^2}+\beta^2\right)^2}-1\right];$$

где $z=\sqrt{1+2\left(\frac{1}{x^2}-\beta^2\right)+(x^2+\beta^2)^2}$; $\beta=\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{f_m}{\Delta f}$; $x=\frac{\Delta f}{f_0}$ — обобщенная расстройка; Q — добротность катушек фильтра; n — число звеньев фильтра; F — модулирующая частота; f_m — девиация частоты; $\Delta f=2F_в$ — ширина полосы частот, f_0 — резонансная частота контура; $F_в$ — верхняя модулирующая частота.

Результаты подсчета коэффициента гармоник для одного звена фильтра показаны на рис. 6.4,*б*. При этом за параметр γ принята величина, пропорциональная потерям в фильтре:

$$\gamma=\frac{1}{\sqrt{3}}\,\frac{f_0}{Qf_m}.$$

Из графиков видно, что оптимальная характеристика получается при $\gamma=0{,}7$. Но такое значение γ можно получить только при большой добротности контуров Q. Например, при $f_0=10{,}7$ МГц и $f_m=50$ кГц получаем, что добротность $Q=176$, что не реализуемо. Для решения проблемы необходимо вместо звеньев k применять фильтры, состоящие из звеньев типа m. В этом случае коэффициент гармоник

$$K_г \approx \frac{2}{3}\,nm\,\frac{F}{f_m}\left\{\frac{8}{[4-3(1-m^2)\delta^2\sqrt{4-3\delta^2}}-1\right\},$$

где $\delta=2f_m/\Delta f$; m — параметр фильтра. Результаты расчета по этой

формуле приведены на рис. 6.5. Из графиков видно, что оптимальным является значение $m=1{,}3$.

Одним из возможных вариантов фильтра сосредоточенной селекции на входе тракта промежуточной частоты является сочетание нескольких слабо связанных одиночных контуров (рис. 6.6). Резонансная кривая такого фильтра по мере увеличения числа контуров стремится к колоколообразной форме (кривой Гаусса). Уравнение резонансной кривой этого фильтра следующее:

$$\gamma = e^{-(f/0{,}6\Delta f)^2}$$

Фазо-частотная характеристика такого фильтра близка к оптимальной прямолинейной. Однако амплитудно-частотная характеристика имеет в полосе пропускания большую неравномерность, что приводит к значительной паразитной амплитудной модуляции.

Коэффициент передачи при такой слабой связи между контурами мал, поэтому от тракта промежуточной частоты требуется большой коэффициент усиления и хорошая защищенность от паразитных связей и наводок.

В результате анализа необходимой полосы пропускания радиоприемников при стереоприеме, с учетом нестабильности гетеродина, было принято решение расширить ее по сравнению с монофоническим приемом со 120 до 140 кГц. При этом максимальная ширина полосы пропускания была увеличена всего на 10 кГц и принята равной 190 кГц вместо 180 кГц.

Подавление паразитной амплитудной модуляции при стереофоническом радиоприеме должно обеспечиваться во всем диапазоне модулирующих частот, т. е. в диапазоне комплексного стереофонического сигнала 30 ... 46 250 Гц. Величина подавления амплитудной модуляции должна быть такой, чтобы можно было получить небольшие шумы и нелинейные искажения.

Частотный детектор — один из источников амплитудно-частотных искажений комплексного стереосигнала. Обычно источником

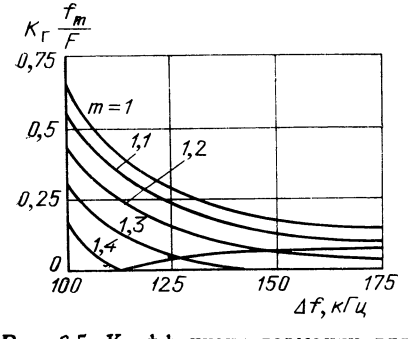


Рис. 6.5. Коэффициент гармоник для фильтра типа m

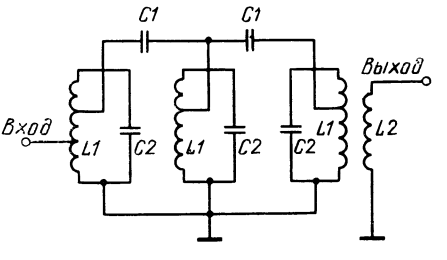


Рис. 6.6. Схема фильтра из нескольких слабо связанных контуров

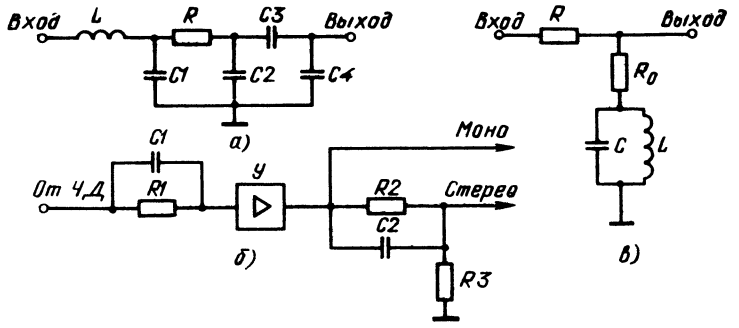


Рис. 6.7. Схема выходной части детектора (*а*), частотного корректора (*б*) и восстановления поднесущей частоты (*в*)

таких искажений являются конденсаторы, установленные на выходе детектора (рис. 6.7,*а*). Конденсатор С1 предназначен для шунтирования токов промежуточной частоты. В стереофонических радиоприемниках его емкость может быть уменьшена до пределов, обеспечивающих устойчивость работы высокочастотного тракта, обычно примерно до 30 пФ. Распределенная емкость С2 определяется емкостью монтажа. Она может достигать заметной величины, если стереодекодер удален от частотного детектора. Постоянная времени *RC* паразитных интегрирующих цепей, образующихся на выходе частотного детектора, не должна превышать 0,1 мкс. Следовательно, при выходном сопротивлении детектора 10 кОм выходная емкость не должна превышать 10 пФ.

Однако на практике не удается избежать некоторого спада амплитудно-частотной характеристики на верхних модулирующих частотах, поэтому после частотного детектора вводят частотную коррекцию. Один из вариантов, с двухзвенной частотной коррекцией, приведен на рис. 6.7,*б*. Первое звено коррекции расположено перед каскадом усиления звуковой частоты, который обеспечивает получение стандартного сигнала на входе тракта звуковой частоты радиоприемника при монофоническом приеме: 250 мВ на резисторе 500 кОм. Второе звено коррекции включено на входе стереодекодера.

6.3. СТЕРЕОДЕКОДЕРЫ

Стереодекодер предназначен для выделения из комплексного сигнала информации левого Л и правого П стереоканалов. Известны три вида декодеров полярно-модулированных колебаний: суммарно-разностные, с полярным детектором и с переключением (или с перемножением) сигналов.

Основными элементами стереодекодера являются: цепь восстановления поднесущей, которая преобразует КСС в ПМК, и

устройство детектирования ПМК. Цепь восстановления поднесущей частоты приведена на рис. 6.7,*в*. Естественно, что АЧХ коэффициента передачи этой цепи должна быть обратной АЧХ цепи подавления поднесущей

$$\gamma = k\,\frac{\varepsilon + jx}{1 + jx},$$

где $\varepsilon = 5$ — степень восстановления поднесущей; x — обобщенная расстройка, k — коэффициент, не зависящий от частоты.

Ясно, что это выполняется при условии $R \gg R_0$ (рис. 6.7,*в*).

Для неискаженного воспроизведения стереофонической передачи должны выполняться следующие два условия: одинаковая добротность контуров на передающей и приемной сторонах и одно и то же отношение резонансного сопротивления контура к включенному последовательно с ним активному сопротивлению.

Обычно выбирают соотношение $R/R_0 \approx 2 \cdot 10^{a_{\text{пн}}/20}$, где $a_{\text{пн}}$ — переходное затухание, которое необходимо получить на нижних модулирующих частотах. Например, если на частоте 30 Гц требуется получить переходное затухание 20 дБ, то следует выбрать $R = 20\,R_0$.

Отклонение добротности контура от величины $Q = 100$ зависит от нормируемого переходного затухания на нижней частоте и определяется по формуле

$$Q = 100 \pm 250\ \%/10^{a_{\text{пн}}/20}.$$

Таким образом, если $a_{\text{пн}} = 20$ дБ, то отклонение добротности от 100 составит $\Delta Q = \pm 250/10 = \pm 25\ \%$.

Точность восстановления ПМК зависит от настройки контура LC. Расстройка контура приводит не только к снижению переходного затухания между стереоканалами Л и П, но и к увеличению нелинейных искажений.

Известно, что для получения переходного затухания 20 дБ и коэффициента гармоник $K_{\text{г}} = 1\ \%$ необходимо, чтобы расстройка восстанавливающего контура не превышала $\pm 0{,}25\ \%$. Для высококачественного стереоприема необходимо, чтобы нестабильность частоты настройки контура не превышала $\pm 0{,}1\ \%$.

В первых стереоприемниках применялись только декодеры с полярным детектором. Они отличались простотой, но не обеспечивали высоких качественных показателей. Суммарно-разностные декодеры могут обеспечить высокие качественные показатели, но при условии высокой стабильности параметров элементов схемы. В последнее время чаще всего применяются стереодекодеры с переключением. Этот тип декодеров обеспечивает высококачественное и стабильное детектирование. Но и первые два типа стереодекодеров не потеряли своей актуальности, поэтому кратко рассмотрим особенности работы каждого из них.

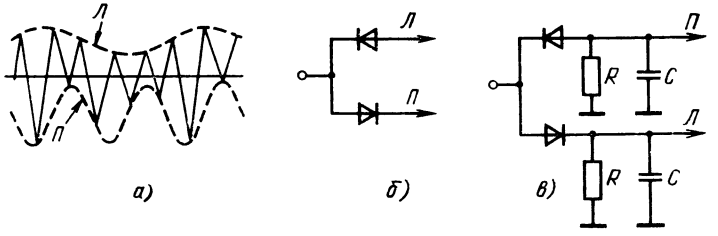


Рис. 6.8. Полярно-модулированное колебание (*а*) и схемы, иллюстрирующие принцип его детектирования (*б*, *в*)

1. Декодеры с полярным детектором. Для детектирования полярно-модулированных колебаний (рис. 6.8,*а*) может применяться схема, состоящая из двух детекторов различной полярности. Принцип разделения двух АМ сигналов ясен из рис. 6.8,*б*, а на рис. 6.8,*в* полярный детектор изображен вместе с интегрирующими RC-цепями. Верхняя часть схемы выделяет огибающую положительных полупериодов (сигналы канала Л), а нижняя часть схемы — отрицательных полупериодов (сигналы канала П). Если бы можно было выделить огибающую в неискаженном виде, то детектор был бы идеальным. Однако для достижения этого нужно иметь постоянную времени $\tau = RC$, близкую к бесконечности. Но при такой большой постоянной времени конденсатор не успевает разряжаться от периода к периоду поднесущей и напряжение на выходе не успевает изменяться в соответствии с изменением огибающей. В результате появляются большие нелинейные искажения детектированного колебания. Практика показывает, что постоянная времени не должна превышать $RC \leqslant 1{,}5/\Omega_в$, где $\Omega_в = 2\pi F_в$ — максимальная звуковая частота модуляции. Для $F_в = 15$ кГц максимальная постоянная времени $RC = 16$ мкс. В этом случае переходное затухание между стереоканалами 27 дБ, а коэффициент гармоник 0,8 %. С учетом нелинейных характеристик диодов реальный коэффициент гармоник составляет 1 ... 1,5 %.

Путем незначительного усложнения полярного детектора можно увеличить переходные затухания между стереоканалами. Например, для увеличения переходного затухания можно перейти от «чистого» полярно-модулированного колебания к колебанию с несколько увеличенной надтональной частью в виде:

$$u = (\text{Л} + \text{П}) + b\,(\text{Л} - \text{П}) \sin \omega_п t = M + b\,S \sin \omega_п t,$$

где $b \geqslant 1$ — коэффициент. Оптимальное значение коэффициента b в зависимости от инерционности детектора $\Omega_в RC$ показано на рис. 6.9,*а*.

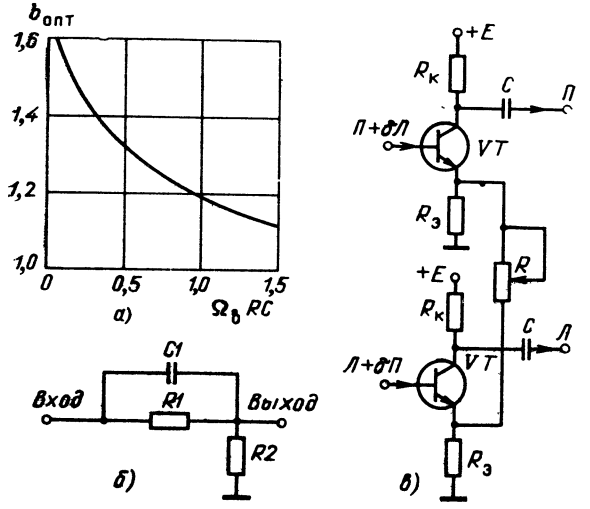


Рис. 6.9. Зависимость коэффициента b от инерционности детектора (*а*), корректирующая RC-цепь (*б*) и схема компенсации переходных искажений (*в*)

Для увеличения надтональной части МПК в тракт вводится корректирующая RC-цепь, схема которой приведена на рис. 6.9,*б*. Для этой схемы коэффициент

$$b = \sqrt{\frac{1+(\omega_п \tau)^2}{1+k^2(\omega_п \tau)^2}},$$

где $\tau = R1C1$; $k = R2/(R1+R2)$.

Переходное затухание может быть увеличено также введением перекрестных связей между каналами, когда в канал Л вводится часть сигнала из канала П, а в канал П — часть сигнала из канала Л. В полярном детекторе проникновение сигналов из канала в канал происходит в той же фазе, поэтому для компенсации сигналы нужно вводить в противофазе. На рис. 6.9,*в* показана одна из возможных схем компенсации переходных помех. В этой схеме при условии $R \gg R_0$ часть напряжения δ, переходящая из одного канала в другой, определяется соотношением $\delta \approx R_э/R$.

2. Суммарно-разностные декодеры. Принцип построения таких декодеров поясняется рис. 6.10,*а*. Сначала спектр ПМК разделяется фильтрами на тональную часть, несущую информацию сигналов Л+П, и надтональную часть, представляющую собой поднесущую, модулированную по амплитуде сигналом Л—П. В результате детектирования сигнала (Л—П) $\sin \omega_п t$ выделяется разностный сигнал Л—П. Затем с помощью суммарно-разностного преобразователя СРП выделяются сигналы каналов Л и П:

$$(Л+П)+(Л—П)=2Л;\ (Л+П)—(Л—П)=2П.$$

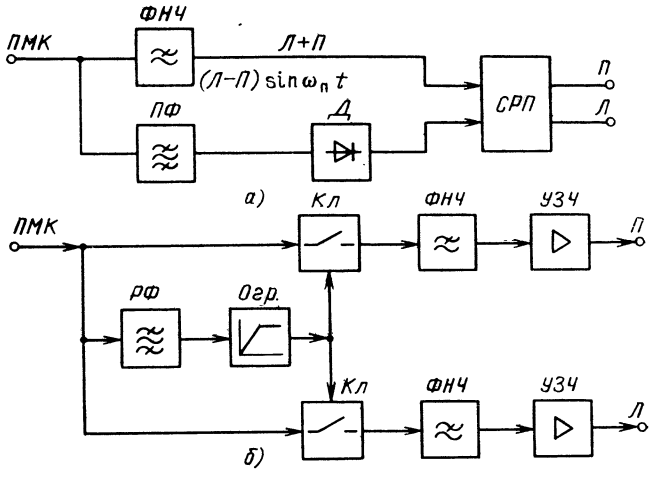


Рис. 6.10. Схема декодеров:
суммарно-разностного (*а*) и с переключением (*б*)

Фильтр нижних частот ФНЧ выделения сигнала Л+П представляет собой *RC*-цепь компенсации предыскажений с постоянной времени $\tau=50$ мкс. Полосовой фильтр ПФ выделения надтональной части ПМК представляет собой колебательный контур с добротностью $Q=4{,}9$. Резонансная кривая при этой добротности также соответствует кривой компенсации предыскажений $\tau=50$ мкс. Таким образом, на входе суммарно-разностного преобразователя частотные характеристики трактов передачи сигналов Л+П и Л—П совпадают.

3. Декодеры с переключением. Принцип действия такого декодера основан на том, что цепь полярно-модулированного колебания периодически, с частотой поднесущей, переключается с одного канала на другой. Фактически реализуется перемножение двух напряжений: полярно-модулированного сигнала и прямоугольных импульсов единичной амплитуды, следующих с частотой повторения поднесущей $\omega_п$ и имеющих длительность τ. В результате получаются сигналы:

$$u_{вых\ Л}=U x_1;\ u_{вых\ П}=U x_2;$$

где $U=(Л+П)+(k+Л—П)\cos\omega t$; x_1 и x_2 — спектральные функции последовательностей импульсов, сдвинутых по фазе на полпериода.

Если время включения τ мало́, т. е. $\tau \ll T$, то сигналы стереоканалов полностью разделяются:

$$u_{вых\ Л}=\frac{2\tau}{T}\,Л;\ u_{вых\ П}=\frac{2\tau}{T}\,П.$$

Поскольку выходное напряжение пропорционально отношению τ/T, а $\tau/T \ll 1$, выходное напряжение может получиться очень маленьким. Чтобы не допустить этого, для переключения используют широкие импульсы в пределе равные $\tau = T/2$. В этом случае выходные сигналы будут равны:

$$u_{\text{вых Л}} = \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\right) \text{Л} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\right) \text{П};$$

$$u_{\text{вых П}} = \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi}\right) \text{Л} + \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi}\right) \text{П}.$$

Переходное затухание между стереоканалами при этом составляет всего лишь 13 дБ. Для увеличения переходного затухания осуществляют компенсацию переходных помех методом подмешивания сигналов (в противофазе) из одного канала в другой.

Упрощенная структурная схема декодера с переключением показана на рис. 6.10,*б*. Полярно-модулированные колебания поступают на два ключа Кл (левого и правого каналов) и на резонансный фильтр РФ. Резонансный фильтр выделяет поднесущую $\omega_{\text{п}}$. Ограничитель Огр служит для устранения остаточной амплитудной модуляции и формирования прямоугольных импульсов. Эти прямоугольные импульсы подаются на управляющие входы ключей. Фильтры нижних частот ФНЧ ослабляют надтональные составляющие сигналов. Выходные усилители УЗЧ осуществляют усиление напряжения сигналов до необходимого значения. Кроме того, в них компенсируются переходные помехи между каналами.

Фаза выделенной поднесущей должна с достаточной точностью соответствовать фазе поднесущей в полярно-модулированном колебании. Расхождение по фазе на 11° приводит к снижению переходных затуханий до 40 дБ, расхождение на 20° — до 30 дБ, при разбалансе фаз на 90° переходные затухания между стереоканалами равны нулю, при разбалансе фаз более чем на 90° сигналы в каналах Л и П меняются местами.

Принципиальная схема унифицированного декодера СД-А5, выполненного в виде отдельного функционального узла, приведена на рис. 6.11.

Входной комплексный стереофонический сигнал КСС поступает на базу транзистора Т1, в цепи коллектора которого включен контур восстановления поднесущей L1C3. Для увеличения добротности контура до значения $Q = 100$ применена схема с положительной обратной связью на транзисторе Т2. Сигнал восстановленного полярно-модулированного колебания через эмиттерный повторитель на транзисторе Т3 и резистор R12 поступает на переключатели, собранные на полевых транзисторах Т5 и Т6.

Переключающие импульсы формируются из надтональной части КСС, представляющей собой колебание с коэффициентом модуляции не более 80 %. Эти колебания через конденсатор С17

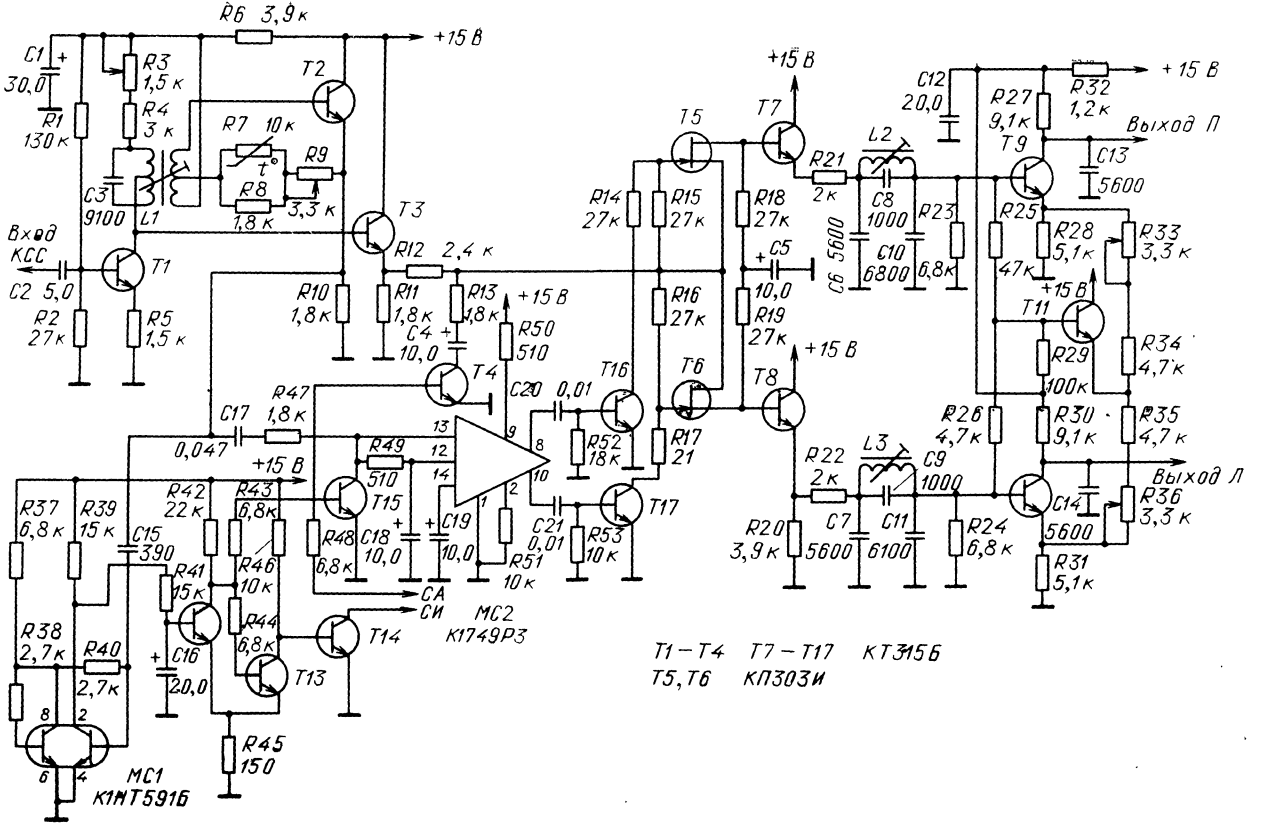


Рис. 6.11. Схема декодера СД-А5

и резистор R47 поступают на микросхему МС2 типа К174УР3, выполняющую роль ограничителя. Затем переключающие импульсы дополнительно усиливаются каскадами на транзисторах Т16 и Т17 и в противоположных фазах подаются на затворы полевых транзисторов Т5 и Т6.

Далее сигналы Л и П проходят через фильтры и подаются на выходные усилители на транзисторах Т9 и Т10. С коллекторов этих транзисторов сигналы Л и П поступают на выход декодера. Сумма сигналов Л+П поступает на базу транзистора Т11. Часть этого сигнала через резисторы R33+R34 и R35+R36 поступает на эмиттеры транзисторов Т9 и Т10 и увеличивает переходное затухание. Компенсация предыскажений осуществляется с помощью конденсаторов С13 и С14.

В тракт управления входят транзисторы Т12—Т15 и микросхема МС1. С эмиттера транзистора Т2 на правый по схеме транзистор микросхемы МС1 поступает надтональная часть КСС. Она детектируется, усиливается и поступает на вход индикатора стереосигнала. Кроме того, выпрямленный сигнал поступает на базу транзистора Т15 в отрицательной полярности и запирает его.

Если принимаемый сигнал является монофоническим, то надтональная часть спектра отсутствует, транзистор Т15 открыт, его выходное сопротивление получается небольшим, что приводит к шунтированию переключающих импульсов, а это, в свою очередь, автоматически переводит схему в режим моноприема.

Стереодекодер СД-А5 имеет следующие основные параметры:

Неравномерность АЧХ, дБ, в диапазоне частот 31,5 ... 15 000 Гц	±1
Коэффициент гармоник, %	0,3
Уровень собственных шумов, дБ	—74
Номинальное входное напряжение, мВ	100 ... 500
Подавление надтональных частот, дБ	56
Входное сопротивление, кОм	25
Переходные затухания между стереоканалами, дБ, на частоте, кГц:	
1	40
0,3 и 5	35
10	30
Напряжение питания, В:	15
Потребляемый ток, мА	35

6.4. УСИЛИТЕЛИ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Для воспроизведения стереофонических передач можно использовать два обычных усилителя звуковых частот. Но это решение имеет много недостатков. Принято использовать специальный стереофонический усилитель, содержащий два одинаковых тракта и сдвоенные регуляторы громкости РГ и тембра РТ1 и РТ2 (рис. 6.12). На входы усилителя звуковых частот сигналы поступают с выходов стереодекодера. Так как разбаланс по чув-

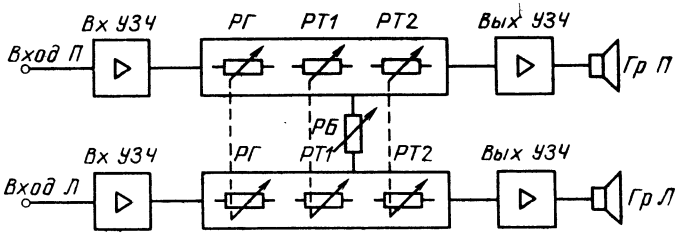


Рис. 6.12. Схема усилителя звуковых частот

ствительности пары регуляторов невозможно получить менее 3 дБ, то во всех стереофонических радиоприемниках вводится регулятор баланса РБ. Обычно регулировка стереобаланса осуществляется в пределах ±6 дБ.

Важно, чтобы в трактах стереофонического усилителя подавлялись составляющие надтональных частот в области поднесущей и ее второй гармоники. Подъем амплитудно-частотной характеристики усилителя в этой области недопустим, так как может вызвать интерференционные свисты или привести к самовозбуждению.

Тракты стереофонического усилителя должны иметь одинаковые характеристики и обладать большим переходным затуханием: не менее 40 дБ на частоте 1 кГц, 32 дБ на частотах 0,3 и 5 кГц и 26 дБ на частоте 10 кГц.

6.5. АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Стереофоническая акустическая система содержит два идентичных громкоговорителя, к которым подводятся сигналы Л и П. Громкоговорители, устанавливаемые в стереофонические акустические системы, имеют широкий номинальный диапазон частот, например 40 ... 20 000 Гц, повышенную паспортную мощность 20 ... 100 Вт, сравнительно небольшой коэффициент гармоник (не более 5 %).

Отечественной промышленностью выпущены различные типы акустических систем для стереофонического воспроизведения звука: 6МАС-4, 35АС-1, 50АС-5 и другие. Наибольшее распространение получили трехполосные акустические системы типа 35АС-1. Принципиальная схема системы показана на рис. 6.13. На низкочастотный громкоговоритель Гр 1 типа 30 ГД-1 сигнал поступает через фильтр L3, C4, C5, C6. Среднечастотный громкоговоритель Гр 2 типа 15 ГД-11 подключается к усилителю через полосовые фильтры L2, C2+C3 и L4, C7. На высокочастотный громкоговоритель Гр 3 типа 10 ГД-35 сигнал поступает через фильтр нижних частот L1, C1. В цепях среднечастотной и высокочастотной голо-

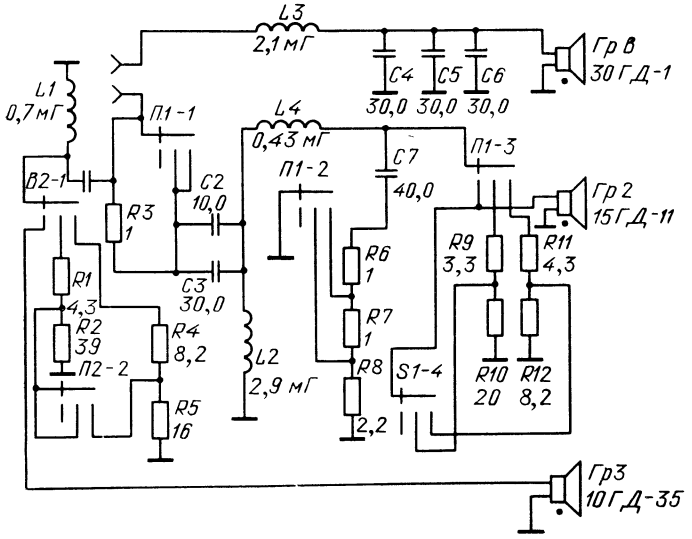


Рис. 6.13. Электрическая схема акустической системы 35АС-1

вок системы содержатся ступенчатые регуляторы уровня. Когда переключатели П1 и П2 находятся в крайнем левом по схеме положении (max), сигнал на среднечастотную головку подается через резистор R3, а на высокочастотную — непосредственно через фильтр. При этом резистор R3 необходим для получения наибо-

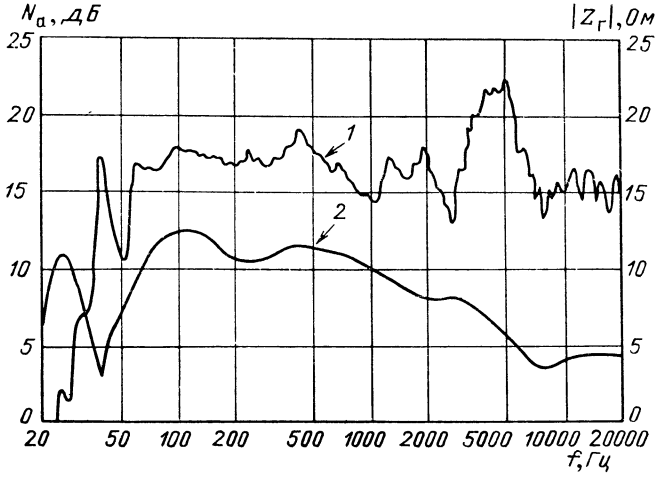


Рис. 6.14. Частотные характеристики 35АС-1

лее близкой к горизонтальной частотной характеристике звукового давления всей акустической системы в целом.

При переводе переключателя П1 в среднее положение (min) в цепь головки 15ГД-11 дополнительно включаются резисторы, образующие делители напряжения. В соответствии с этим уровень среднего звукового давления, создаваемый высокочастотной головкой на частотах 0,5 ... 5 кГц, снижается соответственно на 3 или 6 дБ. Аналогично действует переключатель П2 в цепи высокочастотной головки на частотах свыше 5 кГц.

Корпус акустической системы — неразборный. Все головки громкоговорителей и органы регулировки формы частотной характеристики расположены на передней панели. Внизу панели находится отверстие фазоинвертора.

На рис. 6.14 приведены частотные характеристики относительного уровня звукового давления N_a (кривая *1*) и модуля полного электрического сопротивления $|Z_г|$ (кривая *2*) этой акустической системы.

6.6. МОДЕЛИ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ РАДИОПРИЕМНИКОВ

В 1971 г. вышло постановление Совета Министров СССР о развитии стереофонического радиовещания, которое дало мощный толчок увеличению объемов выпуска стереофонических приемных устройств. Первоначально отечественная промышленность выпускала только стереофонические радиолы, что позволяло в тех городах, где не велось стереовещание, использовать их для прослушивания стереофонических грампластинок.

В начале 70-х годов промышленность выпускала стереофонические радиолы только высшего и первого классов. Это были в основном ламповые и лампово-транзисторные стереорадиолы «Симфония-002», «Эстония-стерео», «Эстония-006-стерео», «Вега-001», «Вега-003». Эти устройства были дорогими, поэтому применение их было весьма ограниченным. В 1975 г. был разработан ГОСТ 20842—75, нормирующий параметры качества стереофонических радиоприемников различных групп сложности, и начато производство более дешевых, массовых моделей приемников.

К 1985 г. число стереоприемников увеличилось до 7 млн. шт. Появились стереофонические приемные устройства высшего класса (радиола «Виктория-001», тюнеры «Ласпи-001» и «Вега-004») и первого класса (радиола «Мелодия-001-стерео», тюнер «Рондо-101»). Большими партиями выпускались дешевые стереорадиолы третьего класса «Вега-312», «Вега-319», «Вега-323», «Вега-329» и другие Бердского радиозавода. Выпущены переносные и автомобильные стереофонические приемники и магнитолы «Ленинград-006-стерео», «Ленинград-010», «АВ-75», «АМ-302-стерео», «Гродно-302», «Эола-310-стерео», «Ореанда-203-стерео», «Нерль-206-сте-

рео» и др. В торговую сеть поступают также транзисторные радиолы «Элегия-102» и «Элегия-106», стереофонические переносные кассетные магнитолы «Арго-002», «Арго-004», «Берестье-002», миниатюрные стереокомплексы первой группы сложности «Амфитон-101», «Ода-101» и др. С каждым годом увеличивается число моделей стереофонических приемных устройств и их количество у населения.

Основные параметры качества стереофонических приемных устройств различных групп сложности по ГОСТ 20842—75* следующие:

	Норма по группам сложности		
	А	Б	В
Отношение сигнал-шум в стереофоническом режиме, дБ, не менее	60	50	46
Подавление АМ на частоте модуляции 30 кГц, дБ, не менее	20	16	10
Напряжение ограничения, мкВ, не более	10	20	30
Диапазон воспроизводимых частот в стереорежиме, Гц, не у́же	40 ... 15000	63 ... 12500	100 ... 10000
АЧХ сквозного электрического тракта при неравномерности ±2,5 дБ, Гц, не у́же	31,5 ... 15000	50 ... 14000	80 ... 12500
Коэффициент гармоник в стереорежиме по звуковому давлению (числитель) и по электрическому напряжению (знаменатель), %, не более на частотах, Гц:			
300	5/2	5/3	7/5
1000	4/2	4/2	5/3
5000	5/3	5/4	7/5
Переходные затухания между стереоканалами по всему тракту (числитель) и по тракту звуковой частоты (знаменатель), дБ, не менее, на частотах, Гц:			
300	24/32	20/32	15/26
1000	28/40	26/40	20/34
5000	22/32	20/32	15/26
10 000	15/26	10/26	—
Изменение выходного уровня при переходе «Моно-стерео» и обратно, дБ, не более	3	4	6

* На батарейные и автомобильные стереоприемники этот ГОСТ не распространяется.

Пределы регулирования стереобаланса, дБ, не менее	8	6	6
Уровень фона в стереорежиме, с антенного входа (числитель) и по тракту звуковой частоты (знаменатель), дБ, не более . .	—53/—60	—40/—50	—40/—46
Разбаланс частотных характеристик всего стереотракта по электрическому уровню, дБ, не более, на частотах, Гц:			
300	3	4	4
5000	3	4	4
10 000	4	5	—
Подавление надтональных частот 31,25 и 62,5 кГц, дБ, не менее	50	40	20

Стереорадиола «Вега-312-стерео» — первая промышленная модель транзисторной радиолы третьего класса. Она предназначена для приема моно- и стереопрограмм в диапазоне УКВ (МВ), монофонических программ в диапазонах ДВ, СВ и КВ (КМВ, ГМВ, ДКМВ), воспроизведения грампластинок.

Структурная схема «Веги-312-стерео» приведена на рис. 6.15. Для приема радиостанций в диапазоне УКВ в радиоле применен унифицированный блок УКВ-2-2-Е, настраивающийся с помощью двухсекционного конденсатора. Усилитель высокой частоты собран на транзисторе ГТ313Б по схеме с общей базой. Преобразователь частоты состоит из гетеродина Г и смесителя См, работающих на общем транзисторе ГТ313А. Промежуточная частота 10,7 МГц с выхода смесителя через настроенный контур поступает в блок промежуточной частоты ПЧ. В блоке УКВ с помощью варикапа Д902 осуществляется автоматическая подстройка частоты АПЧ. Для приема радиостанций в диапазонах с амплитудной модуляцией в радиоле имеется блок коротких — средних — длинных волн КСДВ. Этот блок содержит входные контуры и контуры гетеродина для всех диапазонов, а также переключатель диапазонов. Блок КСДВ настраивается двухсекционным конденсатором.

Усилитель промежуточной частоты комбинированный, четырехкаскадный для сигналов с ЧМ и двухкаскадный для сигналов с АМ. Выполнен он на четырех транзисторах ГТ332А и связанных контурах между каскадами. В блок ПЧ введен также предварительный усилитель звуковой частоты ПУЗЧ для усиления выходного напряжения частотного детектора. С выхода ПУЗЧ в стереорежиме снимается напряжение на стереодекодер, а в монорежиме через цепь компенсации предыскажений 50 мкс снимается напряжение на блок УЗЧ.

Стереодекодер СД собран по суммарно-разностной схеме на транзисторах МП40А. Для увеличения добротности контура цепь

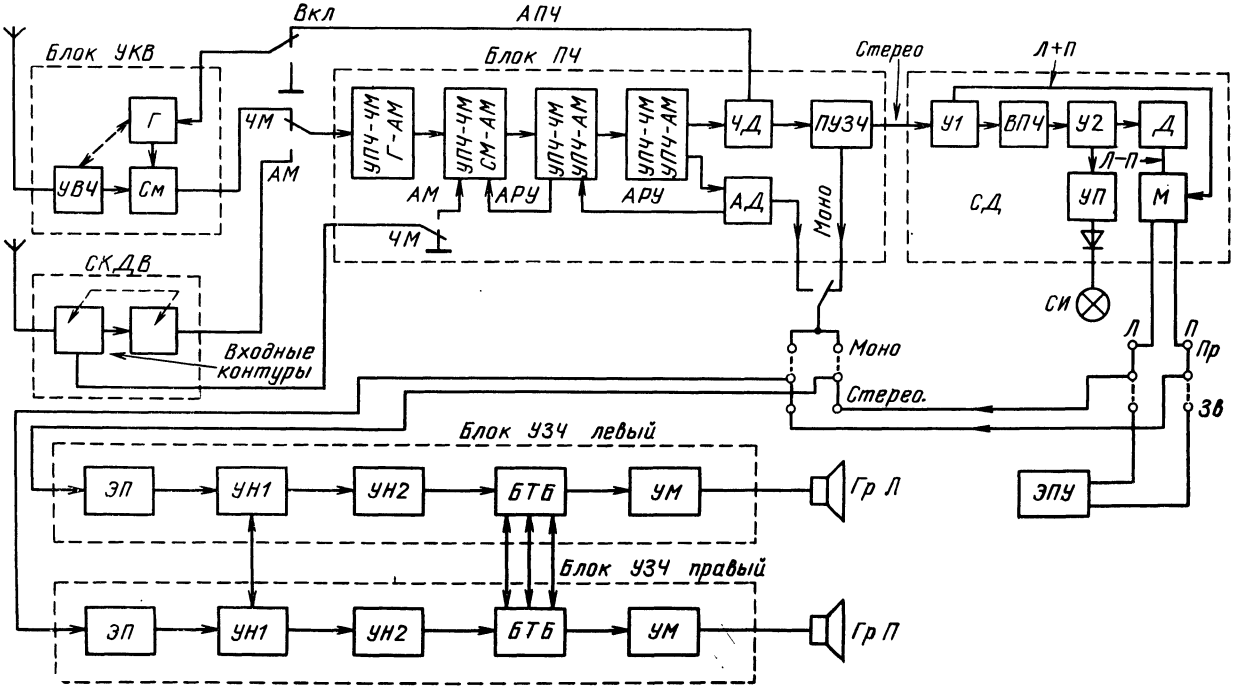


Рис. 6.15. Структурная схема радиолы «Вега-312-стерео»

восстановления поднесущей выполнена с обратной связью. На матрицу М поступают сигналы *Л+П* с усилителя У1 и *Л—П* с мостового детектора поднесущей Д. В результате суммарно-разностного преобразования образуются сигналы *Л* и *П*, которые поступают на левый и правый блоки усилителей звуковой частоты УЗЧ. При проигрывании грампластинок сигналы на блоки УЗЧ поступают со звукоснимателя электропроигрывающего устройства ЭПУ. В стереодекодер введен также усилитель поднесущей УП на транзисторах КТ315Б, сигнал с которого поступает на лампу стереоиндикатора СИ.

Стереофонический усилитель звуковых частот состоит из двух блоков УЗЧ, расположенных на отдельных платах, но связанных общими регуляторами громкости, баланса и тембров. Каждый блок УЗЧ, левый и правый, содержит входной эмиттерный повторитель ЭП на транзисторе КТ315Б, два каскада усиления напряжения УН1 и УН2 на транзисторах МП40, узел регуляторов тембров и баланса БТБ и усилитель мощности УМ с предусилителем и фазоинвертором на двух транзисторах МП40А, одном транзисторе МП37Б и двух мощных транзисторах П214А. Бестрансформаторный выход каждого блока УЗЧ включен на акустическую систему ЗАС2, содержащую громкоговоритель 3ГД-38.

В радиоле использовано стереофоническое ЭПУ второго класса II-ЭПУ-52С с трехскоростным приводом, полуавтоматическим включением и автоматическим выключением.

Типовая АЧХ радиолы по звуковому давлению в режиме стереоприема изображена в относительных единицах на рис. 6.16,*а* сплошной линией. Штриховой линией обозначена АЧХ по электрическому тракту при положении регуляторов тембра, соответствующем максимальному подъему усиления на нижних и верхних частотах.

Стереорадиола «Вега-319-стерео» является разновидностью радиолы «Вега-312-С» с акустическими системами шаровой формы диаметром 180 мм. Так как небольшие акустические системы имеют низкую чувствительность, то в блоке УЗЧ применены более мощные транзисторы. В фазоинверторе вместо транзистора ПМ40А применен транзистор МП26Б, в оконечном усилителе использованы транзисторы ГТ402Г и ГТ404Г. Несколько изменен режим работы выходных каскадов. В каждой акустической системе используются две коаксиально расположенные в шарообразном металлическом корпусе головки: низкочастотная 6ГД-6 и высокочастотная 6ГД-11. Головки защищены от повреждения металлической решеткой.

Стереорадиола «Мелодия-101-С» первого класса разработана на основе выпускавшейся ранее стереорадиолы «Рига-101». Радиола «Мелодия-101-С» имеет блочное построение: всеволновый тюнер, усилитель, ЭПУ и две акустические системы. В радиоле име-

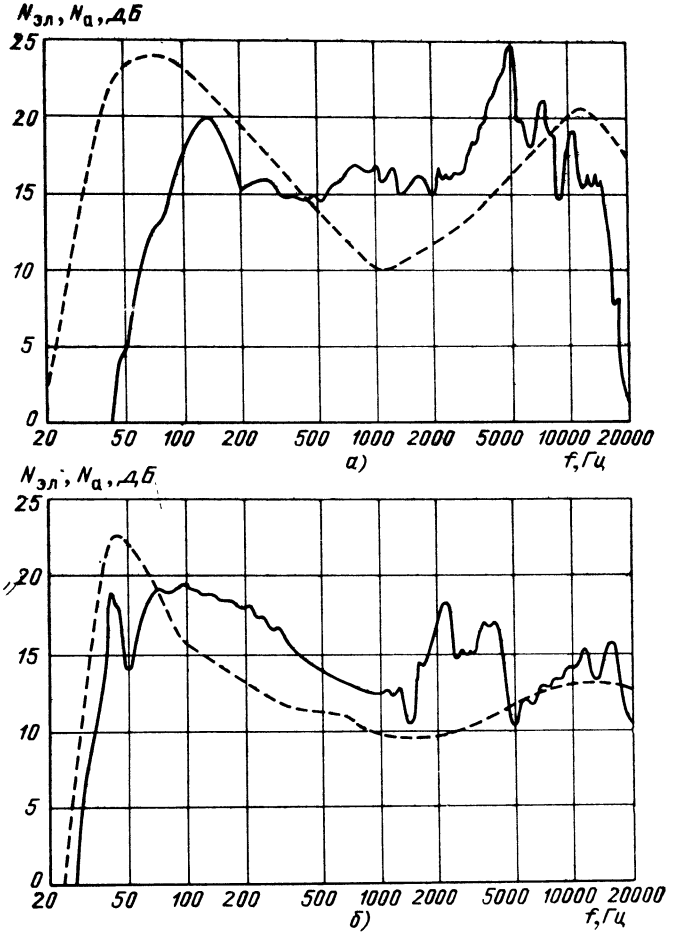


Рис. 6.16. Типовые АЧХ радиол «Вега-312» (*а*) и «Виктория-001» (*б*)

ется унифицированный блок УКВ с электронной настройкой с помощью трех варикапных матриц КВС111Б. Блок настройки содержит четыре переменных резистора, задающих потенциал на варикапные матрицы.

Блок промежуточной частоты содержит четыре каскада усиления в тракте ЧМ и три в тракте АМ. Здесь применены четырехконтурные фильтры ФСС. В диапазонах с АМ полосу фильтра можно выбирать из трех фиксированных значений: узкая (4,5 ... ... 5,5 кГц), широкая (8 ... 10 кГц) и местный прием (13,5 ... ... 15 кГц).

Стереодекодер построен по принципу полярного детектора. Напряжение на полярный детектор подается после каскада восстановления поднесущей 31,25 кГц. С выхода стереодекодера сигналы левого и правого стереоканалов *Л* и *П* поступают на фильтры нижних частот, с помощью которых подавляется поднесущая и ее гармоники, и затем подаются на блоки усиления звуковых частот.

Звуковой тракт состоит из блоков предварительного усиления, регуляторов тембра и оконечных усилителей.

В радиоле применено электропроигрывающее устройство II-ЭПУ-52С. Малогабаритные акустические системы содержат по две головки 6ГД-6 и 3ГД-2.

Стереорадиола «Виктория-001-С» — это полностью транзисторная всеволновая стереофоническая радиола высшего класса. Она известна в двух вариантах: напольном и полочном. Достоинством радиолы является эффективная усиленная АРУ. Имеется индикатор настройки. При ЧМ-приеме этот индикатор подключается к выходу тракта промежуточной частоты.

На рис. 6.16,*б* сплошной линией изображена АЧХ радиолы по звуковому давлению в диапазоне МВ (УКВ) в режиме стереоприема, а штриховой — АЧХ по электрическому тракту при положении регулятора тембра «Широкая полоса».

Стереотюнер «Ласпи-001» представляет собой высокочастотную часть стереофонического радиоприемника, без оконечных усилителей звуковых частот и акустических систем. Стереотюнеры дешевле стереорадиоприемников, и их целесообразно покупать в тех случаях, когда у слушателя уже имеется стереофоническая аппаратура с УЗЧ и акустическими системами. Параметры стереотюнера следующие:

Диапазон воспроизводимых частот, Гц:	
в режиме моно	16 ... 16000
в режиме стерео	20 ... 15000
Неравномерность АЧХ, дБ, не более	±2
Коэффициент гармоник в режиме стерео, %, не более	0,8
Чувствительность, мВ, не хуже	2,5
Отношение сигнал-шум, дБ, не хуже	54
Переходное затухание между стереотрактами, дБ, не хуже:	
на частоте 160 Гц	26
1000 Гц	30
10000 Гц	26
Избирательность по зеркальному каналу, дБ, не менее	70

Структурная схема стереотюнера «Ласпи-001» приведена на рис. 6.17. Тюнер имеет два входа: непосредственно на блок УКВ (МВ) с коэффициентом передачи 1 : 1 и через делитель напряжения с коэффициентом передачи 1 : 30. С блока фиксированных настроек БНФ напряжение подается на блок УКВ и одновременно через нелинейный усилитель НУ на электронную шкалу ЭШ, выполненную в виде газоразрядного индикатора ИН-13.

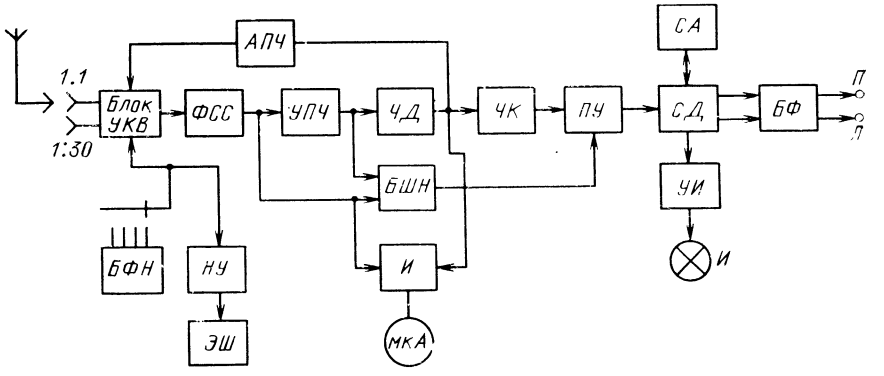


Рис. 6.17. Структурная схема стереотюнера «Ласпи-001»

После УПЧ напряжение детектируется частотным детектором ЧД и через частотный корректор ЧК и предварительный усилитель ПУ подается на стереодекодер СД суммарно-разностного типа. Тюнер снабжен блоком бесшумной настройки БШН, который открывает ПУ при выполнении двух условий: достаточно высоком напряжении на выходе УПЧ и отсутствии значительной паразитной амплитудной модуляции на выходе ФСС. Тюнер имеет устройство стереофонической автоматики СА, которое переключает стереодекодер на стереорежим при наличии напряжения поднесущей частоты. Одновременно срабатывает индикатор стереопередачи И. Напряжение на него подается с выхода усилителя индикации УИ также при появлении поднесущей. С выхода стереодекодера СД через блок фильтров БФ сигналы левого и правого стереосигналов поступают на выходы тюнера Л и П.

На основе тюнера «Ласпи-001» разработан тюнер «Ласпи-003». Он отличается от «Ласпи-001» внешним видом и большим числом фиксированных настроек.

Схема тюнера «Вега-004» практически повторяет схему «Ласпи-001». Особенностью тюнера «Вега-004» является плоская пультовая конструкция, электронная настройка на всех диапазонах и электронная коммутация цепей с сенсорным управлением.

7. Системы стереофонического проводного вещания

7.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ

Проблемы стереофонического проводного вещания СПВ давно привлекают внимание исследователей, инженеров, музыкантов, творческих работников звукового вещания. Проводными были

первые стереофонические системы, опробованные под руководством А. Блумлейна (США, 1929—1930 гг.), И. Е. Горона (СССР, 1934 г.), Г. Флетчера и Л. Стоковского (США, 1934 г.). В известной трехканальной системе И. Е. Горона стереофоническая передача из Колонного зала в Октябрьский зал Дома Союзов в Москве шла по проводам [21].

Передача стереофонических сигналов по сети проводного вещания была осуществлена В. С. Куприяновым в 1949 г. в Ленинграде. Но его работа существенно опередила теорию и практику звукового вещания того времени и потому не получила продолжения и развития. В теоретическом обосновании одной из систем СПВ большая заслуга принадлежит сотруднику НИИР О. А. Постниковой. На сети трехпрограммного проводного вещания ТПВ система СПВ была впервые внедрена в 1964 г. в Риге сотрудниками НИИР П. Я. Дубултом, М. М. Шенбергом и Л. И. Штейнбуком. Опыты передачи стереофонических программ по сети ПВ проводились в 1972 г. в Москве под руководством И. А. Шамшина при участии ВНИИТР. Регулярные стереофонические передачи по сети ПВ были организованы в 1974—1976 гг. в Нижнем Новгороде (Горьком). Серии стереофонических передач по сети ПВ прошли в 1974 г. в Смоленске и в 1979 г. в Тбилиси. Аналогичные зарубежные разработки также относятся к семидесятым годам. Стереофонические передачи по сети многопрограммного проводного вещания МПВ ведутся в Италии.

Развитие СПВ представляет важную научно-техническую социальную задачу. Оно способствует приобщению к стереофонии более широких кругов населения, лучшей организации их досуга и отдыха. Немаловажной является экономическая сторона проблемы. Разработка и выпуск новых изделий культурно-бытового назначения, в том числе приемных стереофонических устройств проводного вещания, создаст новый рынок сбыта и будет способствовать более полному удовлетворению растущего платежеспособного спроса населения.

Стереофоническое вещание можно организовать на основе любой системы МПВ — низкочастотной или высокочастотной. Низкочастотная образуется путем использования нескольких (по числу программ) усилителей звуковых частот УЗЧ и многопарной сети, к которой подключаются приемные абонентские устройства (рис. 7.1,*а*), высокочастотная состоит из нескольких передатчиков Пер, модулируемых, как правило, по амплитуде, подключенных к общей однопарной сети, и приемных устройств Пр, аналогичных обычному радиовещательному приемнику прямого усиления (рис. 7.1,*б*).

С позиций потребителя более выгодны низкочастотные системы, основанные на использовании многопарного кабеля, поскольку приемные устройства просты и сравнительно дешевы. Но мно-

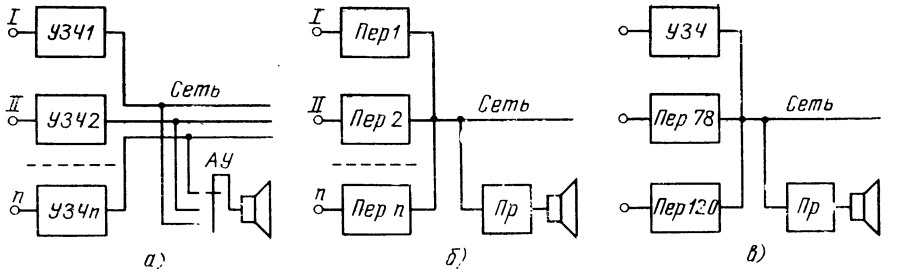


Рис. 7.1. Варианты построения систем многопрограммного проводного вещания: *а* — низкочастотный, *б* — высокочастотный, *в* — комбинированный ТПВ

гопарная сеть МПВ сложна и дорога. Более перспективно использование систем МПВ, в частности отечественной системы ТПВ, в которой используется один низкочастотный канал и два высокочастотных канала на несущих частотах 78 и 120 кГц (рис. 7.1,*в*).

Были предложены, разработаны и испытаны на сетях ПВ следующие системы СПВ:

1) с независимыми каналами (В. С. Куприянов, Ленинград, кафедра радиовещания и телевидения ВЗЭИС, Москва);

2) с использованием эффекта предварения с задержкой сигнала в одном канале (НИИР, Рижский радиотрансляционный узел);

3) с использованием эффекта предварения с задержкой сигнала в двух каналах (МГРС совместно с ВНИИТР);

4) с двойным суммарно-разностным преобразованием сигналов (ВЗЭИС совместно с Горьковским и Смоленским РТУ, за рубежом — Италия);

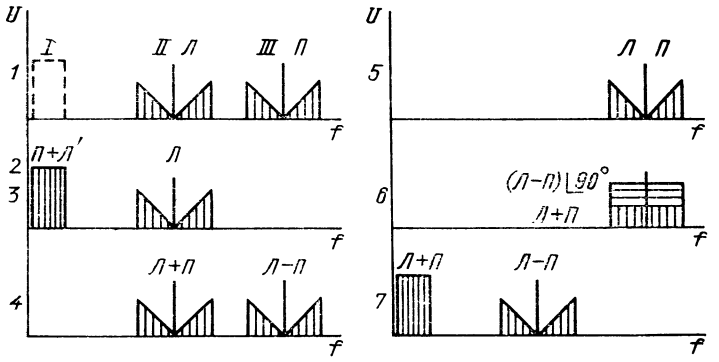


Рис. 7.2. Варианты организации стереофонического вещания в системе ТПВ

5) с двойной однополосной модуляцией (ВЗЭИС);

6) с квадратурной амплитудной модуляцией (ВЗЭИС при участии Тбилисского РТУ).

Кроме того, теоретически была исследована возможность применения для СПВ систем с полярной модуляцией (7) и с комбинированной модуляцией вида АМ-ЧМ и АМ-ФМ (8), используемых за рубежом для стереофонического радиовещания в диапазоне ГМВ (см. гл. 5).

Системы 1, 2, 3, 4, 7 занимают два канала ТПВ, системы 5, 6, 8 — один канал (рис. 7.2).

7.2. ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМАМ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

Параметры качества систем СПВ, по-видимому, не могут сколько-нибудь заметно отличаться от параметров качества систем МПВ, на основе которых они разрабатываются. Это касается полосы частот, коэффициента гармоник, защищенности от помех. Как правило, эти параметры хуже норм высшего класса качества, однако ввиду получения нового качества — «стереофоничности» — слушатели менее критично относятся к ухудшению параметров качества [20]. Ширина полосы частот в системах МПВ-Т достигает 10 ... 15 кГц, а в системе ТПВ 6 ... 10 кГц (в зависимости от параметров передающих и приемных устройств и проводной сети). Наиболее уязвимым местом системы ТПВ при передаче стереосигналов является переходная помеха от первого (низкочастотного) канала на второй и третий. Исследования показали, что в городах, где сети ПВ содержатся в хорошем техническом состоянии, слышимая переходная помеха практически отсутствует.

Стереофония предъявляет дополнительные требования к идентичности каналов по коэффициенту передачи, АЧХ и, особенно, ФЧХ. Допустимые расхождения этих параметров определяются выбранной системой стереофонии. В качестве самых общих оценок можно указать следующие значения параметров: разница коэффициентов передачи каналов не должна превышать 40 % или в единицах уровня 3 дБ (эта разница компенсируется установочными регуляторами уровня приемного устройства), относительный фазовый сдвиг между каналами — порядка немногих десятков градусов. Допустимое переходное затухание между каналами для удовлетворительной передачи должно быть не менее 20 дБ. Расчеты и измерения, результаты которых приведены далее, показали, что тракты ТПВ в большинстве случаев этим требованиям удовлетворяют.

Внедрение системы СПВ не должно приводить к перестройке или, тем более, ломке сложившихся структур сетей ПВ и к су-

щественной переделке станционного оборудования. Приемные устройства СПВ должны быть существенно проще радиоприемников соответствующих классов и сравнительно недороги.

Системы СПВ должны быть совместимы с монофоническими системами ПВ. Под прямой совместимостью понимают возможность приема стереофонических программ в монофоническом виде на монофонические приемные устройства. Решение этой задачи связано с особыми преобразованиями стереосигналов и влечет за собой усложнение передающих и приемных устройств. Требование прямой совместимости обусловлено желанием сохранить при внедрении стереофонии прежнее число монофонических программ. Под обратной совместимостью понимают возможность приема стереофоническими устройствами монофонических программ. Решение этой задачи обычно не вызывает серьезных затруднений.

7.3. СВОЙСТВА ЛИНИЙ И СЕТЕЙ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

Как и в стереофоническом радиовещании, одним из важных для систем СПВ является вопрос о степени различия параметров каналов, образующих стереопару. Эти различия определяются, главным образом, свойствами проводных линий. Активное сопротивление и индуктивность проводов, емкостная и активная проводимости между проводами линий зависят от частоты протекающего по ним тока, поэтому коэффициент передачи (или затухание) и фазовые сдвиги изменяются с ростом частоты.

Асимметрия АЧХ и ФЧХ в пределах полосы частот каждого высокочастотного канала МПВ и ТПВ приводят к возрастанию частотных и нелинейных искажений при детектировании амплитудно-модулированных сигналов. Анализ показал, что в кабельных линиях МПВ с медными жилами эти искажения пренебрежимо малы. Но в воздушных линиях ТПВ с биметаллическими и стальными проводами эти искажения могут привести к нарушению норм ГОСТ на параметры качества каналов и трактов звукового вещания, а в некоторых системах СПВ стать причиной уменьшения переходного затухания, что приведет к ухудшению качества звучания стереофонической программы.

Теоретически были определены амплитудно-частотные и фазочастотные искажения гипотетической трехзвенной сети ТПВ (рис. 7.3), состоящей из устройства подключения передатчиков УПП, магистрального фидера МФ, обходного устройства трансформаторной подстанции ОУТП, распределительного фидера РФ, абонентского трансформатора АТ и абонентской линии АЛ. Исходя из практических соображений, были выбраны длины линий: МФ — 3 км, РФ — 2 км, АЛ — 0,5 км, причем для МФ и РФ был выбран биметаллический провод БМ-4 диаметром 4 мм, а для АЛ — стальной провод диаметром 3 мм. Результаты расчетов за-

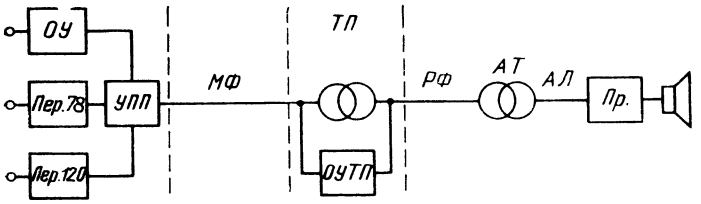


Рис. 7.3. Структура трехзвенной сети ТПВ

тухания и фазовых сдвигов представлены графиками рис. 7.4 и 7.5. Из них видно, что различия затуханий и частотно-фазовых характеристик каналов II и III существенно меньше, чем низкочастотного (I) и высокочастотных (II и III) каналов. Полученный результат опровергает ранее существовавшее мнение, что для целей стереофонии можно использовать любую пару из трех возможных каналов ТПВ.

Перед проведением испытаний систем СПВ в Нижнем Новгороде и Смоленске авторами настоящей книги были экспериментально исследованы основные параметры и характеристики некоторых трактов ПВ этих городов. Результаты измерений, проведенных на одном из трактов ТПВ в Нижнем Новгороде, показаны на рис. 7.6. Штриховой линией изображены сквозная АЧХ частотного канала II, штрихпунктирной — канала III. Видно, что общая неравномерность АЧХ в полосе 0,05 ... 10 кГц не превышает 5 дБ для канала II и 10 дБ для канала III. Разность между фазами в каналах II и III представлена графиком рис. 7.7. Графики АЧХ каналов ТПВ для трех исследованных направлений сети ПВ Смоленска изображены на рис. 7.8. Фазовые искажения каналов первого направления в области нижних и средних частот практи-

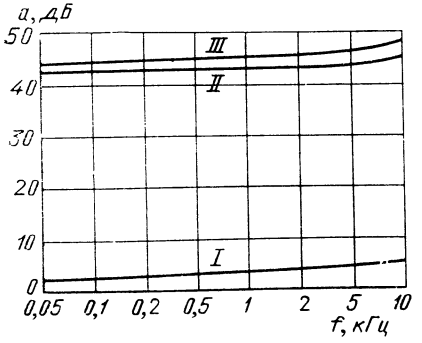


Рис. 7.4. Результаты расчета затухания гипотетической трехзвенной сети ТПВ

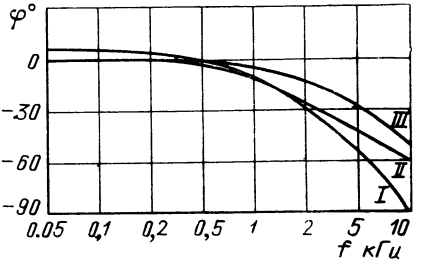


Рис. 7.5. Результаты расчета фазочастотных характеристик гипотетической трехзвенной сети ТПВ

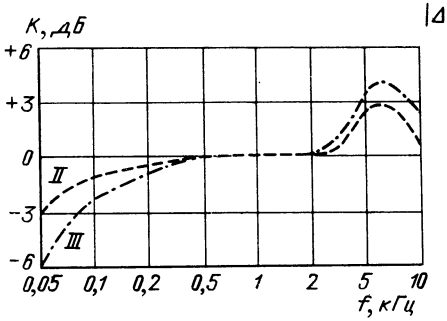


Рис. 7.6. Зависимость коэффициента передачи от частоты, построенная по результатам измерений одного из трактов ТПВ Нижнего Новгорода (Горького)

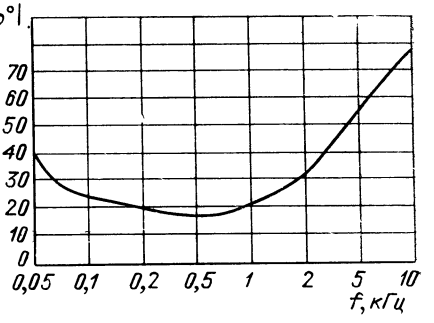
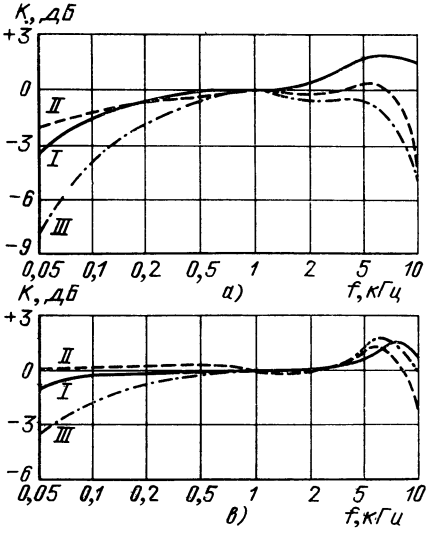


Рис. 7.7. Зависимость разности фаз между высокочастотными каналами, построенная по результатам измерений одного из трактов ТПВ Нижнего Новгорода (Горького)

чески отсутствовали, а на частотах выше 4 кГц постепенно возрастали до 40°. Для второго направления сдвиг фаз также возрастал с увеличением частоты и при приближении к частоте 10 кГц достигал 90°. На третьем направлении в большей части частотного диапазона фазовый сдвиг не превышал 45°, но на верхних частотах также достиг 90°. Однако учитывая, что стереоэффект определяется, главным образом, областью средних частот, фазовые сдвиги не следует считать чрезмерными. Были измерены



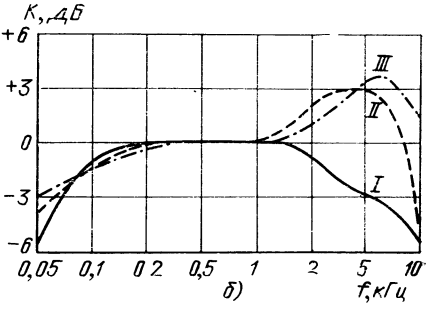


Рис. 7.8. Частотные характеристики низкочастотного (I) и высокочастотных (II и III) каналов ТПВ г. Смоленска: *а* — тракт ОУС-1 — МФ-15 — ТП-5 — РФ-7; *б* — тракт ОУС-2 — МФ4 — ТП-9 — РФ-3; *в* — тракт ОУС-1 — МФ-12 — ТП-4 — РФ-2

переходные затухания между I и II, I и III каналами ТПВ. Они составили в среднем соответственно 52 и 55 дБ.

Для более широкого обобщения данных по сетям ТПВ была предпринята статистическая обработка результатов измерений затухания сетей ПВ Москвы и Минска. Обработке подверглись данные по 107 магистральным и 375 распределительным фидерам [14]. Отдельно были исследованы другие звенья сети: УПП, ОУТП и АТ. Среднее значение затухания УПП составило 1,5 дБ. Для десяти исследованных в лабораторных условиях ОУТП средние значения затухания равнялись в канале II — 10,8 дБ и в канале III — 11,1 дБ. Для восьми исследованных АТ измеренные значения затухания составили: в канале II — 19,1 дБ, в канале III — 21,0 дБ. Затухание АЛ и домовой сети было принято равным 5 дБ. С учетом этих обстоятельств сформулированы следующие результаты:

1) средние статистические значения затухания в канале II составили 49,6 дБ, в канале III — 50,6 дБ, а максимальные с надежностью 0,95 — 53,6 и 52,0 дБ;

2) различие затухания в каналах II и III системы ТПВ в среднем не превышает 1,0 ... 1,6 дБ, что лежит в пределах нормы для каналов стереофонического вещания;

3) установлено, что каналы II и III системы ТПВ в большинстве случаев удовлетворяют норме по расхождению ФЧХ.

По указанным причинам комбинация каналов II и III в наибольшей степени подходит для организации стереофонического вещания [14].

7.4. СИСТЕМЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ, ЗАНИМАЮЩИЕ ДВА КАНАЛА ТПВ

Проще всего на сетях ПВ внедрить систему с независимыми каналами. Никаких преобразований сигналов в этой системе не производят, поэтому ее реализация не связана с разработкой и установкой какого-либо дополнительного оборудования. Ввиду отсутствия преобразований переходное затухание между каналами стереопары максимально и определяется лишь свойствами сети.

Систему с независимыми каналами (систему 1 по классификации § 7.1) можно реализовать в низкочастотном (рис. 7.9,*а*) или высокочастотном (рис. 7.9,*б*) варианте. На первый взгляд, система рис. 7.9,*б* существенно сложнее и дороже системы рис. 7.9,*а* ввиду использования передающих и приемных устройств вместо обычных УЗЧ и громкоговорителей. С позиции абонента сети ПВ это действительно так: два приемника ТПВ дороже двух громкоговорителей и двух усилителей — при подаче сигнала со станции узла низким уровнем. Но в системе рис. 7.9,*а* нужна бо-

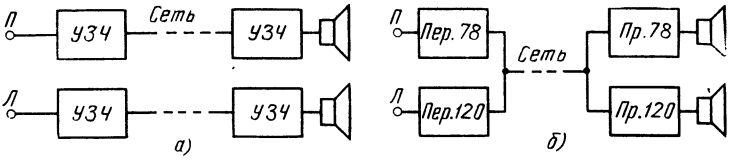


Рис. 7.9. Упрощенные структурные схемы систем стереофонического проводного вещания с независимыми каналами в низкочастотном (*а*) и высокочастотном (*б*) вариантах

лее дорогая сеть с двумя физическими цепями, поэтому с позиций отрасли ПВ более экономичной и потому более приемлемой может оказаться системы рис. 7.9,*б*. В свободное от передачи стереопрограмм время она может использоваться для передачи двух монофонических программ. В системе рис. 7.9,*а* теоретически можно организовать передачу даже трех программ, причем третью по искусственной цепи, образованной двумя проводами одной цепи и двумя проводами другой цепи. Однако практическая реализация этой идеи наталкивается на трудности. Асимметрия физических цепей приводит к уменьшению переходного затухания.

Система 1) легко реализуется на действующих сетях ТПВ. Качество стереоэффекта хорошее, поскольку оба высокочастотных канала ТПВ практически одинаковы. Считается, что система 1) обладает и существенным недостатком: на время передачи стереопрограммы владельцы монофонических устройств лишаются двух программ. Практически дело обстоит не так катастрофично. В стереофонических фонограммах с целью улучшения совместимости с монофонией в обоих каналах всегда присутствует значительная доля монофонической информации, поскольку звучание каждого источника передается в записи на обеих дорожках магнитной фонограммы. Отсутствие одного из каналов записи сказывается при воспроизведении лишь в изменении соотношения звучностей оркестровых групп или отдельных инструментов, что без сравнения с исходным звучанием большинством слушателей не замечается, поэтому при использовании системы 1) практически можно говорить о потере одной монофонической программы. Систему 1) вполне можно использовать на первых порах развития СПВ, когда объем стереовещания невелик. Ее опытная эксплуатация позволит привлечь внимание абонентов к стереофоническому вещанию, выявить потребности слушателей и возможности сети.

В системах 2) и 3) используется эффект предварения (эффект Хааса). Суть его заключается в том, что при наличии двух источников равной интенсивности, начинающих звучать неодновременно, незадержанный сигнал воспринимается слушателем как единственный, а задержанный как бы подавляется сознанием. Задер-

жанный сигнал воспринимается слушателем как отдельно звучащий, если его уровень превысит незадержанный более чем на 8 ... ... 10 дБ. Эффект Хааса проявляется при времени задержки в пределах 5 ... 50 мс [3].

Система СПВ, действующая на этом принципе, занимает каналы I и II ТПВ (спектр 2 на рис. 7.2). Одна составляющая стереосигнала, например П, передается по низкочастотному каналу (рис. 7.10). В этот же канал подмешивается задержанная с помощью линии задержки ЛЗ вторая составляющая стереосигнала, например Л. Оптимальное время задержки, определенное опытным путем, составляет примерно 10 мс. По второму, высокочастотному каналу передается незадержанная составляющая Л. Для приема используется комбинация однопрограммного и трехпрограммного громкоговорителей, поэтому затраты слушателя на создание стереофонической приемной установки невелики.

Монофонические, однопрограммные приемные устройства воспроизводят сигнал П+Л′, что по мысли авторов системы должно дать совместимый монофонический вариант.

На пути широкого внедрения системы 2 возникли следующие непредвиденные трудности.

1. При равных уровнях исходных сигналов Л и П громкость выходных сигналов оказывается различной, что искажает расположение кажущихся источников звука КИЗ в помещении слушателя. Для устранения этого недостатка была предложена система 3 с перекрестным введением задержанных сигналов в оба канала (рис. 7.11), причем в качестве ЛЗ был использован двухдорожечный магнитофон с особой воспроизводящей головкой.

2. При различии уровней составляющих стереосигнала более чем на 8 ... 10 дБ эффект подавления задержанного сигнала исчезает. Кроме того, в совместимом «монофоническом» сигнале П+ +Л′ наблюдаются большие частотные искажения, образуется АЧХ типа «гребенки» (рис. 7.12), причем неравномерность АЧХ достигает 15 дБ. Анализ этих искажений дан в [3].

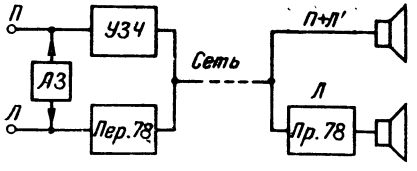


Рис. 7.10. Упрощенная структура системы стереофонического проводного вещания, основанная на эффекте предварения, с введением задержанного сигнала в один канал

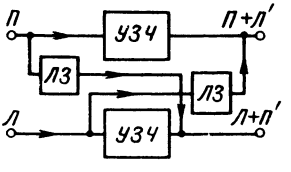


Рис. 7.11. Упрощенная структурная схема системы стереофонического проводного вещания с перекрестным введением задержанных сигналов в оба канала

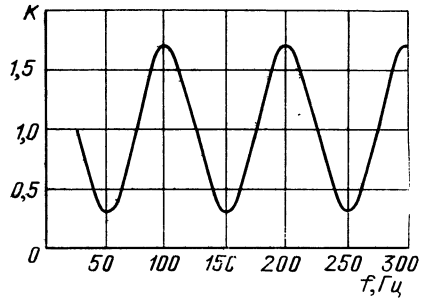


Рис. 7.12. Амплитудно-частотные искажения, обусловленные задержкой сигнала

Физическая причина появления искажений типа «гребенки» объясняется так. Пусть звучание каждого источника воспринимается сразу двумя микрофонами Л и П. Тогда в канале П будет присутствовать сигнал источника, пришедший в электрический тракт непосредственно от микрофона П, и задержанный сигнал источника, пришедший в микрофон Л и затем поступивший в тракт П через ЛЗ. Эти два сигнала взаимодействуют друг с другом. Если сигналы окажутся в фазе, т. е. будут различаться на целое число периодов $2\pi n$ (n — целое число), они складываются и усиливаются. Если сигналы окажутся в противофазе, т. е. их фазы будут отличаться на $(2n+1)\pi$, то они ослабляются. Эти соображения могут быть подкреплены математической трактовкой.

Предположим линия задержки создает задержку сигнала на Δt, на входах обоих каналов напряжения сигналов равны, а коэффициенты передачи каналов одинаковы. Тогда $u_{\text{Л}} = u_{\text{П}} = u(t)$. На выходе ЛЗ получим сигнал $K_{\text{ЛЗ}}\, U(t-\Delta t)$, где $K_{\text{ЛЗ}}$ коэффициент передачи ЛЗ. Суммарный сигнал в канале П запишем в форме

$$u_{\text{вых}} = u(t) + K_{\text{ЛЗ}}\, u(t-\Delta t). \tag{7.1}$$

Представим, что напряжение $u(t)$ является косинусоидальным: $u(t) = U_m \cos \Omega t$. Тогда (7.1) предстанет в виде:

$$u_{\text{вых}} = U_m \cos \Omega t + K U_m \cos \Omega (t-\Delta t). \tag{7.2}$$

После преобразований получим

$$u_{\text{вых}} = U_m (\cos \Omega t + K \cos \Omega t \cos \Omega \Delta t + K \sin \Omega t \sin \Omega \Delta t) =$$
$$= U_m [(1+\cos \Omega \Delta t) \cos \Omega t + K \sin \Omega t \sin \Omega \Delta t].$$

Коэффициент передачи канала, по которому проходят задержанный и незадержанный сигналы, будет при этом выражен зависимостью

$$K = \sqrt{(1 + K \cos \Omega \Delta t)^2 + K^2 \sin^2 \Omega \Delta t} \tag{7.3}$$

или окончательно

$$K = \sqrt{1 + K^2 + 2K \cos \Omega \Delta t}. \tag{7.4}$$

Видно, что коэффициент передачи подвержен периодическим изменениям, причем частота появления его максимумов $K_{\text{макс}}$ и

минимумов $K_{мин}$ определяется временем задержки Δt. Из (7.4) получим выражение для неравномерности АЧХ

$$\Delta K = 20 \lg \frac{K_{макс}}{K_{мин}} = 20 \lg \frac{\sqrt{1+K^2+2K}}{\sqrt{1+K^2-2K}} = 20 \lg \frac{1+K}{1-K} . \qquad (7.5)$$

Примем, в соответствии с обычной практикой, что уровень задержанного сигнала примерно на 3 дБ ниже уровня незадержанного сигнала. Тогда $K=0{,}7$ и

$$\Delta K = 20 \lg \frac{1+0{,}7}{1-0{,}7} = 15 \text{ дБ} .$$

Подставив в (7.4) значения $\Delta t = 10$ мс и $K=0{,}7$, получим основу для количественного построения графика рис. 7.12. Итак, график рис. 7.12 представляет собой частотную зависимость коэффициента передачи канала, в котором имеется основной сигнал $u_П$ и задержанный сигнал другого канала $u_Л$. Неравномерность АЧХ в 15 дБ приводит к ощутимым на слух искажениям стереофонического сигнала. Несмотря на то, что такая большая неравномерность возникает при сравнительно редком для стереофонии случае — равенстве сигналов Л и П, — полностью пренебречь высказанными соображениями нельзя. Избавиться от искажений АЧХ изменением времени задержки невозможно, при этом будут лишь смещаться по оси частот максимумы и минимумы кривой. Ослабление задержанного сигнала более чем на 3 дБ приведет к неудовлетворительной оценке совместимости стереофонической программы.

Системы 2 и 3, основанные на эффекте предварения, в силу высказанных обстоятельств могут рассматриваться лишь как псевдостереофонические, т. е. системы с ограниченным стереоэффектом.

Рядом достоинств обладает система 4 с двойным суммарно-разностным преобразованием сигналов (рис. 7.13). В ней используются два (II и III) канала системы ТПВ (или любые два канала высокочастотной системы МПВ). По каналу II передается сумма сигналов Л+П, по каналу III — разность сигналов. Выбор в качестве совместимого канала П обусловлен тем, что, как показали опросы слушателей, подавляющее большинство абонентов

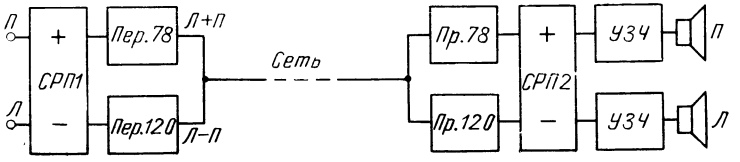


Рис. 7.13. Структурная схема системы стереофонического проводного вещания с двойным суммарно-разностным преобразованием сигналов

сети ТПВ (более 90 %) принимают программы по I и II каналам и лишь небольшая часть абонентов слушает программы, передаваемые по каналу III. Потеря одной программы во время сеансов стереовещания затрагивает интересы менее 10 % слушателей.

В передающую часть системы включается первый СРП, в приемную часть — второй. Принцип действия СРП и его возможные схемы рассмотрены в § 5.5. Передатчики ТПВ не подвергаются никакой переделке. Для приема можно использовать два трехпрограммных громкоговорителя с приставкой СРП или специализированный двухканальный приемник. Простота внедрения системы и сравнительная дешевизна приемных устройств — несомненные достоинства системы 4. Недостаток — потеря во время сеансов стереовещания одной монофонической программы.

Для получения совместимости и по II, и по III каналу ТПВ была предложена модифицированная система, структура которой изображена на рис. 7.14. В ней помимо суммарно-разностного преобразования сигналы при передаче и приеме дополнительно преобразуются: перед СРП1 фаза одного из сигналов поворачивается широкополосным фазовращателем ФВ1 на 90° относительно исходной, а после СРП2 осуществляется обратный поворот фазы фазовращателем ФВ2. На выходах СРП1 будут получены сигналы $Л+П\llcorner 90°$ и $П—Л\llcorner 90°=П+Л\llcorner -90°$. Каждый из этих сигналов при монофоническом приеме будет удовлетворять условию совместимости, так как представляет собой энергетическую сумму входных сигналов. Идея этой системы принадлежит А. С. Городникову.

Для систем с преобразованием стереосигналов характерны довольно жесткие нормы на разбаланс коэффициентов передачи и фазовые сдвиги между каналами: $b=K_{п}/K_{л}$, $\Delta\varphi=\varphi_{п}-\varphi_{л}$. В результате анализа [3, 21] получено выражение для определения переходного затухания между каналами при разбалансе коэффициентов передачи и фазовых сдвигах:

$$a_{п} = 10\lg\left(1+\frac{4b\cos\Delta\varphi}{\sin^2\Delta\varphi+(b-\cos\Delta\varphi)^2}\right). \tag{7.6}$$

При наличии только разбаланса коэффициентов передачи или только фазовых сдвигах выражение (7.6) распадается на два:

$$a_{пК} = 20\lg\left|1+\frac{2b}{1-b}\right|, \tag{7.7}$$

$$a_{п\varphi} = 20\lg\left|\operatorname{tg}\frac{\Delta\varphi}{2}\right|. \tag{7.8}$$

Из графиков рис. 7.15 и 7.16 вытекает, что для получения переходного затухания более 20 дБ необходимы разбаланс коэффициентов передачи не более 20 % (примерно 2 дБ) или фазовые сдвиги не более 11°.

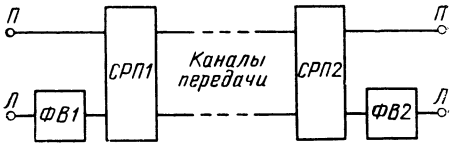


Рис. 7.14. Упрощенная структурная схема модифицированной системы с двойным суммарно-разностным преобразованием сигналов

Авторами была рассмотрена возможность использования для СПВ системы полярной модуляции [3, 21]. Реализация этой идеи позволила бы унифицировать системы стереофонии в радио- и проводном вещании. Если выбрать $f_п = 78$ кГц, то тональная часть спектра ПМК попадет в полосу частот канала I ТПВ, а надтональная часть — в область частот канала II. Проведенный нами теоретический анализ показал, что амплитудно-частотные и фазочастотные искажения в области частот 0,05 ... 88 кГц, занимаемой ПМК при вещании по первому классу качества столь велики, что полярно-модулированное колебание будет сильно искажено. Это не позволит сколько-нибудь удовлетворительно разделить составляющие Л и П при детектировании. Пока не найдено способа уменьшения этих искажений до приемлемой величины.

Спектр системы с ПМК занимает два канала ТПВ, причем лишь в канале I обеспечивается совместимость с монофонией, поэтому при стереовещании по этой системе будет потеряна одна монофоническая программа.

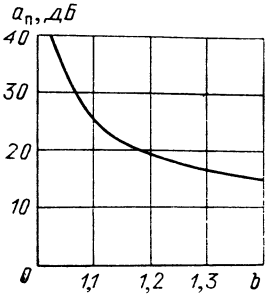


Рис. 7.15. Зависимость переходного затухания между каналами от величины разбаланса коэффициента передачи каналов

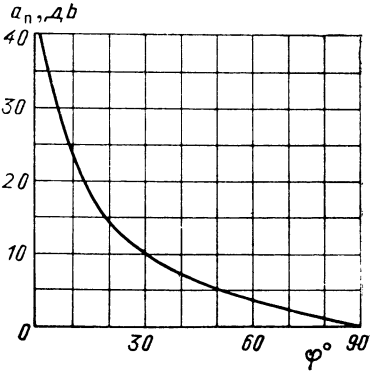


Рис. 7.16. Зависимость переходного затухания между каналами от фазовых сдвигов между каналами

7.5. СИСТЕМЫ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ, ЗАНИМАЮЩИЕ ОДИН КАНАЛ ТПВ

Желание избежать потери при переходе к стереофонии одной монофонической программы привело авторов настоящей книги к теоретической и экспериментальной разработке систем СПВ, спектр которых занимает один канал ТПВ. К таким системам относятся системы с двойной однополосной модуляцией ДОМ и квадратурной амплитудной модуляцией КАМ. Эти системы по использованию пропускной способности канала и, особенно, мощности сигнала предпочтительнее систем с комбинированной модуляцией вида АМ-ЧМ и АМ-ФМ.

В системе 5 с ДОМ (см. рис. 7.2) нижняя боковая несет информацию об одной составляющей стереосигнала, верхняя боковая — о другой [12, 32]. Способы получения однополосной модуляции рассмотрены ранее в § 5.6. В системе 6 с КАМ колебания несущей частоты расщепляют с помощью узкополосного фазовращателя ФВ на две составляющие со сдвигом фаз на 90°. Назовем одну из них основной, другую — квадратурной. Основная с целью получения совместимости модулируется суммой сигналов М=Л+П, квадратурная — разностью сигналов S=Л—П. Теоретический анализ показал, что для улучшения совместимости следует подавлять несущую в квадратурном канале, поэтому в основном канале используют амплитудный модулятор АМ, а в квадратурном — балансный БМ (рис. 7.17). Сигналы после сложения в сумматоре подаются на усилительные каскады передатчика Пер и далее в сеть ПВ. Для уменьшения переходной помехи от низкочастотного канал I рекомендуется под квадратурную модуляцию занять канал III. В приемном устройстве сигналы выбранного частотного канала выделяются полосовым фильтром, не показанном на схеме, усиливаются усилителем высокой частоты УВЧ и подаются на два синхронных детектора СД, служащих для разделения сигналов и их демодуляции. Местный гетеродин Гет син-

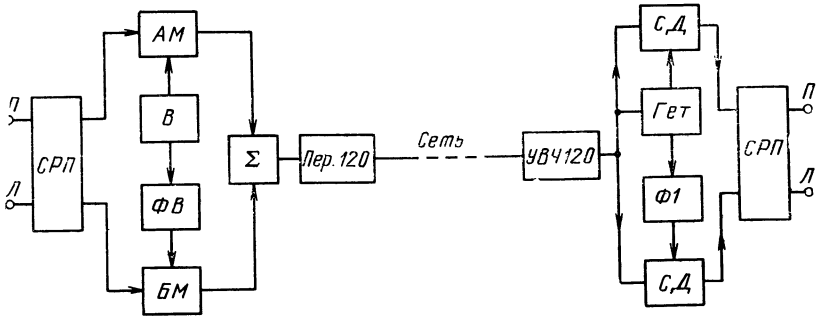


Рис. 7.17. Упрощенная структурная схема системы стереофонического проводного вещания с квадратурной амплитудной модуляцией

хронизируется поступающей с передатчика и выделенной узкополосным фильтром несущей. На один из СД несущая подается через фазовращатель ФВ1.

В системах СПВ с использованием ДОМ или КАМ в частотных каналах II и III можно передать две стереофонические программы, не сокращая числа монофонических программ, или одну квадрофоническую [33], хотя последняя задача практически не ставится.

В системах СПВ, занимающих один канал ТПВ, снимается проблема искажений, обусловленных различием коэффициентов передачи и фазовыми сдвигами между каналами, но возникают иные проблемы. Важнейшая из них — проблема совместимости.

Амплитудный детектор монофонического приемного устройства реагирует на составляющие спектров нижней и верхней боковых полос. Наименьшие нелинейные искажения получаются при равенстве амплитуд соответствующих составляющих боковых. Но при передаче стереосигнала по системе ДОМ равенство амплитуд боковых полос имеет место лишь при положении кажущегося источника звука посередине базы (в центре звуковой панорамы). По мере смещения КИЗ влево или вправо от середины базы амплитуды составляющих боковых полос будут все более различаться. В связи с этим при детектировании стереофонического сигнала ДОМ амплитудным детектором монофонического приемного устройства коэффициент гармоник возрастает. Для уменьшения $K_г$ до нормы первого класса качества необходимо, чтобы коэффициент модуляции не превышал 0,15, а до нормы второго класса качества — 0,3. Необходимость работы с небольшими коэффициентами модуляции снижает эффективность действия передатчиков ТПВ [12]. Следует однако заметить, что уменьшение коэффициента модуляции в системе СПВ меньше сказывается на качестве воспроизведения программы, чем в системе стереофонического радиовещания, поскольку уровень помех в каналах ПВ существенно меньше уровня помех в радиоканалах.

При КАМ совместимость определяется иными обстоятельствами. Главное из них — нелинейные искажения огибающей сигнала, поступающего на детектор монофонического приемного устройства, поскольку она определяется геометрической суммой ОВ и ОС (рис. 7.18). Для улучшения совместимости основная составляющая формируется амплитудной модуляцией несущей суммой сигна-

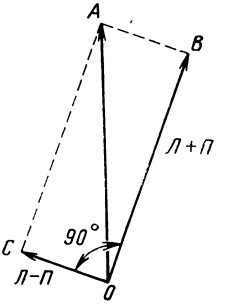


Рис. 7.18. Векторная диаграмма напряжений в системе стереофонического проводного вещания с квадратурной амплитудной модуляцией

лов Л+П, а квадратурная составляющая — балансной модуляцией разностным сигналом. Наличие квадратурной составляющей искажает общую огибающую тем больше, чем больше коэффициент модуляции в квадратурном канале. В конечном счете квадратурная составляющая также нарушает симметрию спектра сигнала относительно несущей частоты. Для приближения вектора геометрической суммы к вектору основной составляющей необходимо уменьшать вектор квадратурной составляющей, т. е. ее коэффициент модуляции.

Чтобы получить величину коэффициента гармоник, не превышающую норму первого класса качества (на средних частотах не более 2,5%), коэффициент модуляции основной составляющей не должен превышать 0,6, а квадратурной быть менее 0,25. Соответственно для выполнения нормы второго класса качества ($K_г \leqslant 3\%$) коэффициент модуляции основной составляющей может быть более 0,6, но квадратурной — не более 0,35 [16].

Амплитуда разностного сигнала составляет от 30 до 42 % амплитуды суммарного сигнала. Это обстоятельство позволяет обеспечить совместимость в устройствах второго класса качества без корректирования соотношения значений коэффициентов модуляции от суммарного и разностного сигналов. В устройствах первого класса качества необходимо несколько уменьшать коэффициент модуляции в квадратурном начале и увеличивать усиление квадратурного сигнала в приемном устройстве, чтобы скомпенсировать это уменьшение.

Другой способ улучшения совместимости заключается в уменьшении угла между составляющими КАМ (см. 5.6).

Из изложенного видно, что в системе СПВ с использованием одного частотного канала ТПВ предпочтительнее применить КАМ с суммарно-разностным преобразованием сигналов, а не систему с ДОМ. Однако окончательное решение можно вынести лишь после технико-экономического сравнения приемных устройств, поскольку не вполне очевидно, какое из них окажется проще и дешевле.

С целью оценки пригодности сетей проводного вещания для стереофонического вещания методом КАМ был проведен анализ искажений, обусловленных непостоянством коэффициента передачи и нелинейностью ФЧХ в пределах полосы пропускания частотного канала ТПВ. Расчеты показали, что при существующих в высокочастотных каналах ТПВ амплитудно-частотных и фазо-частотных искажениях переходное затухание между стереоканалами Л и П получается в пределах 20 ... 32 дБ. В результате анализа нарушений ортогональности несущих, вызванных неточностью настройки фазовращателей, заданы требования на допустимую погрешность действия фазовращателей [32].

Система СПВ с ДОМ была испытана в лабораторных условиях. Система СПВ с КАМ испытана на сети ПВ Тбилиси. Звуко-

режиссеры, прослушивавшие опытные передачи разнообразных жанров, отметили хорошее качество стереофонического звучания по локализации, прозрачности, правильности передачи соотношений звучности оркестровых групп. По мнению специалистов, а также абонентов сети ПВ, слушавших стереофонические передачи на монофонические трехпрограммные приемники (трехпрограммные громкоговорители), качество звучания при монофоническом приеме стереофонической программы не ухудшилось по сравнению с качеством звучания монофонической программы.

7.6. БУДУЩЕЕ СИСТЕМ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

В развитии теории и техники СПВ мы сталкиваемся со своеобразными диалектическими переходами — от простого к сложному, и на новом, высшем уровне развития — как бы обратно, к простому.

Первые шаги СПВ характерны простейшими решениями, легко поддающимися теоретическому рассмотрению, практической проверке и внедрению. Таковы системы с независимыми каналами и с использованием эффекта предварения. Далее получили развитие системы с двойным суммарно-разностным преобразованием сигналов, с двойной однополосной и квадратурной амплитудной модуляцией. Целью вводимых усложнений было стремление преодолеть недостаток простейших решений — уменьшение числа монофонических программ. Но достигнуто это ценой существенного усложнения передающих и приемных устройств.

Это противоречие диалектически снимается в многоканальных системах МПВ, например в системе МПВ-Т. Действительно, потеря каналов и программ, обусловленная внедрением стереофонии, наиболее ощутима в малоканальных системах ПВ. Уже в системе с пятью-шестью каналами можно безболезненно занимать два канала для простейшей системы СПВ — с независимыми каналами. С этих позиций особого внимания заслуживает предложенная МГРС система ТПВ-МПВ [35]. Упрощение системы СПВ, уменьшение числа преобразований стереосигналов улучшит качество звукопередачи. Перспективную систему СПВ на основе использования системы МПВ-Т предложили В. Я. Дзядчик и Г. Е. Лившиц. Шесть стереофонических программ предполагается передавать с помощью квадратурной амплитудной модуляции. Разработанная система отличается новизной и оригинальностью технических решений.

Для внедрений любой из предложенных систем СПВ необходимо решение ряда организационных и технических мероприятий. Должны быть организованы каналы подачи стереофонической программы из радиодома на центральную станцию проводного

вещания ЦСПВ и с нее на усилительные станции. Существующие соединительные линии СЛ не приспособлены для этого. Они не сфазированы, а их ФЧХ сильно различаются вследствие различия трасс, типов кабельных пар, корректирующих контуров и промежуточных усилителей. Необходимо организовать производство приемных устройств или декодирующих приставок к выпускаемым трехпрограммным приемникам (громкоговорителям). Главное, следует решить вопрос о выборе системы СПВ.

Проблема СПВ примыкает к проблеме стереофонического радиовещания в диапазоне ГМВ (см. § 5.6). Некоторые технические требования к этим системам совпадают. Исходя из технико-экономических соображений, было бы желательно унифицировать эти системы.

8. Приемные устройства стереофонического проводного вещания

8.1. ВИДЫ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Приемные устройства стереофонического проводного вещания разрабатывают и строят на основе выпускаемых монофонических приемных устройств ТПВ и МПВ. Целесообразно рассмотреть существующие технические решения этих устройств и на этой основе решить вопрос об их использовании непосредственно или после некоторой доработки для приема программ СПВ. Унификация схемных и конструктивных решений упростит выпуск стереофонических приемных устройств и удешевит их.

Построение приемного абонентского устройства проводного вещания определяется системой ПВ, в частности, способом передачи — токами звуковой частоты или модулированными токами высокой частоты. В простейшее низкочастотное приемное устройство однопрограммного проводного вещания входят громкоговоритель с понижающим трансформатором и регулятором громкости. Для соединения такого приемного устройства с абонентской линией или домовой (абонентской сетью) служат абонентская розетка, квартирная проводка и ограничительный резистор $R_{огр}$. Последний предназначен для защиты абонентской линии (домовой сети) от короткого замыкания в квартирной проводке и приемном устройстве. Перечисленные дополнительные элементы вместе с приемным устройством образуют абонентское устройство АУ. При многопрограммном проводном вещании токами звуковой частоты добавляется переключатель каналов (программ). Такие устройства используют при передаче сигналов вещания в звуковом диапазоне частот достаточно высоким напряжением 15 ... 30 В, чему

соответствует уровень 26 ... 32 дБ. При передаче сигналов сравнительно небольшим напряжением (доли вольта) в приемное устройство включают УЗЧ.

При передаче сигналов модулированными токами высокой частоты приемное устройство приобретает более сложную структуру. В него, наряду с громкоговорителем и регулятором громкости, входят избирательные устройства (полосовые фильтры), предназначенные для выбора канала (программы), усилитель высокой и звуковой частоты, детектор, блок питания. Такое устройство аналогично простейшему радиовещательному приемнику.

Кроме законченных устройств, содержащих громкоговоритель, выпускают приставки, имеющие только преобразовательные и усилительные блоки. К выходу приставки подключают абонентский громкоговоритель или другое бытовое приемно-усилительное устройство, например радиовещательный приемник (рис. 8.1,*а*).

Таким образом, приемные устройства бывают пассивными (без усилителей и преобразователей сигналов) и активными (с усилителями и преобразователями), низко- и высокочастотными, автономными и приставками. Все они в той или иной степени могут быть использованы для приема стереофонических сигналов. Наряду с индивидуальными, выпускают групповые устройства, служащие для подачи сигналов вещательных программ группе абонентов (рис. 8.1,*б*). В групповых (коллективных) приемных устройствах имеются два независимых приемно-усилительных тракта, каждый из которых содержит полосовой фильтр, настроен-

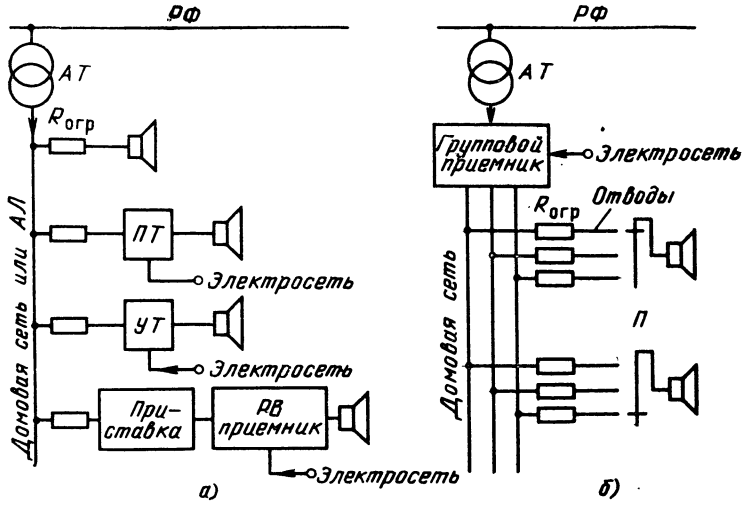


Рис. 8.1. Варианты построения системы ТПВ с индивидуальными (*а*) и групповыми (*б*) приемными устройствами

ный на II или III частотный канал ТПВ, УВЧ, детектор и УЗЧ. По низкочастотному каналу устройство является пассивным. Сигналы всех трех программ распределяются по абонентским устройствам с помощью трехпарной домовой сети. Групповые устройства применяют в административных и общественных зданиях, гостиницах, общежитиях, больницах.

8.2. ПАРАМЕТРЫ ПРИЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

Основными параметрами приемных устройств ТПВ являются чувствительность, полоса пропускания при заданной неравномерности АЧХ, коэффициент гармоник, уровень помех.

Чувствительность индивидуальных приемных устройств для их упрощения и удешевления в соответствии с ГОСТ 18286—82 выбрана небольшой: 0,25 В. Для групповых приемных устройств, где вопросы стоимости не играют определяющей роли, было признано необходимым установить более высокую чувствительность — 0,1 В.

В системе ТПВ для уменьшения переходной помехи от низкочастотного канала на высокочастотные применяют режим регулирования напряжения несущей. По мере уменьшения модулирующего напряжения убывает напряжение несущей. В паузе оно минимально. Исследования показали, что напряжение переходной помехи пропорционально напряжению несущей. В паузе напряжение несущей составляет 0,1 номинального. Напряжение переходной помехи уменьшается в 10 раз, а ее уровень соответственно на 20 дБ.

Применение в передающих устройствах ТПВ автоматического регулирования напряжения несущей предъявляет дополнительные требования к выбору напряжения сигнала на входе детектора приемного устройства. Для получения небольших нелинейных искажений при нерегулируемом напряжении несущей к детектору достаточно подводить напряжение высокой частоты примерно 0,5 ... 0,8 В. Соответствующий режим детектирования иллюстрируется рис. 8.2. В режиме регулирования несущей при уменьшении модулирующего напряжения звуковой частоты снижается и напряжение несущей U_0 (рис. 8.2,*б*), и детектирование начинает происходить на начальном, нелинейном участке вольт-амперной характеристики диода. Это приведет к увеличению нелинейных искажений огибающей и, кроме того, к изменению первоначального соотношения напряжения сигнала звуковой частоты, т. е. к изменению исходного динамического диапазона. Чтобы исключить эти явления, максимальное напряжение несущей частоты на входе детектора приемного устройства ТПВ нужно увеличить до 1,5 ... ... 2,0 В. Следует отметить, что вопросы детектирования сигналов с меняющимся напряжением несущей частоты довольно сложны, и здесь дается лишь их упрощенное, приближенное описание.

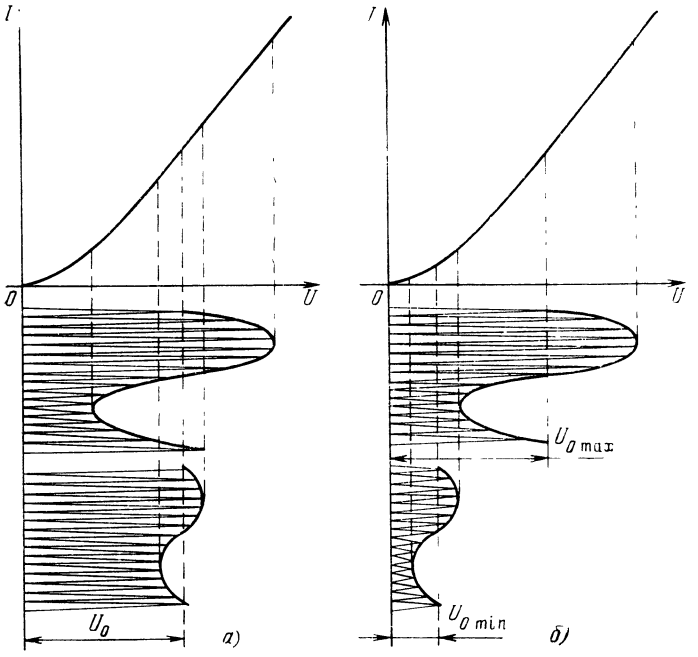


Рис. 8.2. Детектирование амплитудно-модулированных сигналов при постоянном (*а*) и переменном (*б*) напряжении несущей

Для уменьшения уровня переходной помехи прибегают и к частотным предыскажениям в высокочастотных каналах. Они заключаются в относительном увеличении уровня верхнечастотных составляющих спектра модулирующего сигнала. Это приводит к некоторым особенностям нормирования АЧХ приемных устройств.

Начиная с 4 кГц, усиление модулятора передатчика возрастает. Подъем АЧХ модулятора на частоте 6 кГц достигает 3—4 дБ (коэффициент усиления возрастает в 1,4—1,5 раза). В результате увеличивается коэффициент модуляции, следовательно, уменьшается влияние переходной помехи от первого (низкочастотного) канала ТПВ.

Возникающие частотные искажения устраняются в приемном устройстве. Роль восстанавливающего контура играет избирательная система приемника — его входной фильтр. Спад кривой избирательности на краях полосы пропускания фильтра компенсирует подъем высокочастотных составляющих спектра модулирующих частот, созданный в модуляторе передатчика.

К сожалению, наряду с полезным результатом — увеличением отношения С/П — возникают и вредные последствия. Чрезмерное увеличение коэффициента модуляции на высших частотах влечет за собой возрастание нелинейных искажений. Продукты нелинейности — разностные комбинационные частоты — попадают в область максимальной чувствительности слуха и потому очень заметны. В литературе эти искажения названы шпук-эффектом или эс-искажениями, поскольку они наиболее заметны на свистящих и шипящих звуках, например на звуке «с».

Ширина полосы пропускания массовых индивидуальных приемных устройств была ограничена по следующим причинам:

1) уменьшаются нелинейные искажения, возникающие при детектировании амплитудно-модулированных сигналов, амплитуды боковых полос спектра которых не равны из-за зависимости коэффициента передачи сети от частоты;

2) улучшается отношение сигнал-внятная переходная помеха от низкочастотного канала;

3) менее заметна помеха, обусловленная процессом регулирования напряжения несущей;

4) несколько уменьшается стоимость устройства.

Важным параметром приемных устройств ТПВ служит их входное сопротивление. Чтобы входное сопротивление индивидуальных приемных устройств ТПВ не создавало большой нагрузки для сети, оно должно быть достаточно велико и составлять несколько килоомов. Число групповых приемных устройств на сети значительно меньше, поэтому возможно уменьшить входное сопротивление до 400 Ом. Это благоприятно сказывается на приемном устройстве, так как уменьшает нестабильность амплитудно-частотной характеристики затухания входного фильтра в условиях изменения сопротивления между точками линии, к которым групповое устройство подключено.

По ГОСТ 18286—82 различают трехпрограммные приемники ПТ, являющиеся законченными радиоэлектронными устройствами с громговорителем на выходе, и устройства трехпрограммного проводного вещания УТ, у которых нет громкоговорителя, а принимаемая программа воспроизводится звуковоспроизводящей аппаратурой, не входящей в состав устройства. При приеме по первому (низкочастотному) каналу предусмотрены два режима: активный или основной (с усилением) и пассивный — дополнительный (без усиления). Параметры ПТ и УТ различаются в зависимости от группы сложности:

	Норма по группам сложности		
	1	2	3
Диапазон воспроизводимых частот, Гц, не уже:			
по ВЧ каналам . .	63 ... 10000	100 ... 6300	160 ... 6300

по НЧ каналу . .	63 ... 10000	63 ... 10000	160 ... 6300
Модуль входного полного электрического сопротивления в полосе частот 50 ... 10000 Гц при номинальном напряжении сети 30(15) В, кОм, не менее:			
по ВЧ каналам и основному НЧ каналу .	10(2,5)	10(2,5)	10(2,5)
по дополнительному НЧ каналу	4,8(1,2)	4,8(1,2)	4,8(1,2)
Модуль входного полного электрического сопротивления в полосах частот 68 ... ... 88 и 110 ... 130 кГц при напряжении 3 В, кОм, не менее:			
по ВЧ каналам . .	3,6	3,6	3,6
по НЧ каналам . .	4,5	4,5	4,5
Взаимная защищенность между ВЧ каналами, дБ, не менее, при модулирующей частоте 1 кГц . . .	60	53	53
Помехозащищенность ВЧ каналов от входных НЧ сигналов, дБ, на частоте 1 кГц, не менее . . .	60	53	53
Помехозащищенность ВЧ каналов от сигналов радиостанций, дБ, не менее .	53	53	53
Коэффициент гармоник по напряжению, %, не более	2	3	3
Коэффициент гармоник по звуковому давлению, %, не более,			
в полосе 100 ... 200 Гц:			
по ВЧ каналам . .	9	—	—
по НЧ каналу . .	7	7	7
в полосе 200 ... 400 Гц:			
по ВЧ каналам . .	6	7	9
по основному НЧ каналу	5	5	5
по дополнительному НЧ каналу	4	4	5
на частотах свыше 400 Гц:			
по ВЧ каналам . .	5	6	7
по основному НЧ каналу	4	4	4
по дополнительному НЧ каналу	3	3	3
Отношение сигнал-фон по ВЧ каналам и основному НЧ каналу, дБ, не менее	50	45	40
Отношение сигнал-шум по ВЧ каналам и основному НЧ каналу, дБ, не менее .	60	57	50

Параметрами первого класса качества по всем каналам обладают лишь устройства первой группы сложности.

Групповые приемные устройства обладают следующими основными параметрами качества:

Диапазон частот, кГц	0,1 ... 6,3
Коэффициент гармоник, %, на частотах, Гц:	
100 ... 200	6
свыше 200	3,6
Модуль входного электрического сопротивления по высокочастотным каналам, кОм	0,4
Уровень шума и фона, дБ, не более	—55
Переходное затухание между высокочастотными каналами и помехозащищенность высокочастотных каналов от низкочастотного на частоте 1000 Гц, дБ, не менее	60

Приемные устройства должны иметь симметричный вход. Асимметрия входа вызовет увеличение паразитного излучения сети ПВ и может явиться причиной короткого замыкания АЛ или домовой сети.

Параметры качества приемных устройств низкочастотных систем МПВ зависят практически только от параметров примененных громкоговорителей и могут быть доведены до норм первого и высшего классов качества. Параметры качества высокочастотных систем МПВ, например системы вещания по телефонным сетям МПВ-Т, также соответствуют нормам первого и даже высшего класса качества. Из этих соображений и выбирают параметры приемных устройств. Поскольку помехи в кабельных телефонных сетях малы, вещательные сигналы передают небольшим напряжением, и чувствительность приемных устройств составляет десятки милливольт. Например в системе МПВ-Т фирмы Siemens она равна 10 мВ.

8.3. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА НИЗКОЧАСТОТНЫХ СИСТЕМ МПВ

В низкочастотных системах МПВ в качестве распределительной сети используют многопарные кабели с симметричными парами. Вещательные сигналы подают сравнительно большим напряжением (30 В), достаточным для действия громкоговорителей, поэтому каждое приемное устройство включает в себя только громкоговоритель Гр и переключатель программ. П. Такая система проста, надежна, удобна в эксплуатации. Для уменьшения числа пар наряду с физическими цепями используют и искусственные (фантомные — от французского слова fantome, что в переводе означает «призрак»). В показанной на рис. 8.3 схеме для организации каналов I и II используют физические цепи 1 и 2, для организации канала III — искусственную (фантомную) цепь. Для ее образования применяют трансформаторы Тр или дроссели с выводом от средней точки обмотки. Для упрощения и удешевле-

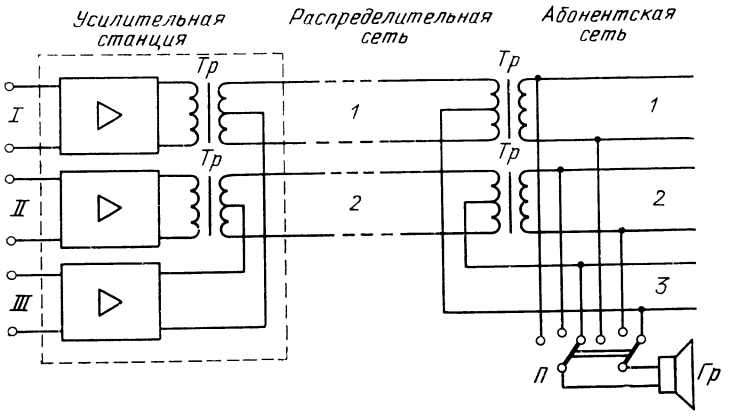


Рис. 8.3. Включение приемного устройства в низкочастотную систему МПВ с фантомным каналом

ния приемных устройств трансформаторы, пердназначенные для образования искусственной цепи, стоят в конце распределительной сети, а абонентская сеть построена на кабеле, в котором число пар жил равно числу каналов МПВ.

Параметры физической и искусственной цепи различны. Активное сопротивление километра искусственной цепи примерно в 2 раза меньше сопротивления проводов, используемых физических цепей, индуктивность примерно в 3 раза меньше, а емкость искусственной цепи в 3 раза больше емкости между проводами используемых физических цепей. В результате АЧХ искусственной цепи хуже, чем физической. Возрастание емкости искусственной цепи может повлечь за собой перегрузку усилителей усилительной станции УС на высших частотах. Для сближения параметров физической и искусственной цепей напряжение в начале искусственной цепи уменьшают в 2 раза. Чтобы сохранить неизменным напряжение на громкоговорителях, коэффициент трансформации понижающих трансформаторов приемных устройств соответственно увеличивают в 2 раза. В результате облегчаются условия работы усилителей УС и улучшается АЧХ искусственной цепи. поскольку цепь теперь нагружается на меньшее сопротивление. Построение сети и приемных устройств при этом варианте низкочастотной системы МПВ видно из рис. 8.4. Коэффициент трансформации трансформатора Тр3 в 2 раза меньше коэффициента трансформации трансформаторов Тр1 и Тр2. Приемные устройства содержат дроссели Др, переключатели программ П, регулятор громкости РГ, понижающий трансформатор Тр и громкоговоритель Гр. Дроссели служат для перехода от искусственной цепи к физической. При приеме сигналов по каналам I и II нап-

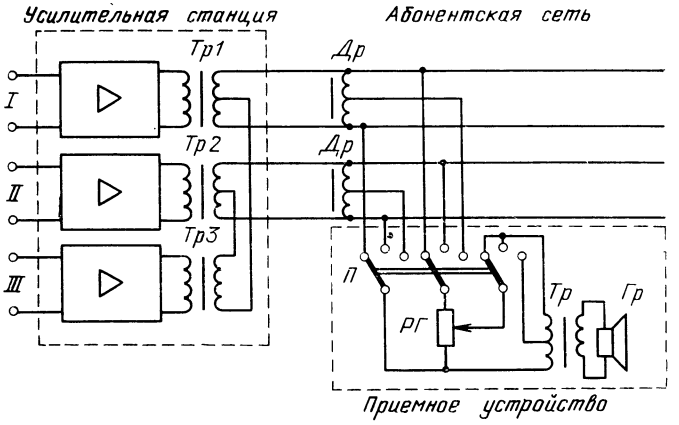


Рис. 8.4. Включение приемного устройства в низкочастотную систему МПВ с фантомным каналом (вариант)

ряжение подается на всю первичную обмотку Тр, при приеме по каналу III к регулятору громкости подключают половину первичной обмотки.

Следует отметить, что использование искусственных цепей, наряду с преимуществами, имеет и существенный недостаток: при нарушении симметрии физических цепей в них возникнет помеха от искусственной цепи.

Все низкочастотные приемные устройства МПВ могут быть использованы для приема программ стереофонического проводного вещания СПВ в системах с независимыми каналами и с двойным суммарно-разностным преобразованием сигналов. В обоих случаях приемное устройство переключают на те два канала МПВ, по которым передают стереопрограмму. Во втором случае в приемное устройство дополнительно вводят суммарно-разностный преобразователь.

8.4. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ВЕЩАНИЯ ПО ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ

В коммутационных (низкочастотных) системах вещания по телефонной сети в качестве приемных устройств были использованы усилители звуковых частот с громкоговорителями. Желаемую программу выбирали с помощью телефонного номеронабирателя. В высокочастотных системах для приема используют радиовещательные приемники, имеющие диапазон километровых (длинных) волн, или специальные приемные устройства. Последние обладают лучшими параметрами качества, прежде всего, более широкой полосой пропускания.

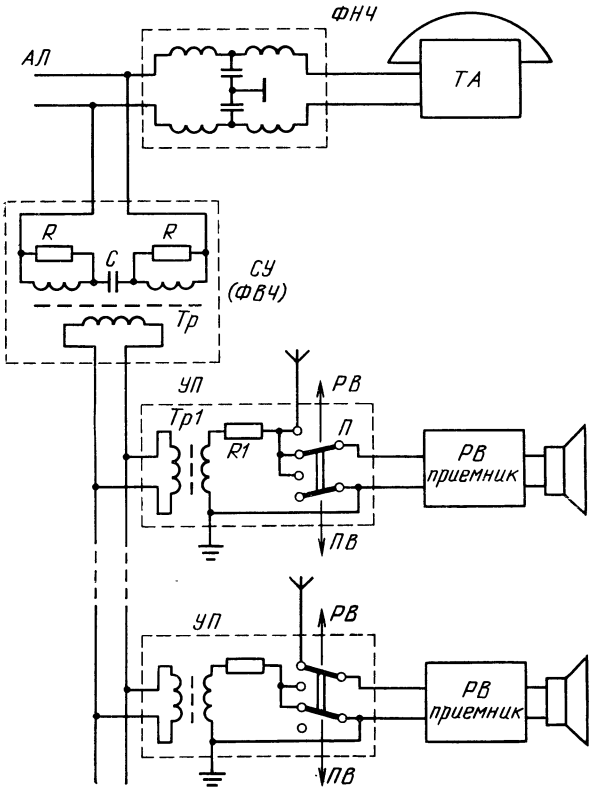


Рис. 8.5. Включение радиовещательных приемников в сеть системы МПВ-Т

Каждое приемное устройство подключают к телефонной абонентской линии АЛ через устройство подключения УП (рис. 8.5). Последнее содержит высокочастотный широкополосный трансформатор Тр1, резистор R1 и переключатель рода работы П «Радиовещание-проводное вещание». Трансформатор служит для того, чтобы подключение неуравновешенного (несимметричного) входа приемного устройства не нарушило симметрию АЛ. С помощью переключателя рода работы П «Радиовещание-проводное вещание» (РВ-ПВ) переходят от радиоприема к приему сигналов по проводной сети.

Если к АЛ подключают не одно, а несколько приемных устройств, то в схему вводят согласующее устройство СУ, содержащее согласующий понижающий трансформатор Тр. Резисторы *R* служат для расширения полосы пропускания. Согласующий трансформатор совместно с конденсатором *C* выполняет функцию

фильтра верхних частот ФВЧ. Конденсатор *С* служит для того, чтобы первичная обмотка трансформатора не замкнула АЛ по постоянному току. Для приема стереофонической программы необходимо использовать два приемных устройства, переключенные на те каналы системы МПВ-Т, по которым передают стереофоническую программу.

В Швейцарии были разработаны и выпущены приемные устройства «Бьенофоне» первого и высшего класса качества. На входе приемного устройства применена избирательная система, состоящая из двух звеньев полосового фильтра со связанными звеньями и одиночного контура. Настройку на частоты выбранных каналов осуществляют переключением числа витков четырех индуктивностей. Ширина полосы пропускания избирательных систем — 20 или 30 кГц (в зависимости от класса приемного устройства). Переходное затухание между каналами — более 60 дБ. На входе УЗЧ имеются регуляторы тембра по нижним и верхним частотам и тонкомпенсированный регулятор громкости. К выходу УЗЧ можно подключить дополнительный громкоговоритель или головные телефоны, а ко входу — граммофонный звукосниматель.

Для итальянской системы МПВ-Т фирма Haltel ELA выпускает шестиканальные приемные приставки, подключаемые ко входу «Звукосниматель» радиовещательных приемников, с помощью которых осуществляют выбор частотного канала и детектирование, и приемники проводного вещания, в частности ELA 43-31 и ELA 43-31A. По ширине полосы воспроизводимых частот и другим параметрам они занимают промежуточное положение между первым и высшим классами качества. В полосе частот 60 ... 12 000 Гц неравномерность АЧХ ±3 дБ; уровень шумов —60 дБ; коэффициент гармоник 2%; чувствительность 10 мВ; максимальная выходная мощность приемников 1 ... 2,5 Вт.

Выпускаются стереофонические модификации названных приемных приставок и приемников, содержащие два приемно-усилительных тракта и суммарно-разностный преобразователь. Основные параметры приставок ELA 43-06 и ELA 43-29 следующие:

	ELA 43-06	ELA 43-29
Чувствительность, мВ	10	1
Входное сопротивление, Ом	550 ... 800	550 ... 800
Ширина полосы пропускания, Гц	60 ... 12000	20 ... 15000
Неравномерность АЧХ, дБ	±3	±1,5
Коэффициент гармоник, %	2	0,7
Относительный уровень помех, дБ	—50	—50
Избирательность по соседнему каналу, дБ	—45	—70
Переходное затухание между стереоканалами на частоте 1000 Гц, дБ, не менее	20	30
Выходное напряжение, мВ	100	50 или 500
Потребляемая мощность, Вт	7	—

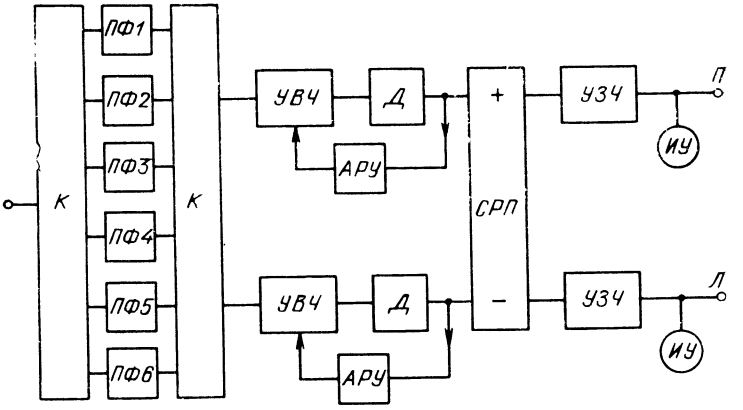


Рис. 8.6. Структурная схема стереофонического приемного устройства системы МПВ-Т

Структурная схема приставки ELA 43-29 показана на рис. 8.6. Она содержит шесть полосовых фильтров ПФ1 ... ПФ6, коммутируемых с помощью коммутатора К в зависимости от режима действия («моно» или «стерео») на один или два приемно-усилительных тракта, содержащих УВЧ, детектор Д и УЗЧ. При приеме стереосигналов между выходами детекторов и входами УЗЧ включается суммарно-разностный преобразователь СРП. К выходам приемно-усилительных трактов подключены измерители средних значений уровня ИУ (VU-метры), с помощью которых проверяют правильность установки коэффициентов передачи стереофонических каналов перед началом сеанса стереовещания.

Приемные устройства снабжены системой АРУ, которая уменьшает перепады выходного напряжения, вызванные различным затуханием абонентских линий разной длины. При нарастании входного напряжения с 5 до 50 мВ (в 10 раз), иначе говоря, при изменении входного уровня на 20 дБ выходное напряжение изменяется всего на 35%, а выходной уровень на 2,6 дБ. Приемные устройства снабжены световыми индикаторами включения питания и номера частотного канала, по которому ведется прием программ. Средние частоты канальных полосовых фильтров 178, 211, 244, 277, 310, 343 кГц.

Приставки подсоединяют к любому бытовому стереофоническому устройству, снабженному оконечными усилителями.

Конструкторскими организациями и предприятиями отрасли связи были разработаны и внедрены в производство аналогичные приемные устройства для отечественных сетей МПВ-Т.

8.5. ПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКОГО ВЕЩАНИЯ ПО СЕТЯМ ТПВ

Научно-исследовательские и конструкторские организации Министерства связи страны разработали, а промышленные предприятия широко выпускают различные приемные устройства ТПВ. Вполне естественна мысль использовать их для приема и воспроизведения стереофонических программ. Так, например, было сделано при внедрении системы СПВ, разработанной НИИР, в Риге.

Типовая структурная схема приемника ТПВ (рис. 8.7) содержит переключатель программ П, два переключаемых полосовых фильтра ПФ78 и ПФ120, УВЧ, детектор Д, УЗЧ, громкоговоритель Гр и блок питания БП (выпрямитель). На входе приемного устройства имеются установочные регуляторы УР. Они нужны, чтобы уравнять примерно громкости по всем трем каналам при переключении программ и предотвратить чрезмерные нелинейные искажения в детекторе из-за превышения номинального напряжения на входе. В положении переключателя программ 1 сигнал звуковой частоты через регулятор громкости РГ и выходной трансформатор, не показанный на структурной схеме, поступает на громкоговоритель. В положении переключателя программ 2 или 3 ко входным зажимам подключается через установочный регулятор УР полосовой фильтр ПФ канала II или III, УВЧ, детектор и УЗЧ.

Пассивный режим действия приемного устройства по каналу I не позволяет в некоторых случаях получить достаточную громкость воспроизведения, поэтому в дальнейших разработках имеющийся УЗЧ был использован и для усиления сигналов, передаваемых по каналу I (рис. 8.8). Пассивный или активный режим действия устанавливается с помощью переключателя П2. Делитель напряжения Дел нужен для того, чтобы уменьшить напряжение сигнала, поступающее по первому каналу, до величины, соизмеримой с напряжением, получающимся на выходе детектора. С помощью переключателя П2 громкоговоритель можно подключить к сети ПВ непосредственно. Это дает возможность слушать программу, передаваемую по каналу I даже при аварии

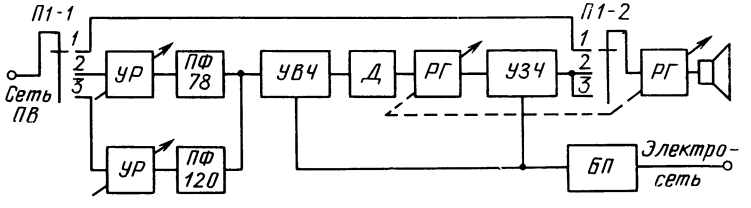


Рис. 8.7. Структурная схема приемного устройства системы ТПВ

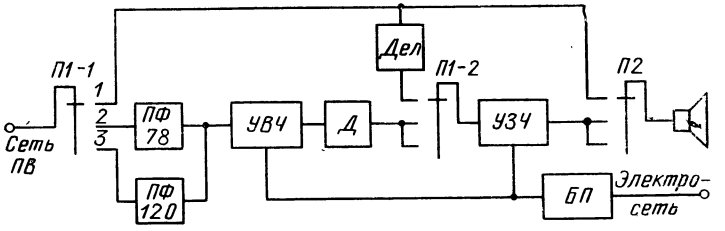


Рис. 8.8. Структурная схема приемного устройства системы ТПВ (вариант с активным режимом в низкочастотном канале)

электросети, питающей жилые дома, правда, с уменьшенной громкостью.

Применение режима усиления сигнала в низкочастотном канале I (активного режима) позволяет уменьшить переходную помеху от низкочастотного канала I на высокочастотные II и III. При прочих равных условиях отношение сигнал-помеха

$$С/П = mA/I^2_{зв}, \qquad (8.1)$$

где A — постоянный коэффициент; m — коэффициент модуляции; $I_{зв}$ — ток в канале звуковой частоты.

При уменьшении тока в n раз отношение С/П уменьшится в n^2 раз. Например, если уменьшить $I_{зв}$ в 10 раз, отношение С/П возрастает в 100 раз или на 40 дБ. Чтобы уменьшить $I_{зв}$, нужно увеличить входное сопротивление приемного устройства по каналу I. Этого достигают применением в приемном устройстве усиления по каналу I. Запас усиления по этому каналу позволяет существенно улучшить качество звучания путем применения частотной коррекции и увеличения громкости.

Идея усиления сигналов в низкочастотном канале I реализована в приемнике «Маяк-202» (рис. 8.9) и его последующих модификациях. Переключение каналов, включение и выключение приемника производится кнопочными переключателями 1, 2, 3 и «Вкл». При усилении по каналу I вход приемника соединяется со входом УЗЧ через понижающий трансформатор Тр1. Для установки чувствительности служат регуляторы R2, R5, R6.

Для более полной реализации параметров качества, заложенных в систему ТПВ, в НИИР были разработаны трехпрограммные приемные устройства первого класса качества. Структура приемного устройства, разработанная Д. В. Степановым, показана на рис. 8.10. Устройство содержит входной блок ВБ, высокочастотные канальные блоки усиления и детектирования сигналов каналов II и III, переключатель каналов П, усилитель звуковой частоты УЗЧ, громкоговоритель Гр и блок питания БП. Во входном блоке имеются фильтры сосредоточенной селекции ФСС II и III

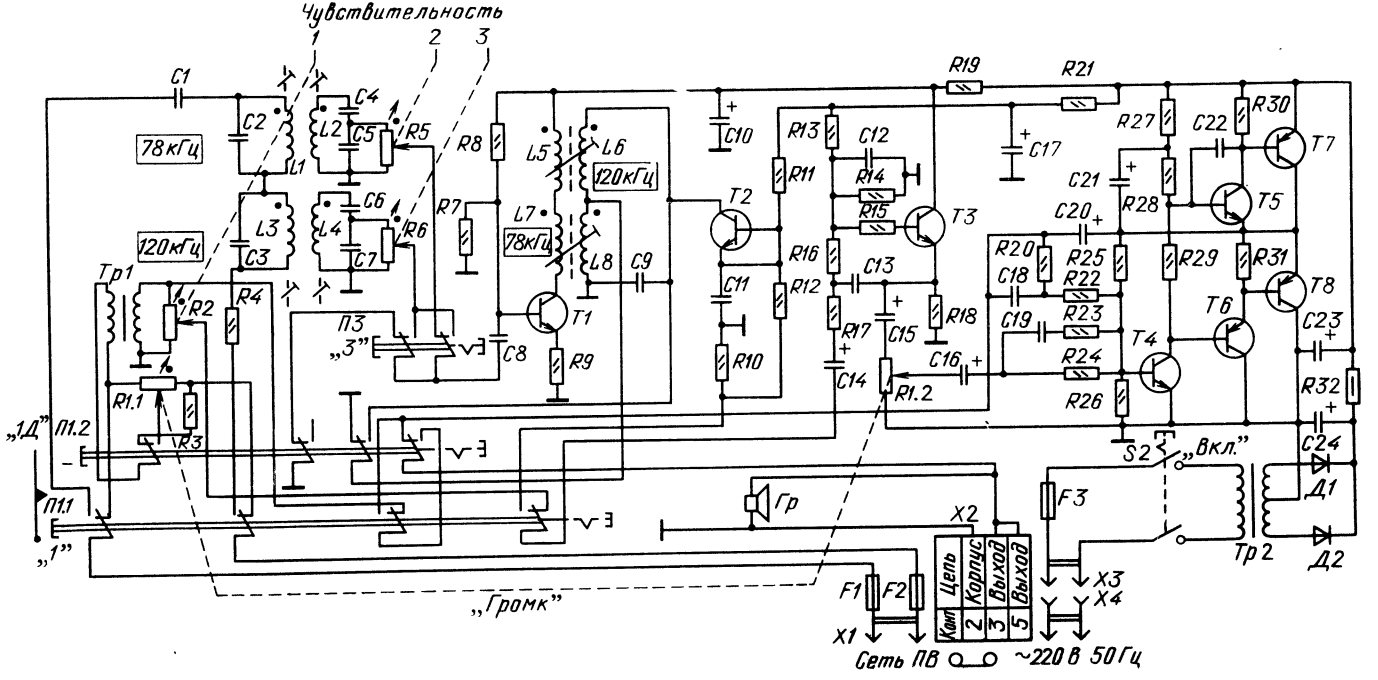


Рис. 8.9. Принципиальная схема приемника ТПВ «Маяк-202»

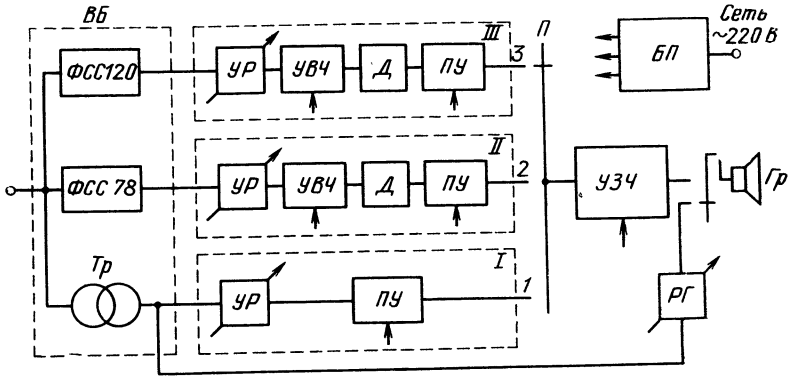


Рис. 8.10. Структурная схема приемника ТПВ первого класса качества

каналов ТПВ, понижающий трансформатор Тр и регулятор громкости РГ канала I. Высокочастотные блоки ВЧ апериодические. Каждый содержит УВЧ, детектор и предварительный усилитель ПУ. Низкочастотный блок НЧ содержит лишь ПУ. В качестве громкоговорителя используется двухполосная малогабаритная акустическая система, что позволило реализовать параметры первого класса не только по электрическим трактам, но и по звуковому давлению.

В условиях опытной эксплуатации систем СПВ, в первую очередь, нашли применение серийно выпускаемые одно- и трехпрограммные монофонические приемные устройства. При этом получалось приемлемое с позиций слушателей качество стереовоспроизведения. Подобное решение в период апробации научно-технических решений было простым, экономически целесообразным и позволило с минимальными затратами внедрить системы СПВ в опытную эксплуатацию и привлечь к ним внимание абонентов сетей проводного вещания.

Очевидно, что лучшее стереовоспроизведение можно получить с помощью специализированных приемных устройств. Они разработаны в научно-исследовательском отделе ВЗЭИС и испытаны в лабораторных и эксплуатационных условиях [3, 32]. Предварительно были исследованы акустические свойства жилых комнат и КПД громкоговорителей с целью определения выходной мощности УЗЧ.

Структурная схема стереофонического приемного устройства изображена на рис. 8.11. Оно содержит два УВЧ, фильтры которых настроены на полосы пропускания II и III каналов ТПВ, детекторы Д, переключатель каналов П и выключатель «Моно-Стерео» В. Когда последний замкнут, входы обоих УЗЧ, соединены, и устройство действует как монофоническое. На входы УЗЧ в этом

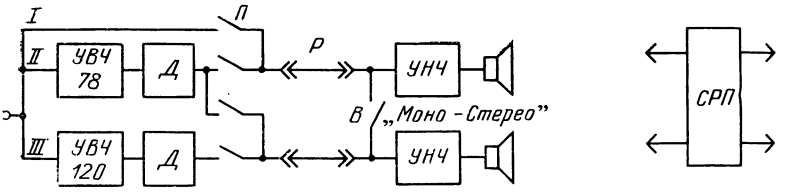


Рис. 8.11. Структурная схема стереофонического приемного устройства ТПВ

случае подают напряжение любого канала ТПВ. При разомкнутом выключателе УЗЧ действуют независимо. На их входы подают напряжения каналов I и II (в системе с использованием эффекта предварения) или каналов II и III (в системе с независимыми каналами). В разъем Р в обоих случаях вставлена колодка с перемычками. Если в разъем вставить колодку с СРП, можно принимать сигналы в системе с двойным суммарно-разностным преобразованием. Равенства входных напряжений при передаче сигнала настройки стереоустройств достигают вращением рукояток установочных регуляторов, желаемую громкость воспроизведения — сдвоенными регуляторами. Принципиальная схема не приводится, так как она практически совпадает со схемой монофонического приемного устройства ТПВ. Ее переработка заключалась в установке на плату транзистора второго УВЧ, добавлении второго детектора и второго УЗЧ, а также в некотором изменении коммутации цепей. Внешний вид устройства показан на рис. 8.12.

Был разработан вариант стереофонического приемного устройства, в каждом канале которого использовано по две интегральных схемы: одна — УВЧ и детектор, вторая — УЗЧ.

Создано стереофоническое приемное устройство с полосой пропускания 0,05 ... 10 кГц. Целесообразность такой модификации основывается на том, что промышленность выпускает передающие устройства с такой полосой пропускания. Приемное устройство выполнено в виде приемно-усилительного блока с УЗЧ мощностью 2,5 ... 3 Вт. К нему подключаются акустические системы с входным сопротивлением 8 ... 10 Ом. Для улучшения потребительских свойств в устройство введены регуляторы тембра по нижним и верхним частотам. Неравномерность АЧХ в полосе частот 0,05 ... 10 кГц составляет ±3 дБ; коэффициент гармоник на частоте 1 кГц — 2%; уровень собственных помех —60 дБ; переходное затухание на частоте 1 кГц 26 дБ. Внешний вид этого приемного устройства, созданного Н. В. Балицким, показан на рис. 8.13.

Был также разработан вариант приемного устройства с системой АРУ, которая дает возможность компенсировать колебания напряжения сигнала, происходящие из-за изменения затухания

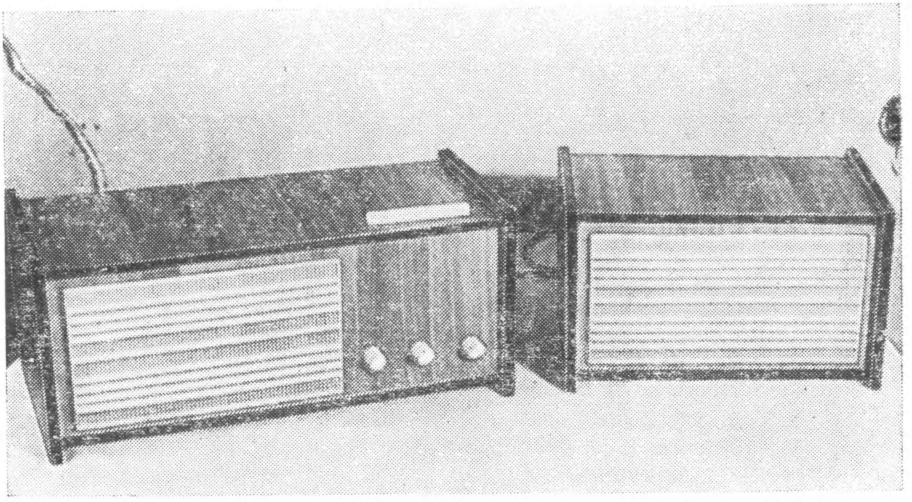


Рис. 8.12. Приемное устройство стереофонического проводного вещания второго класса качества

сети ПВ. В связи с особенностями регулирования напряжения несущей в передающих устройствах требования к системе АРУ, в частности к ее временным параметрам, отличаются от принятых в радиовещательных приемниках.

Широкое распространение получили бытовые стереофонические электрофоны, магнитофоны и усилительно-коммутационные устройства УКУ. Их можно приспособить для воспроизведения программ проводного вещания, в том числе стереофонических. Структурные схемы разработанных приставок отличаются от схемы рис. 8.11, главным образом, отсутствием оконечных мощных усилителей. Ввиду небольшого потребления энергии приставку можно питать от выпрямителя устройств, к которым ее подключают, или даже от встроенной в нее гальванической батареи. Благодаря ее простоте, область применения приставки довольно широка. Помимо основного назначения, ее можно использовать для воспроизведения через усилители и громкоговорители электрофона или магнитофона всех трех монофонических программ ПВ, что существенно улучшает качество воспроизведения, для записи вещательных программ на бытовые магнитофоны. Приставку, укомплектованную стереофоническими головными телефонами, можно использовать как самостоятельное стереофоническое устройство. Воспроизведение программ с помощью головных телефонов исключает воздействие неудачной акустики небольших жилых комнат и позволяет слушать вещательные программы, не мешая окру-

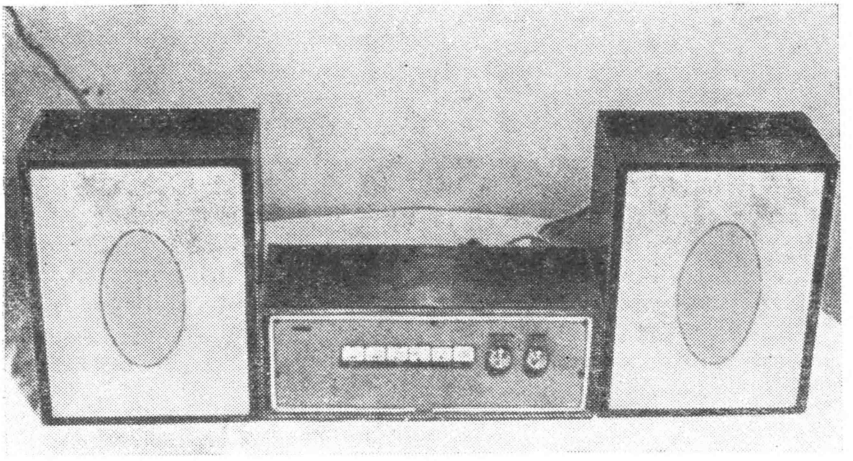


Рис. 8.13. Приемное устройство стереофонического проводного вещания первого класса качества

жающим. Пассивный вариант приставки был разработан в Нижегородском ГРТУ В. С. Неонета.

Возможности двухканальной стереофонии ограничены. Недостаточно полно передается акустическая обстановка первичного помещения, откуда ведется передача. Лучшие результаты дают четырехканальные (квадрофонические) системы. Однако их приемные устройства довольно дороги. Принципиально возможно реализовать некоторые квадрофонические системы на сетях ТПВ, однако это требует серьезной переделки передающего оборудования и, главное, сильно удорожает приемные устройства. Более реально применять матричные системы, например систему АВС, разработанную в ЛЭИС Ю. В. Берендюковым под руководством Ю. А. Ковалгина [4, 20], или псевдоквадрофоническую. В системе с двойным суммарно-разностным преобразованием сигналов заложена возможность псевдоквадрофонического воспроизведения. Авторами книги было разработано и испытано приемное устройство такого рода (рис. 8.14). В него входят уже известные читателю блоки. Переключение каналов осуществляется коммутатором К. Имеется суммарно-разностный преобразователь СРП. На передние (фронтальные) громкоговорители подаются сигналы Л и П, на задние (тыльные) разностные сигналы Л—П и П—Л, фазы которых различаются на 180°. Расположение громкоговорителей в комнате слушателя зависит от способа формирования стереофонического сигнала, формы диаграммы направленности громкоговорителей и акустических свойств комнаты и довольно критич-

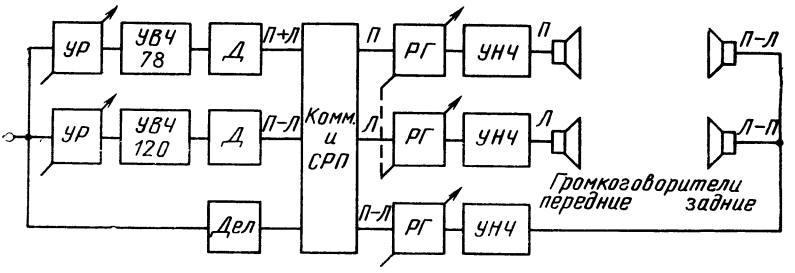


Рис. 8.14. Структурная схема приемного устройства для получения псевдоквадрофонического воспроизведения

но. Пример расположения громкоговорителей показан на рис. 8.15. Субъективно-статистические испытания такого приемного устройства показали, что слушатели отдают некоторое предпочтение ему по сравнению с устройством для двухканального воспроизведения. Стоимость такого устройства возрастает несколько больше чем на одну треть по сравнению с двухканальным.

Анализ современной техники радиоприема позволяет сделать некоторый прогноз в отношении дальнейшего конструирования приемных устройств СПВ и их параметров качества. Возможно построить приемное устройство, практически не вносящее нелинейных искажений ($K_г < 0{,}5\%$) и обеспечивающее переходное затухание между каналами и защищенность от влияния низкочастотного канала порядка 60 ... 70 дБ. Для этого необходимо использовать технику синхронного детектирования.

Для повышения надежности всех приемных устройств ТПВ, в том числе стереофонических, целесообразно выпускать специализированную интегральную схему, выполняющую функции УВЧ, детектора УЗЧ, а возможно, и выпрямители. Необходимо обратить внимание на разработку детекторов, нечувствительных к изменению напряжения несущей и не вносящих заметных переходных искажений. Желатель-

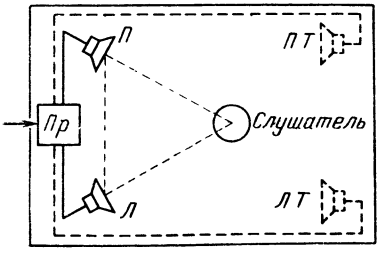


Рис. 8.15. Расположение акустических систем псевдоквадрофонического приемного устройства

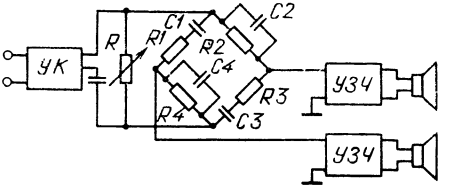


Рис. 8.16. Структурная схема приемного устройства для получения эффекта объемного звучания

но организовать выпуск приставок к бытовым звуковоспроизводящим устройствам.

8.6. УСТРОЙСТВА ОБЪЕМНОГО ЗВУЧАНИЯ

Интересный способ обогащения монофонического звучания и придания ему эффекта объемности разработан в Научно-исследовательском радиофизическом институте под руководством В. А. Зверева [35]. Для создания эффекта объемного звучания из исходного монофонического сигнала с помощью фазосдвигающих цепей, например с помощью схемы, изображенной на рис. 8.16, образуют два практически некогерентных сигнала при полной корреляции их интенсивностей. Сигнал от монофонического источника подводят к усилительному каскаду УК с разделенными нагрузками. Два получающиеся напряжения подают на фазосдвигающую цепь, выполненную по схеме моста. Со второй диагонали моста сигналы через два УЗЧ подают на громкоговорители. Элементы схемы моста подобраны таким образом, что в диапазоне частот 20 ... 4000 Гц создается сдвиг фаз 90° с погрешностью, не превышающей 10°. Резистором R регулируют эффект объемности.

Характер звучания преобразованного таким образом сигнала существенно меняется. Создается удивительно сильный эффект: звучит как бы все пространство перед слушателем. При этом особенно обогащается оркестровое звучание. Разумеется, никаких локализационных эффектов, свойственных стереофонии, не возникает.

Выпущено несколько устройств, создающих эффект объемного звучания. Устройство «Иллюзия» предназначено для прослушивания монофонических программ, в частности программ ПВ, через бытовые стереофонические установки. Устройство «Риф» является самостоятельным аппаратом, а не приставкой, поскольку содержит оконечные (мощные) усилители и выносные громкоговорители. Оно может быть подключено к сети ПВ. Серийно выпускаются приемные устройства ПВ, содержащие блок объемного звучания. Примером такого устройства служит ТГ «Союз-201». Он состоит из электронного блока и двух выносных громкоговорителей. Привлекательность этой системы обогащения звучания заключается в том, что не требуется никакого дооборудования станций ПВ. Дополнительные расходы несут только слушатели. Следует однако заметить, что приемные устройства объемного звучания, дающие по сравнению со стереофоническими устройствами ограниченный эффект, не проще и не дешевле последних, так как также содержат два усилительных канала и два громкоговорителя.

9. Цифровое стереофоническое вещание

9.1. ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ И УСТРОЙСТВ

Цифровые системы и устройства вещания обладают рядом существенных преимуществ и достоинств по сравнению с аналоговыми. К ним относятся:

1. Более широкие возможности формирования и преобразования вещательных сигналов при решении художественных задач.

2. Лучшие параметры качества: малые частотные, фазовые и нелинейные искажения, большая защищенность от помех.

3. Меньшее влияние нестабильности параметров каналов и трактов.

4. Сравнительно небольшое накопление искажений при многократном переприеме (ретрансляции) или перезаписи, практически полная независимость параметров качества от длины линии связи и числа пунктов переприема (ретрансляций).

5. Принципиальная возможность получения высоких технико-экономических показателей.

Применение цифровых способов формирования сигналов программ вещания позволяет получать разнообразные звуковые эффекты, не всегда достигаемые аналоговыми способами. Особенно эффективны цифровые способы при преобразовании сигналов во временно́й области. Более просто, чем аналоговыми способами, решается задача задержки сигналов во времени. На этой основе создаются реверберационные эффекты, в том числе даже в домашних (бытовых) установках. Можно изменять длительность звучания, не изменяя высоты тона, или, наоборот, транспонировать звучание, т. е. изменять высоту тона, не меняя длительности звучания.

Цифровыми способами преобразования сигнала можно получить эффекты, вовсе недостижимые с помощью аналоговых способов, например эффект унисонного звучания («эффекта хора») при исполнении музыкального произведения одним музыкантом (певцом). Цифровые способы оказываются плодотворными при восстановлении (реставрации) старых звукозаписей, сделанных на несовершенных звукозаписывающих аппаратах, уменьшении шумов записи и паразитных эхо-сигналов, обусловленных копир-эффектом, уменьшении искажений вещательных сигналов, особенно стереофонических, вызванных многолучевым радиоприемом. Разработаны цифровые способы сжатия и расширения динамического диапазона, подавления помех, найдены высокоэффективные способы цифрового преобразования сигналов в частотной области.

Представление информации в дискретной, цифровой форме, т. е. в виде последовательности импульсов со сравнительно небольшим числом разрешенных уровней и определенной, детерминированной скоростью (частотой) их следования, дает возможность сравнительно легко восстанавливать (регенерировать) форму импульсов и их временно́е положение, искаженные в ходе записи или передачи, поскольку исходная форма импульсов и их временно́е положение заранее известны. Это резко уменьшает влияние искажений и помех. Иными словами, при использовании цифровых способов принципиально возможно уменьшить вероят-

ность ошибок (искажений) благодаря относительной простоте их обнаружения и исправления. Теоретически можно получить сколь угодно высокие параметры качества, недостижимые при аналоговой передаче.

Нестабильность параметров каналов и трактов цифровых систем определяется, главным образом, оконечными звеньями систем, в которых сигнал присутствует в аналоговой форме. Это — устройства преобразования аналогового сигнала в цифровую форму и обратно. Поскольку аналоговые устройства составляют незначительную часть комплекса технических средств цифровых систем, их нестабильность мало сказывается на общей нестабильности комплекса.

В цифровых системах, как правило, используется временно́е разделение каналов. Сигналы разных каналов проходят по одним и тем же звеньям, что способствует уменьшению различий каналов. Это обстоятельство особенно важно при передаче стереофонических сигналов.

Благодаря регенерации формы передаваемых импульсов, искажения в пределах каждого участка регенерации ничтожны. Искажения определяются, в основном, оконечной аппаратурой, поэтому качество передачи вещательных сигналов практически не зависит от длины линии связи. Регенерация импульсов существенно уменьшает искажения сигналов и при многократной перезаписи. Последнее характерно для современной технологии формирования вещательных программ.

Технико-экономические преимущества цифровых систем не вполне очевидны, поэтому следует остановиться на них подробнее.

Элементную базу цифровых устройств составляют цифровые интегральные компоненты (микросхемы). Технология их изготовления к настоящему времени освоена, а сами компоненты в значительной мере унифицированы. Налажен их массовый выпуск, поэтому стоимость компонентов неуклонно уменьшается. Широкое применение интегральных компонентов, их унификация и связанное с этим уменьшение числа применяемых типов компонентов постепенно снижают трудоемкость изготовления цифровых устройств. Этому же способствует автоматизация пооперационного контроля при производстве цифровых устройств. Уменьшается брак и затраты на настройку устройств.

По-видимому, в будущем удастся существенно уменьшить и эксплуатационные расходы. Высокая стабильность параметров и надежность цифровых устройств позволят в несколько раз уменьшить затраты труда на регулирование, подстройку и ремонт аппаратуры в процессе эксплуатации.

Цифровые способы могут обеспечить не только принципиально более высокий технический уровень, что позволит значительно улучшить параметры качества вещательных устройств, но и стан-

дартизировать параметры вещательных сигналов, облегчить сопряжение различных видов вещательной аппаратуры, в большей степени автоматизировать процессы создания и выпуска вещательных программ, облегчить управление и контроль.

Следует назвать и недостатки цифровых систем и устройств.

Более высокая точность передачи достигается увеличением избыточности сигналов, повышением скорости передачи и уменьшением длительности передаваемых импульсов. Это приводит к резкому расширению спектра сигналов и требуемой для передачи полосы частот (сотни килогерц). Широкополосные каналы и тракты дóроги.

Стоимость оконечной аппаратуры цифрового преобразования сигналов пока еще довольно велика. Как указано выше, этот недостаток является преходящим. При массовом выпуске устройств цифрового вещания их стоимость постепенно будет уменьшаться.

К настоящему времени разработаны и созданы цифровые модели почти всех устройств, образующих канал вещания. Исключение составляют электроакустические преобразователи — микрофоны и громкоговорители. Тем не менее темпы развития и, особенно, внедрения цифровых устройств пока недостаточны из-за их большой стоимости, отсутствия некоторых интегральных компонентов, недостаточного числа широкополосных трактов передачи. Цифровые устройства из-за сложности и более высокой стоимости в первую очередь внедряются там, где аналоговые устройства уже не удовлетворяют современным требованиям. В трактах формирования программ — это магнитофоны, линии задержки, реверберáторы, устройства эффектов; в трактах первичного и вторичного распределения программ — аппаратура передачи сигналов звукового вещания по городским соединительным линиям и междугородным каналам звукового вещания и, особенно, по спутниковым линиям связи.

9.2. ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Имеются, по крайней мере, три причины, по которым прибегают к регулированию и преобразованию электрических сигналов в процессе формирования частей вещательных программ:

решение художественных (творческих) задач;

приспособление параметров сигналов к свойствам каналов;

приспособление параметров сигналов к условиям домашнего слушания.

При решении художественных задач регулируют уровни и динамический диапазон сигналов, формируют стереофоническую панораму, т. е. расположение кажущихся источников звука, изменяют АЧХ каналов частотными регуляторами и фильтрами с целью получения новых тембров, исправления частотных искаже-

ний или уменьшения влияния помех, транспонируют спектр сигналов или изменяют длительность звучания отклонением скорости движения носителя записи от номинальной, видоизменяют или формируют заново временную последовательность запаздывающих сигналов для регулирования времени реверберации. Некоторые из перечисленных преобразований выполняются аналоговыми способами слишком сложно или не выполняются вовсе.

Параметры электрических каналов передачи, особенно междугородных, не вполне удовлетворяют требованиям неискаженной передачи. Необходимо приспосабливать параметры вещательных сигналов к свойствам каналов. Как уже упоминалось, повысить качество аналоговых каналов довольно трудно или вовсе невозможно.

Условия домашнего слушания не позволяют полноценно донести до слушателя художественные качества вещательных программ. Причины — неудовлетворительные акустические свойства жилых комнат, пониженный по сравнению с исходным уровень звукового давления и уменьшенный динамический диапазон, что обусловлено недостаточной звукоизоляцией квартир.

Для преодоления возникающих трудностей ставится и решается задача частичной или полной замены аналоговых устройств и систем звукового вещания цифровыми. В систему цифрового звукового вещания должны входить следующие основные устройства:

цифровые источники сигналов (микрофоны, электромузыкальные инструменты, магнитофоны, проигрыватели компакт-дисков);

устройства формирования программ (пульты звукорежиссера, звукозаписывающие аппараты);

устройства кодирования и передачи сигналов по трактам первичного и вторичного распределения (цифровые соединительные линии, МКЗВ, радиопередатчики, устройства цифрового проводного вещания);

устройства приема и воспроизведения сигналов, имитации в домашних условиях акустики залов.

Наиболее важные и сложные устройства тракта формирования программ, предназначенные для регулирования и преобразования вещательных сигналов и управления процессами формирования и выпуска программ, сосредоточены в аппаратных радиодомов. Главным из них является пульт звукорежиссера. С его помощью выполняют сложные творческие и технологические операции: запись, редактирование, монтаж частей программы.

В совершенствовании пультов звукорежиссера наметились и реализуются два пути:

1. Улучшение аналоговых пультов заменой некоторых устройств регулирования и преобразования вещательных сигналов цифровыми и введением цифровых устройств управления и контроля.

2. Создание полностью цифровых пультов, обладающих расширенными технологическими возможностями.

Эти пути направлены на расширение художественных возможностей и облегчение труда звукорежиссера, освобождение его от нетворческих монотонных операций, утомляющих его и отвлекающих от решения более важных задач.

Современные аналоговые пульты звукорежиссера содержат сотни органов управления и усложнились настолько, что ими стало трудно пользоваться. Звукорежиссер работает на пределе психофизиологических возможностей, подчас в экстремальных условиях. Это приводит к ухудшению функционального состояния, возникновению эмоциональной напряженности и, как следствие, к ухудшению качества работы. Возникли задачи согласования конструкции и условий пользования пультом с антропометрическими и психофизиологическими характеристиками человека и оптимального распределения функций между человеком и пультом. Звукорежиссер и пульт представляют собой частный случай системы «человек — машина», в которой человек играет роль командира, принимающего окончательное решение. Такое положение объясняется тем, что имеются показатели, по которым человек превосходит машину:

1. Обнаружение полезных сигналов с низким уровнем при высоких уровнях помех и меняющихся условиях восприятия.

2. Чувствительность к чрезвычайно широкому диапазону сигналов.

3. Опознавание образов и их обобщение.

4. Способность выносить решение при неполной информации о событиях, способность принимать эвристические решения.

5. Способность к интуитивному мышлению.

6. Способность реагировать на непредвиденные и маловероятные события.

7. Проявление оригинальности в решении задач.

8. Способность продолжать действовать в условиях информационной перегрузки (концентрация внимания на наиболее важной информации, пренебрежение второстепенной).

Структурная схема системы «звукорежиссер — пульт» показана на рис. 9.14. Параметры сигналов на входе и выходе управляемых трактов пульта предъявляются звукорежиссеру с помощью устройств контроля и отображения информации. Эта информация, воспринимаемая слухом и зрением, способствует формированию у звукорежиссера так называемой внешней информационной модели, отражающей состояние и динамику изменения управляемого объекта. Воспринятая информация сопоставляется с внутренней образно-концептуальной моделью обстановки; последняя является результатом осмысления звукорежиссером сложившейся обстановки с учетом поставленных задач. В процессе синтеза внешней

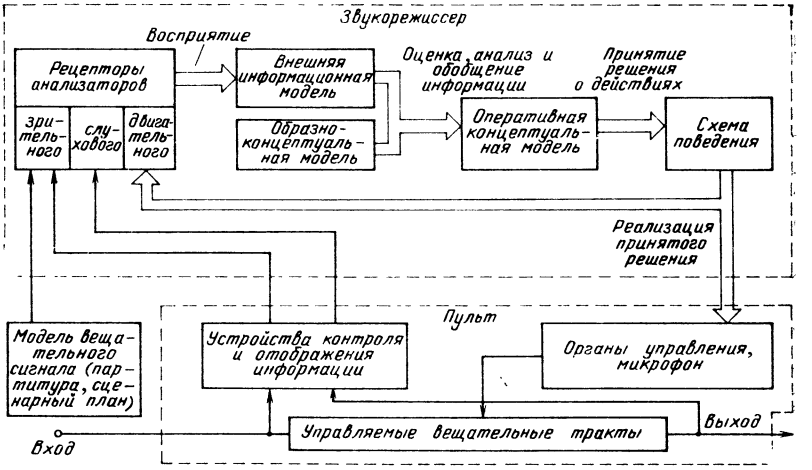


Рис. 9.1. Схема взаимодействия режиссера с пультом

и внутренней моделей возникает целостная система взаимосвязанных характеристик — оперативная концептуальная модель, на основании которой звукорежиссер принимает решение о действиях и формирует схему поведения. Принятое решение реализуется посредством управляющего воздействия или системы воздействий на органы управления пультом (или отдачи распоряжения). Моторные (двигательные) действия, откорректированные двигательным анализатором, преобразуются в электрические сигналы, управляющие вещательными трактами.

Схема рис. 9.1 дает лишь общее представление о взаимодействии звукорежиссера и пульта. Перечисленные операции не обязательно представлять полностью и в рассмотренной последовательности. В зависимости от особенностей частей вещательной программы (музыка, дикторский текст, фонограммы и т. д.) перечень операций может изменяться.

Органы управления пульта условно разделяют на две группы — *оперативные* и *неоперативные*. К первой относятся регуляторы уровня, регуляторы эффектов, ко второй — регуляторы АЧХ, коммутационные устройства. Доля неоперативных органов управления иногда достигает 90... 92% общего числа органов управления.

Основную часть времени подготовки пульта к работе занимает настройка пульта, т. е. установка в исходное положение органов управления. Примерно третью часть времени подготовки пульта к работе занимает установка неоперативных органов управления. Их положения записывали, чтобы вернуться к ним пос-

ле перерыва в работе. Записью фиксировали и положения оперативных органов управления. В современных пультах с цифровым управлением позиции регуляторов и коммутационных устройств фиксируются устройствами памяти. Поэтому настройка пульта после перерыва в работе происходит автоматически.

Изменился подход к компоновке пультов. Несмотря на широкое использование для различения органов управления цвета и формы, чрезмерная насыщенность пульта рукоятками, клавишами, кнопками приводит к ошибкам в пользовании ими, ухудшает обзор шкал, поясняющих надписей и символов. Было решено убрать с панели управления редко используемые блоки и органы, вынести их в другое место. Эта идея реализована следующим образом. На панели пульта оставлены самые необходимые, оперативные органы управления и важнейшие приборы индикации и контроля, а управляемые и управляющие устройства вынесены в отдельную стойку (шкаф). Сигналы управления передаются в стойку цифровыми способами. Таким же способом обратно на пульт выводятся сигналы об исполнении команд и состоянии блоков стойки.

Принцип построения аналогового пульта с цифровым, программным управлением иллюстрируется рис. 9.2. Панель органов управления, индикации и контроля (собственно пульт) связана двусторонней цифровой магистралью со стойкой, в которой размещаются аналоговые и цифровые блоки (модули) и цифровое управляющее устройство. Для отображения информации об уровнях сигналов в различных точках трактов, состоянии и положении регуляторов и коммутационных устройств служат светодиодные индикаторы, матричные газоразрядные панели, буквенно-цифровые и графические дисплеи. Графические дисплеи (рис. 9.3) используют в качестве обобщенного средства отображения информации. По левой шкале дисплея звукорежиссер проверяет уровни сигнала на выходе пульта и в других точках трактов. Правая шкала служит своеобразным анализатором спектра при настройке эквалайзера.

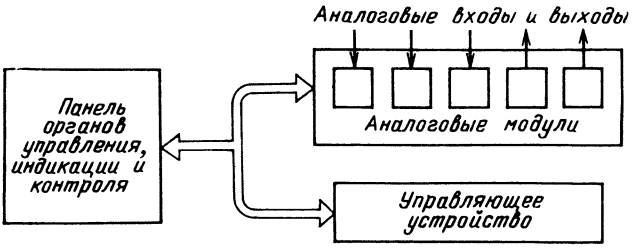


Рис. 9.2. Структура аналогового пульта с цифровым (программным) управлением

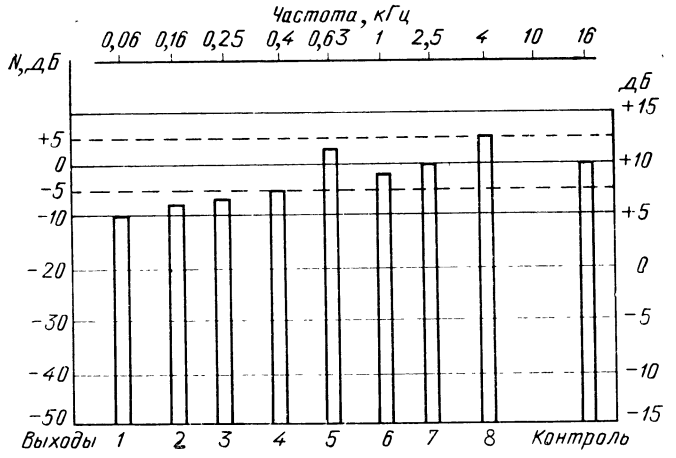


Рис. 9.3. Пример изображения на экране графического дисплея при проверке уровней в различных точках тракта пульта

Поскольку управление и контроль осуществляются цифровыми способами, параметры исполнительных органов, например затухание регуляторов уровня, изменяются скачками, дискретно с помощью ЦАП и электронных ключей. Шаг регулирования затухания не должен превышать 0,5 ... 1,0 дБ, поэтому для изменения затухания на 60 дБ необходимы 120 ... 60 позиций. Переход от минимального затухания к максимальному и обратно должен совершаться за десятые доли секунды.

Пульты снабжены системами установки режима работы и диагностического контроля; с помощью последних проверяют правильность режимов работы и исправность различных блоков.

Выпускаются полностью цифровые пульты (рис. 9.4). Если сигналы поступают на входы пульта в аналоговой форме, они подвергаются преобразованию в цифровую форму в АЦП. Регулирование и преобразование сигналов происходит в цифровом процессоре (специализированной мини-ЭВМ). Программы цифровых операций хранятся в программирующем устройстве и извлекаются из него по мере надобности. Состояние всех коммутационных органов пульта отображается на дисплее, в качестве которого чаще всего используют экран цветной телевизионной трубки. Можно проследить, к какому входному тракту пульта подключен тот или иной источник, к каким регулирующим органам он подсоединен, по какой дорожке многодорожечного магнитофона ведется запись и с какого выхода пульта. Система контроля отмечает ошибки коммутации и регулирования, при этом на экране дисплея появляется предупреждающий сигнал или надпись.

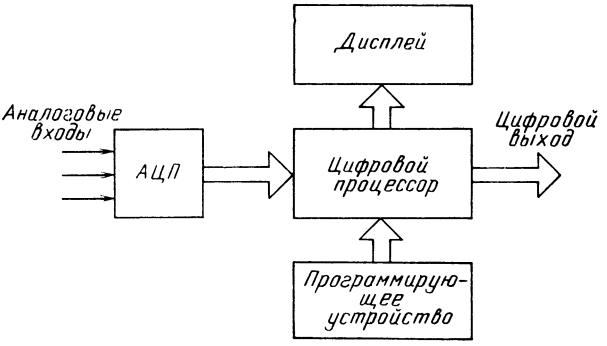


Рис. 9.4. Структура цифрового пульта

Важным звеном контрольных устройств пульта являются измерители уровня. Структура одного из цифровых измерителей показана на рис. 9.5. В нее включены входное устройство ВУ, усилитель звуковых частот УЗЧ, аналого-цифровой преобразователь АЦП и показывающий прибор ПП. Наличие и аналогового, и цифрового входа обусловлено различной формой измеряемых сигналов. Цифровые измерители уровня свободны от недостатков, свойственных аналоговым измерителям: зависимости показаний от длительности импульсов и частоты, от инерционных (баллистических) свойств показывающего прибора.

Пока параметры качества аналоговых и цифровых пультов примерно одинаковы, но стоимости различаются почти на порядок. В связи с этим замену аналоговых пультов на цифровые следует проводить крайне осмотрительно, поскольку может оказаться, что существенное удорожание пульта не приведет к сколько-нибудь заметному повышению качества или к облегчению труда звукорежиссера. Такое положение сохранится довольно долго, если стоимость цифровых пультов не будет заметно снижена. Чтобы различие параметров качества и возможностей пультов стало существенным, нужно увеличить быстродействие специализированных ЭВМ, составляющих основу пультов, рационализировать вычислительные процедуры, разработать новые, более эффективные алгоритмы вычислительных операций.

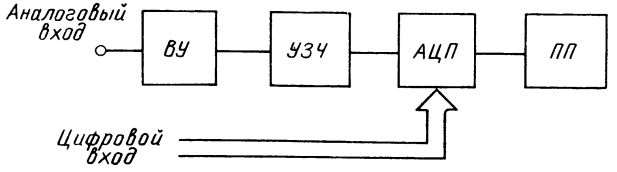


Рис. 9.5. Структурная схема цифрового измерителя уровня

В настоящее время нашли широкое применение пульты «гибридного» типа, в которых бо́льшая часть операций регулирования и преобразования сигналов проводится в аналоговой форме, а управление и контроль осуществляются цифровыми устройствами. Исключение составляют операции, которые технически проще реализуются в цифровой форме, например регулирование времени реверберации. Внедрение полностью цифровых пультов — задача последующего этапа.

9.3. СОЗДАНИЕ ЗВУКОВЫХ ЭФФЕКТОВ ЦИФРОВЫМИ МЕТОДАМИ

В восприятии звука существенное место принадлежит пространственным ощущениям. Ощущение пространства зала или студии зависит от длительности запаздывания (задержки) отраженных от преград волн, скорости их ослабления и направлений прихода. Процесс реверберации по современным воззрениям состоит в постепенном спаде с течением времени уровней собственных (резонансных) колебаний воздушного объема помещения, возбужденных сигналом, излучаемым источником звука. Этот процесс описывают структурами спектра собственных (резонансных) частот и запаздывающих во времени сигналов (импульсного отклика помещения), т. е. в координатах $N=F_1(f)$ и $N=F_2(t)$, как показано на рис. 9.6 и 9.7. Оба графика имеют общую характерную особенность: уплотнения спектра собственных частот с ростом частоты и уплотнение последовательности запаздывающих импульсов по мере увеличения запаздывания. Это сходство не является случайным: в нем проявляется взаимная связь между АЧХ линейной системы и ее откликом на импульсное возбуждение. Рассмотренные закономерности следует выполнять и при построении систем искусственной реверберации.

Ощущение реверберации и объемности помещения не определяется длительностью всего процесса реверберации, а лишь длительностью его начальной части, составляющей примерно 160 ...

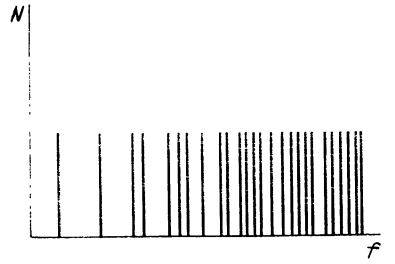


Рис. 9.6. Структура спектра собственных (резонансных) частот помещения

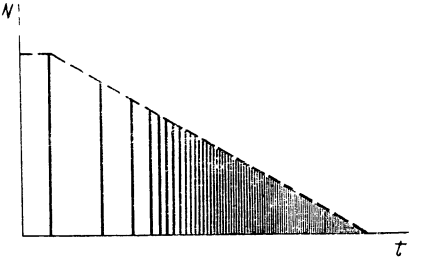


Рис. 9.7. Структура запаздывающих сигналов в помещении

... 200 мс. Объясняется это тем, что при музыкальном исполнении слушатель на непрерывном фоне звучащей музыки слышит лишь начальную часть процесса, а остальная часть маскируется продолжающимся звучанием. Лишь в том случае, когда звучание обрывается внезапно, слушатель в промежутке между музыкальными фразами слышит весь спад звучания до того момента, когда оно маскируется шумами зала. Восприятие реверберации, по-видимому, зависит не от конкретной, детальной структуры процесса, а от его общих свойств. Важное значение имеет время запаздывания первых отражений. Известно, например, что во всех залах, получивших оценку экспертов «пять с плюсом», время запаздывания между прямым звуком и первыми отражениями составляет 10 ... 20 мс. Таковы физические и психофизиологические основы процесса реверберации.

За основную оценку процесса реверберации принимают время реверберации, т. е. время, за которое плотность диффузной звуковой энергии в помещении после выключения источника звука уменьшается в 10^6 раз. Наивыгоднейшее, оптимальное время реверберации зависит от стиля исполняемых произведений. Для музыкальных звучаний разных стилей компромиссным значением считают $T=1{,}7$ с. Иногда реверберационные системы, в том числе помещения, оценивают промежутком времени Δt, за который плотность потока запаздывающих импульсов достигает 100 имп./с. В хороших системах $\Delta t \approx 100$ мс. Еще одна оценка акустики залов и студий введена через отношение плотностей диффузной энергии $w_д$ за промежуток времени, прошедший с начала процесса реверберации до момента $t_1=50$ мс, и за всю длительность процесса реверберации:

$$w_{д(0-50\ мс)}/w_{д(0-\infty)}.$$

Для акустически хороших залов это отношение примерно равно 0,7 (—3 дБ).

Необходимость применения устройств искусственной реверберации в процессе записи эстрадной и отчасти классической музыки объясняется несколькими обстоятельствами.

Для лучшего разделения звучания инструментов эстрадных ансамблей и получения возможности раздельного регулирования электрических уровней микрофоны устанавливают перед каждым исполнителем. По этой причине микрофоны воспринимают практически только прямой звук, и реверберация, присущая помещению, не сказывается на звучании, что обедняет его.

Классическую музыку тоже иногда записывают, исключив влияние естественной реверберации. Так поступают по двум причинам: во-первых, чтобы уменьшить влияние акустических помех, во-вторых, чтобы можно было регулировать время реверберации

для разных частей произведения или для разных произведений, исполняемых в одном и том же зале.

При трансляции из концертного зала для выявления реверберации зала необходимо располагать микрофоны в районе лучших слушательских мест, т. е. в середине зала. При этом микрофоны воспримут и шумы, создаваемые слушателями (кашель, шелест листов программы, скрип кресел), а иногда и уличные шумы, проникающие в зал. Если микрофоны располагают непосредственно у эстрады, акустические шумы сказываются меньше, так как уровень звукового давления вблизи оркестра примерно на 20 дБ больше, чем в средних рядах партера. Но реверберация зала при этом практически не скажется на звучании. Запись в пустом зале не всегда приемлема по экономическим соображениям, а также потому, что в отсутствии слушателей время реверберации на 20 ... 30 % больше, чем в заполненном, т. е. отличается от оптимального.

Акустические помехи сказываются и при телевизионном вещании и синхронной киносъемке. Передающие телевизионные и киносъемочные камеры, осветительная аппаратура, персонал создают шум. Это заставляет применять направленные микрофоны и приближать их к исполнителям. Влияние естественной реверберации при этом значительно уменьшается.

Для воссоздания и регулирования реверберации пользуются устройствами искусственной реверберации: реверберационными камерами («эхо-камерами»), магнитными, листовыми, пружинными, цифровыми реверберараторами. Реверберационные камеры создают хороший эффект, подобный естественной реверберации, но акустические характеристики камеры не могут быть изменены, а иметь несколько камер с разным временем реверберации дорого. Время реверберации магнитных, листовых, пружинных реверберараторов изменяется в больших пределах, но создаваемый ими эффект отличается от естественной реверберации. При регулировании времени реверберации форма частотной характеристики времени реверберации заметно отклоняется от оптимальной.

Длительное время разработка реверберараторов шла в значительной мере эмпирическим путем, поскольку механизм их действия не всегда поддавался анализу. Достигнутое в последние годы лучшее понимание физической природы реверберации и совершенствование средств вычислительной техники позволило моделировать процесс реверберации с помощью специализированных ЭВМ. Входной сигнал преобразуется АЦП в двоичные числа и записывается в ячейки памяти оперативного запоминающего устройства ОЗУ. Номер ячейки, в которой записывается число, определяется формирователем адреса и увеличивается на единицу с каждым новым отсчетом. После заполнения последней ячейки формирователь адреса переходит к первой. Такое ОЗУ

подобно склеенной в кольцо магнитной ленте и потому называется кольцевым.

Непосредственно перед новой записью из ячейки считывается хранившееся там число. Максимальная длительность задержки равна произведению числа ячеек в ОЗУ k на период дискретизации $T_д = 1/f_д$. Итак, $\Delta t = k/f_д$. Используя более сложный формирователь адреса, за каждый период дискретизации можно считывать числа сразу из нескольких ячеек. Такое устройство аналогично линии задержки с отводами. Дополняя линию задержки цепями обратной подачи, строят цифровые реверберато-ры. Длительность задержки Δt отображает размеры помещения, точнее, длину пути, проходимого звуковой волной от источника до преграды, а значения затухания a_i регуляторов уровня — скорость спада уровня отраженных сигналов, следовательно, коэффициент поглощения преград.

Основная трудность создания цифровых реверберато-ров заключалась в необходимости моделировать акустические процессы в реальном масштабе времени. Для высококачественной передачи музыки отсчеты должны следовать через 20... 30 мкс. За этот промежуток времени ЭВМ должна выполнить все операции по заданной программе и к моменту прихода следующего отсчета быть готова к выполнению следующего цикла операций. Большинство универсальных ЭВМ мало подходило для операций с вещательными сигналами, и реверберато-ры, построенные на их основе, оказались слишком дорогими. Более выгодными оказались специализированные мини-ЭВМ, обладающие большим быстродействием. В одном из разработанных на такой основе реверберато-ре с четырьмя входами и выходами время реверберации регулируется в пределах 0,3... 4,5 с, причем можно изменять частотную характеристику времени реверберации и интервал между прямым сигналом и первыми запаздывающими импульсами, что эквивалентно изменению размеров моделируемого помещения. Более того, можно моделировать соотношение сторон помещения, коэффициент поглощения преград и расстояние от источника звука до микрофона. Цифровой реверберато-р (рис. 9.8) содержит АЦП и ЦАП, специализированную ЭВМ с ОЗУ и формирователем адреса и импульсов синхронизации. Цепи обратной подачи содержат регуляторы уровня с затуханиями $a_1 \ldots a_N$. Регулирование параметров, непосредственно определяющих восприятие реверберации, позволяет получить хороший эффект, гибкость действий. Цифровые реверберато-ры нечувствительны к вибрациям и акустическим шумам, высоконадежны, так как не имеют движущихся частей, но пока что очень дороги.

Устройства цифрового преобразования сигналов используют для создания звуковых эффектов: вибрато (своеобразная амплитудная модуляция интенсивности звука), тремоло (быстрой сме-

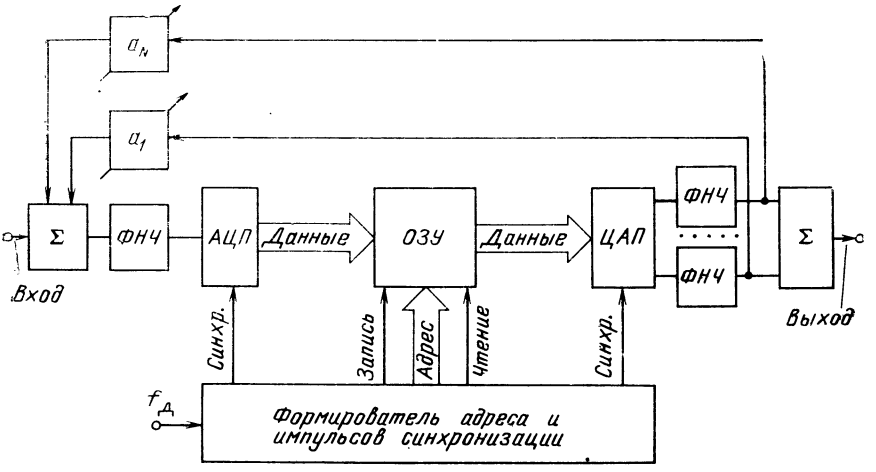


Рис. 9.8. Структурная схема цифрового ревербератора

ны двух близких по высоте звуков), *арпеджио* («разорванных аккордов», подобных аккордам арфы), сдвига тональности, одиночного и многократного эха, многократного повторения отрывков звучания длительностью до нескольких секунд и других. В некоторых цифровых устройствах программируются и выполняются до 30 различных эффектов, хотя такие цифровые устройства пока сложнее и дороже аналоговых.

В стереофонии цифровыми способами регулируют ширину базы (протяженность звучащего ансамбля по фронту) и направление на одиночный источник (панорамирование источника). Цифровые широкополосные фазовращатели используют для фазового регулирования сигналов, например, для получения «сверхбазы», т. е. ощущения протяженности ансамбля по фронту, превышающей расстояние между акустическими системами (громкоговорителями).

Возможности цифровых способов выразительно и достаточно экономно реализуются в устройствах, имитирующих хоровое звучание или игру нескольких инструментов в унисон, управляющих длительностью звучания при сохранении тональности или изменяющих тональность звучания при постоянной длительности звучания.

Рассмотрим, как возникает эффект хора. Когда исполнители поют в унисон, им не удается начинать каждый слог одновременно и на одной и той же высоте тона. В целом, конечно, исполнители поют согласно, но в структуре музыкального звучания наблюдаются случайные отклонения моментов вступления и высоты тона. Каждый звук сопровождается некоторым «разбросом» вре-

мен начала звучания и высот тона. То же происходит при игре нескольких музыкальных инструментов. Это обстоятельство не является художественным «браком», наоборот, оно придает звучанию своеобразный тембровый оттенок, высоко ценимый любителями музыки.

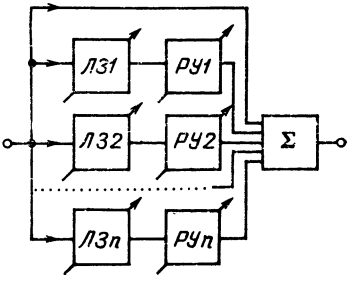


Рис. 9.9. Упрощенная структурная схема устройства для получения эффекта хора

Эффект унисонного звучания получают следующим образом. Сигнал одного голоса или музыкального инструмента поступает на входы нескольких цифровых линий задержки (рис. 9.9). Время задержки каждой линии задержки изменяется в пределах 10...50 мс под воздействием источника низкочастотного псевдослучайного шума с шириной спектра примерно 5 Гц. Время задержки меняется от ноты к ноте, что соответствует изменению высоты тона по случайному закону в пределах 0,1 ... 1 Гц. В долгих звуках результат сложения фазовых вариаций соответствует эффекту, создаваемому хоровым пением. Нестационарность времени задержки коротких звуков увеличивает естественность эффекта. Выходные сигналы линий задержки складываются с исходным сигналом в сумматоре Σ. Несмотря на простоту устройства, оно создает впечатляющий эффект, удивительно похожий на естественное унисонное звучание.

В практике формирования программ звукового вещания бывает необходимо изменять длительность звучания, не изменяя тональности. Это нужно для того, чтобы избежать излишних пауз или, наоборот, уложиться в заданный промежуток времени. Поскольку регулирование длительности звучания не должно сопровождаться изменением тембра, простейший способ — изменение скорости воспроизведения фонограммы — неприемлем. На основе цифрового преобразования сигналов выпускаются устройства регулирования временно́го масштаба. В лучших образцах таких устройств можно изменять длительность звучания в пределах от половины до удвоенной первоначальной. При этом спектр сигнала остается неизменным и занимает область частот 40 ... 15000 Гц.

9.4. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЦИФРОВЫЕ МАГНИТОФОНЫ

Аналоговым устройствам магнитной записи, широко используемым в звуковом вещании, свойственны некоторые недостатки.

Но в целом качество аналоговых магнитных фонограмм достаточно высокое.

Несмотря на это, аналоговая звукозапись — одно из слабых звеньев трактов формирования программ. Некоторые пара-

метры достигли предела и не могут быть улучшены. Уровень модуляционного шума создает заметную на слух помеху. Не может быть существенно уменьшен коэффициент гармоник. Современная технология формирования вещательных программ основана на многократной перезаписи, но при каждом копировании амплитудно-частотные искажения и уровень помех возрастают примерно на 3 дБ, увеличиваются и нелинейные искажения. Заметны детонация и копир-эффект.

Перечисленные недостатки, свойственные аналоговой магнитной записи, практически полностью устраняются при цифровой записи.

Способы представления двоичной информации в магнитной записи в большинстве случаев заимствованы из техники цифровой передачи сигналов по трактам связи, однако несколько видоизменены с учетом особенностей магнитной записи. В цифровых магнитофонах на ленту записывают последовательность кодовых импульсов, отображающую входной аналоговый сигнал. Аналоговых входов несколько: два — при двухканальной стереофонической записи, четыре — при квадрофонической и т. д. Сигнал в каждом тракте подвергается низкочастотной фильтрации, дискретизируется, квантуется. Затем отсчеты одним из известных способов превращаются в двоичные числа. Поток двоичных чисел собирают в общий тракт. Вводятся дополнительные разряды для синхронизации, обнаружения и исправления ошибок. Для уменьшения скорости цифрового потока его разделяют по нескольким цифровым трактам и с помощью многодорожечного блока головок записывают на магнитную ленту.

При воспроизведении все процессы осуществляются в обратном порядке. Сигналы, полученные в блоке головок, декодируются, из них выделяют служебные разряды. Исправляются ошибки. Производится распределение по выходным трактам.

В каждом тракте цифровой магнитной записи необходимы скорости преобразования информации не менее 0,3 Мбит/с. В четырехканальном магнитофоне соответственно потребуется скорость не менее 1,2 Мбит/с. Между тем имеется необходимость создавать магнитофоны с восемью и даже шестнадцатью входами, т. е. со скоростью цифрового потока 2, 4 и 4,8 Мбит/с. Такие скорости характерны для видеомагнитофонов, поэтому конструктивное выполнение цифрового магнитофона довольно сложно. Считают, что облегчить эту задачу удастся увеличением плотности записи. В настоящее время она составляет примерно 100 импульсов на миллиметр длины дорожки записи. Предполагается, что ее можно увеличить, по крайней мере, на порядок, но для этого необходимы принципиально новые магнитные ленты.

Неточности скорости движения ленты в цифровом магнитофоне компенсируются с помощью ОЗУ, построенного на кольцевом буферном накопителе (рис. 9.10). Кольцевой накопитель заполняется

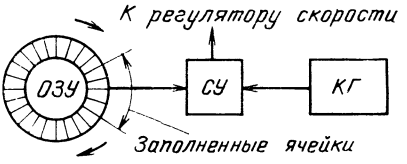


Рис. 9.10. Структурная схема буферного накопителя

двоичной информацией с частотой, пропорциональной скорости движения ленты с фонограммой. Информация считывается с накопителя с постоянной частотой, задаваемой кварцевым генератором КГ. Если между этими частотами в среднем имеется постоянная разница, то в какой-то момент времени накопитель опорожнится или целиком заполнится. Чтобы этого не произошло, в сравнивающем устройстве СУ вырабатывается вспомогательное напряжение, отражающее степень заполнения накопителя и управляющее скоростью вращения тонвала магнитофона. Если накопитель начинает опорожняться (заполнение накопителя уменьшается), сигнал ошибки увеличивает скорость вращения тонвала. Если накопитель все более заполняется, сигнал ошибки уменьшает скорость вращения.

Информация записывается в накопитель небольшими отрывками. Пока записанный отрывок считывается с постоянной скоростью, заданной кварцевым генератором, с цифровой фонограммы в накопитель записывается следующий отрывок. Этот процесс многократно повторяется.

Особую сложность представляет исправление ошибок, обусловленных выпадениями сигнала из-за дефектов магнитного слоя и его загрязнения. На скорости 76,2 см/с выпадения имеют длительность порядка 100 мкс. Тогда при скорости записи 400 имп./с ошибками будут поражены примерно 50 двоичных чисел. Для компенсации таких провалов применяют перемежение двоичных символов: импульсы, относящиеся к какому-то элементу информации, разносят на расстояние, превышающее среднестатистическую длину выпадений, поэтому часть информации сохраняется. Одиночные ошибки исправляют путем линейной интерполяции между соседними отсчетами или путем введения дополнительных, проверочных разрядов, служащих для проверки на четность пяти старших, наиболее важных разрядов. Ошибки не замечаются, если они случайны и вероятность их появления не превышает 10^{-5}.

В цифровых магнитофонах либо используют многодорожечную запись, либо преобразуют цифровые сигналы в так называемый квазителевизионный сигнал. Первый способ наиболее перспективен, особенно для профессиональной записи. Структурная схема магнитофона, в котором использован этот способ, изображена на рис. 9.11. В нее входят ИКМ-кодер, блочный кодер, канальные кодеры. Их число равно числу дорожек записи. Перед блоком

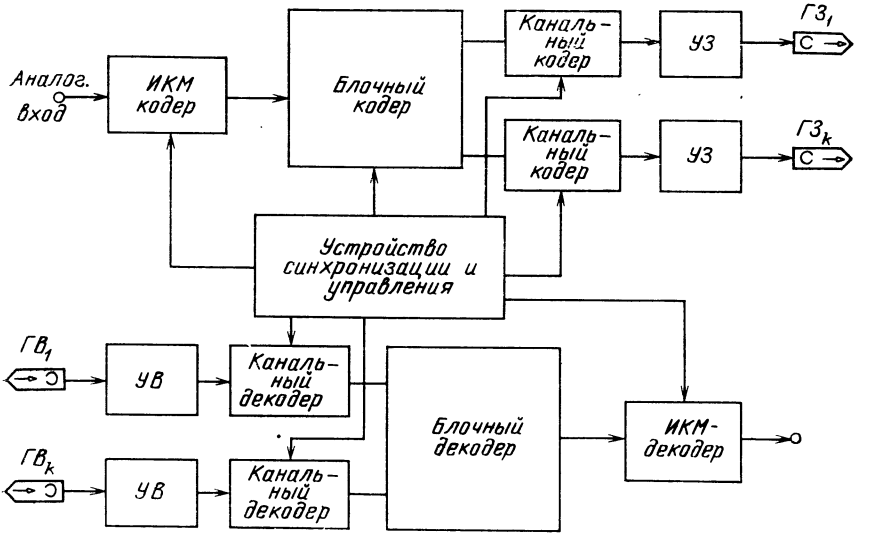


Рис. 9.11. Структурная схема цифрового магнитофона

головок записи ГЗ включены усилители записи УЗ. При воспроизведении используются блок головок воспроизведения ГВ, усилители воспроизведения УВ, канальные декодеры, блочный декодер и декодер ИКМ-сигналов. Действием кодеров и декодеров управляет устройство синхронизации и управления.

Достоинства первого способа: достаточно простой лентопротяжный механизм, небольшая скорость движения ленты, что увеличивает срок службы магнитных головок и ленты. Недостатки первого способа: сложность блока головок, большое число электронных блоков ввиду наличия нескольких трактов, в каждом из которых имеются усилители записи и воспроизведения, канальные кодеры и декодеры, увеличенные размеры магнитофона, значительная масса магнитофона, большое потребление электроэнергии. Правда, современная технология позволяет укрупнять блоки путем применения больших интегральных схем.

При использовании второго способа к аналоговому видеомагнитофону, обычно кассетному, добавляют цифровой преобразователь-приставку (рис. 9.12). Поступающий на вход аналоговый сигнал, как правило, стереофонический, преобразуется в ИКМ-кодере *1* в цифровой, затем подвергается помехозащитному кодированию в блоке *2*, в формирователе *3* преобразуется в квазителевизионный сигнал, в котором вместо сигнала изображения на активной части телевизионных строк размещен кодированный сигнал звука, и, наконец, поступает на вход видеомагнитофона ВМ. При

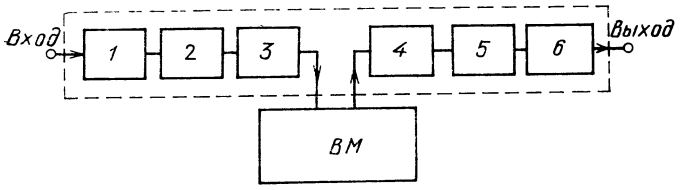


Рис. 9.12. Структурная схема цифровой приставки к аналоговому видеомагнитофону

воспроизведении производятся обратные преобразования: в видеоселекторе *4* выделяется цифровой сигнал, в декодере *5* производится исправление ошибок и, наконец, в декодере ИКМ-сигналов *6* цифровой сигнал преобразуется в аналоговый.

Достоинством второго способа является использование серийно выпускаемых аналоговых видеомагнитофонов, что особенно важно для индивидуальных пользователей, так как расширяет эксплуатационные возможности уже приобретенного аппарата. Добавление к имеющемуся бытовому видеомагнитофону преобразователя-приставки, которая в 3—5 раз дешевле цифрового магнитофона, выгодно пользователю. Главный недостаток: недоиспользование пропускной способности канала видеомагнитофона (примерно в 10 раз) и связанный с этим непроизводительный расход ленты. Большая скорость движения головок относительно ленты (порядка 10 м/с) ускоряет износ ленты и головок.

Перспективным направлением явилась разработка цифровой записи на магнитный диск. Аппараты такого вида обладают большой надежностью. Исключаются операция перемотки ленты и перерывы, вызванные обрывом ленты.

Переход к цифровым способам записи требует увеличения пропускной способности канала записи-воспроизведения. При частоте дискретизации $f_д = 48$ кГц и 16-разрядном кодировании тактовая частота цифрового потока при записи стереофонического сигнала составляет $2 \cdot 48 \cdot 10^3 \cdot 16 = 1536$ кбит/с, т. е. примерно 1,5 Мбит/с. При введении дополнительной служебной информации и символов помехоустойчивого кодирования скорость цифрового потока возрастает на 30 ... 50 % и достигает 2,0 ... 2,2 Мбит/с. Несмотря на столь большие скорости цифрового потока, расход ленты в цифровых магнитофонах с продольной многодорожечной записью не превышает расхода ленты в аналоговых магнитофонах. Достигнуто это увеличением поперечной и продольной плотности записи. Ширина дорожек записи составляет всего 240 мкм, что почти на порядок меньше, чем в многоканальных аналоговых магнитофонах. Такое резкое увеличение поперечной плотности записи обусловлено тем, что при цифровой записи допустимо мень-

шее отношение С/П, чем при аналоговой. Продольная (линейная) плотность записи также очень велика и составляет 1600 бит/мм. Это достигнуто применением магнитных головок с рабочим зазором, имеющим ширину менее 1 мкм, и магнитных лент с тонким рабочим слоем.

С целью расширения эксплуатационных возможностей допускается использование трех частот дискретизации: 48 кГц (как в другом оборудовании вещательных аппаратных), 44,1 кГц (как в лазерных проигрывателях), 32 кГц (как в цифровых соединительных линиях и цифровых междугородных каналах звукового вещания).

Профессиональные цифровые магнитофоны достигли высокой степени совершенства, что видно из приводимых ниже данных:

Полоса рабочих частот, Гц	20 ... 20000
Неравномерность АЧХ, дБ	±0,5
Отношение С/П, дБ	80 ... 90
Коэффициент гармоник, %	0,05 ... 0,1

Детонация и копир-эффект практически отсутствуют.

Число аналоговых входов в профессиональных магнитофонах составляет от 2 до 48, число дорожек записи, включая необходимые для служебных и аналоговых каналов, в разных типах магнитофонов колеблется от 10 до 50. Запись ведется на ленты шириной 6,25; 12,7; 25,4 мм (соответственно 1/4; 1/2, 1 дм) при скоростях 19,05; 38,1 или 76,2 см/с.

Параметры качества бытовых цифровых магнитофонов и магнитофонных панелей несколько хуже параметров профессиональных цифровых магнитофонов, но значительно лучше, чем у аналоговых устройств. В кассетах цифровых магнитофонов используется лента шириной 3,81 мм, как и в кассетах аналоговых бытовых магнитофонов. Аппаратурная сложность и дороговизна цифровых магнитофонов оправдана высоким качеством воспроизведения и возможностью многократной записи без ухудшения качества ввиду регенерации импульсов.

В профессиональных цифровых магнитофонах имеется возможность электронного монтажа по заданной звукорежиссером или оператором программе. Точность монтажа достигла нескольких сот микросекунд. Повышению точности способствуют цифровая память, наличие сигналов управления и служебных отметок, регулирование скорости в режиме поиска нужного места фонограммы.

Для идентификации фонограмм (при поиске нужной в фонотеке для включения в программу вещания) фонограммы закодированы в цифровой форме по следующим признакам: название произведения, имена исполнителей, тональность записи, длительность звучания, жанр, дата записи и др. С помощью адресно-временного кода можно в процессе перезаписи или воспроизведения син-

хронизировать момент включения фонограммы, автоматически отыскивать начало фрагмента, останавливать магнитофон, осуществлять перемотку ленты и производить другие вспомогательные операции.

9.5. ПРОИГРЫВАТЕЛИ КОМПАКТ-ДИСКОВ

Компакт-диск — это коммерческое название системы звукозаписи, разработанной совместно фирмами Филипс (Голландия) и Сони (Япония) в конце семидесятых годов. Первая разработала функциональные принципы и аппаратурные средства, вторая — способы преобразования сигналов и соответствующие микросхемотехнические устройства.

Носителем первичной записи служит полированный стеклянный диск, на который нанесен тонкий слой лака (фоторезиста), чувствительного к свету. Толщина слоя лака 0,12 ... 0,15 мкм. Запись производится сфокусированным лучом аргонового лазера с длиной волны примерно 0,78 мкм. После записи фоторезистивный слой проявляют, в результате чего в нем появляются ложбинки длиной несколько микрометров, глубиной около 0,12 мкм и шириной примерно 0,5 мкм. Процесс получения копий напоминает процесс изготовления граммофонных пластинок. На лаковую поверхность диска наносят химическим путем или напылением в вакууме слой серебра, затем электропроводящую поверхность покрывают слоем никеля. Многократным копированием получают матрицы, которыми из разжиженного поликарбоната прессуют компакт-диски. На них наносят отражающий слой алюминия толщиной примерно 0,1 мкм и для его защиты от царапин и грязи покрывают слоем прозрачной пластмассы толщиной 5 ... 10 мкм.

Проигрыватель компакт-дисков содержит движущий механизм, оптический блок, устройства декодирования сигналов и исправления ошибок, слежения за дорожкой и стабилизации скорости считывания, а также вспомогательные блоки.

Оптическая система считывания информации с компакт-диска изображена на рис. 9.13. Двигатель *1* вращает компакт-диск *2*. Лучистый поток маломощного лазера *3* инфракрасного диапазона ($\lambda = 0{,}78$ мкм) собирается линзой *4*, проходит расщепляющую призму *5*, поляризующую пластинку *6*, фокусирующую линзу *7* и попадает на отражающий слой компакт-диска. Поляризующая пластинка, толщина которой равна четверти длины волны лазера, поляризует лучистый поток. Расщепляющая призма с полупрозрачной зеркальной плоскостью *8* пропускает лучистый поток от лазера, но не пропускает обратно лучистый поток, отраженный от алюминиевого слоя компакт-диска. Отраженный лучистый поток направляется зеркальный поверхностью *8* через фокусирующую линзу *9* на полупроводниковый фотодиод *10*. При отражении от

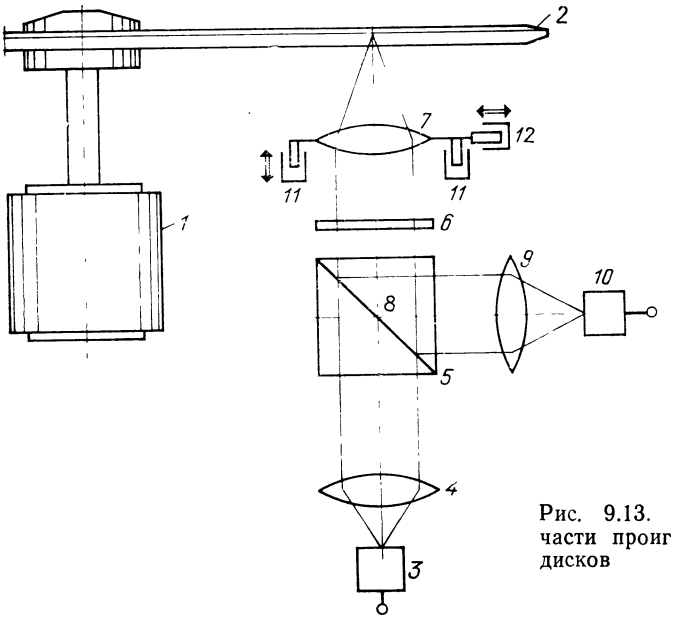


Рис. 9.13. Схема оптической части проигрывателя компакт-дисков

плоской поверхности диска ток фотодиода оказывается наибольшим. При попадании луча в область ложбинки отраженный луч в значительной степени рассеивается и ток фотодиода уменьшается. Различие между интенсивностями лучистого потока, отраженного от ложбинки и от промежутка между ложбинками будет наибольшим, если разность их фаз равна 180°, что возможно, если глубина ложбинок будет равна $\lambda/4$. С учетом коэффициента преломления поликарбоната 1,5 получим наивыгоднейшую глубину ложбинок $(0{,}78/4)/1{,}5=0{,}13$ мкм. Принятая глубина ложбинок (0,12 мкм) близка к оптимальной.

Глубина резкости фокусирующей линзы *7* не превышает 0,4 мкм. Вертикальные биения компакт-диска, закрепленного только в центральной части, превышают глубину резкости примерно в 100 раз. Необходимо динамическое слежение за точкой фокусировки луча, что обеспечивается управляющей системой. При точной фокусировке из отраженного от компакт-диска лучистого потока на поверхности фотодиода формируется круг (рис. 9.14,*а*). При отклонении отражающей поверхности от заданного положения круг превращается в эллипс (рис. 9.14,*б*,*в*). Для оценки формы следа, создаваемого на поверхности фотодиода отраженным лучистым потоком, светочувствительная поверхность фотодиода разделена на четыре секции (части) 1, 2 3, 4, с каждой из которых снимается свой электрический сигнал. Четыре выходных сигнала управляют перемещением фокусирующей линзы *7* в вер-

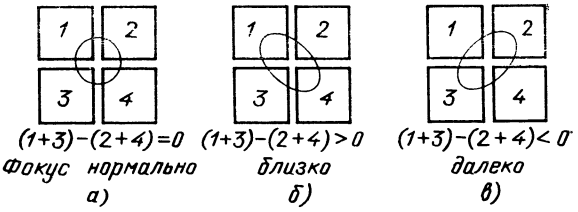


Рис. 9.14. К объяснению действия системы слежения за точкой фокусировки:
а — правильная фокусировка, *б* и *в* — фокусировка нарушена

тикальной плоскости с помощью фокусирующего устройства *11*. В результате сфокусированная точка удерживается на отражающей поверхности компакт-диска. Вторая управляющая система перемещает оптический блок от центра к краю диска и с помощью устройства *12* удерживает сфокусированную точку в правильном положении относительно дорожки записи. Наконец, осуществляется управление частотой вращения двигателя *1* таким образом, чтобы поддерживалась постоянной линейная скорость чтения фонограммы. Частота вращения меняется от 500 мин$^{-1}$ в начале воспроизведения до 200 мин$^{-1}$ на краю диска, иначе говоря, в пределах 8,33 ... 3,33 с$^{-1}$.

Проигрыватель имеет весьма сложную электронную часть (рис. 9.15), предназначенную для декодирования записанных на диске сигналов, выделения и расшифровки различных служебных кодов, разделения стереосигналов, исправления ошибок и управления процессом считывания. Одиночные ошибки считывания информации возникают из-за брака при прессовании компакт-дисков. Влияние царапин и загрязнений поверхности диска значи-

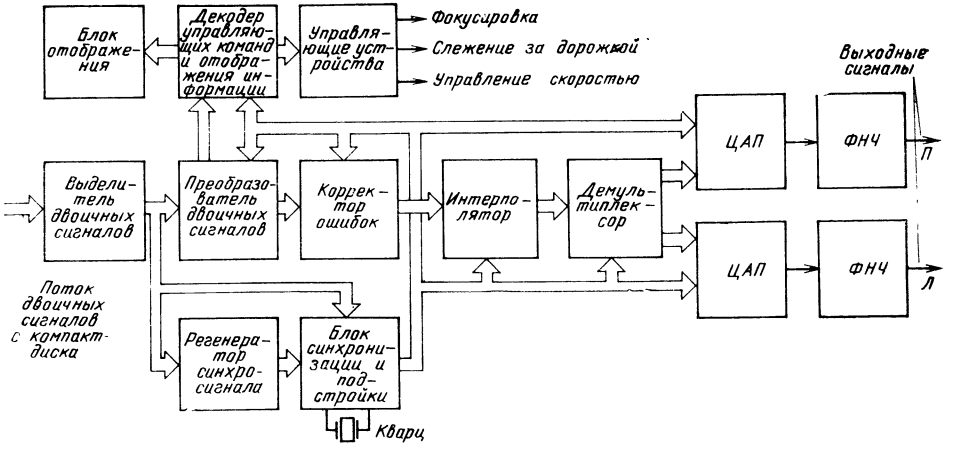


Рис. 9.15. Структурная схема проигрывателя компакт-дисков

тельно ослаблено, поскольку луч лазера не сфокусирован на поверхности диска. Однако в некоторых случаях такие недостатки приводят к потере сотен и тысяч двоичных единиц информации, поэтому эксплуатация проигрывателя без устройства анализа и исправления ошибок невозможна. Исправление ошибок основано на применении помехоустойчивых кодов и перестановке отсчетов перед записью, в результате чего вероятность длительных выпадений (групповых ошибок) сильно уменьшена. Устройство исправления ошибок восстанавливает до 3500 потерянных подряд двоичных единиц информации, что соответствует нарушению целостности 2,4 мм дорожки, а в некоторых случаях даже до 12 000 двоичных единиц, что соответствует нарушению целости 8,5 мм дорожки. Если ошибок так много, что они не могут быть исправлены устройством коррекции, вступает в действие устройство интерполяции. Если в результате анализа выясняется, что между двумя достоверными отсчетами содержится недостоверный, он заменяется среднеарифметическим значением соседних. Если же подряд следует несколько недостоверных отсчетов, то перед началом ошибок коэффициент передачи начинает плавно уменьшаться, и к моменту появления ошибок он становится равным нулю. По окончании серии ошибок коэффициент передачи восстанавливается до первоначального значения. Для такого анализа записанной информации и устранения влияния ошибок к проигрывателю имеется оперативное запоминающее устройство. Декодирующее устройство содержит четыре больших интегральных схемы, выполняющих около 4 млн. опер./с.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) в 1983 г. предложила стандарт системы записи звука на компакт-диски. Стандартизованы геометрические параметры компакт-дисков и параметры качества. Значения этих параметров представлены ниже:

Диаметр компакт-диска, мм	120
Толщина компакт-диска, мм	1,2
Диаметр центрального отверстия, мм	15
Диаметр опорной плоскости проигрывателя, мм	26 ... 33
Начальный и конечный диаметры области записанной программы, мм	50 и 116
Линейная скорость, м/с	1,2 или 1,4
Длительность стереофонической записи, ч	1
Длительность квадрофонической записи, ч	0,5
Число разрядов	16
Квантование	линейное
Полоса рабочих частот, Гц	20 ... 20000
Неравномерность АЧХ, дБ	±0,5
Отношение С/П, дБ	90 ... 96
Переходное затухание между стереоканалами, дБ	90
Коэффициент гармоник на частоте 1 кГц, %	0,004

Информация закодирована длиной ложбинок (углублений) и промежутков между ними. Длина ложбинок и расстояний между ними изменяется дискретно восемью ступенями в пределах 0,83... ... 3,05 мкм при скорости 1,2 м/с и в пределах 0,972... 3,56 при скорости 1,4 м/с. Запись производится на одной стороне диска, противоположную (верхнюю при проигрывании) занимает этикетка. Ее содержание: наименование программы, номер диска по международному каталогу, номер диска в порядке следования дисков данной программы (при записи программы на нескольких дисках) и общее количество дисков в программе.

Компакт-диск содержит три области: область вхождения, область записи, область выведения. Область вхождения содержит служебную информацию о количестве произведений, время от начала проигрывания до начала данного произведения в минутах и секундах и так называемых кадрах (кадр равен 1,75 с), время, отсчитываемое от окончания области вхождения до начала области выведения, опознавательный номер диска в соответствии с номером по каталогу. Информация о времени начала каждого произведения позволяет автоматизировать выбор желаемого произведения или осуществлять многократное его исполнение. В пределах области записи помещают до восьми вспомогательных кодов разного назначения.

Проигрыватели компакт-дисков и сами диски выпускаются во многих странах, в том числе и у нас. Производство компакт-дисков освоено Московским заводом фирмы «Мелодия». Компакт-диски могут служить надежным средством долговременного хранения программ стереофонического звукового вещания. Составление программ на их основе легко поддается автоматизации.

9.6. ЦИФРОВЫЕ ТРАКТЫ ПЕРВИЧНОГО И ВТОРИЧНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕРЕОФОНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ

Как уже указывалось в гл. 5, в тракты первичного распределения программ входят городские соединительные линии и междугородные каналы звукового вещания, в тракты вторичного распределения — оборудование радиопередающих центров и узлов проводного вещания. В настоящем параграфе дается более полная характеристика названных устройств.

Скорость цифрового потока на выходе радиодома при частоте дискретизации 48 кГц и 16 разрядах слишком велика для передачи по трактам первичного и вторичного распределения. Для ее уменьшения переходят на частоту дискретизации 32 кГц и цифровые сигналы перекодируют: сперва 16-разрядные отсчеты ИКМ с равномерным квантованием превращают в 10-разрядные мантиссы и трехразрядный порядок с помощью ИКМ с «плавающей запятой», а затем добавляют избыточные символы, предназначенные для исправления ошибок, вызванных источниками индуст-

риальных радиопомех и другими радиостанциями (канальное кодирование).

На первом этапе отсчеты, представленные в виде 16-разрядных двоичных чисел A в форме $-(2^{16}-1) \leqslant A \leqslant 2^{16}-1$, т. е. от -65535 до $+65535$, преобразуют в форму $A = B \cdot 2^c$, где B — мантисса, c — порядок числа. Мантисса принимает значение от -1023 до $+1023$, т. е. с учетом знака выражается 10-разрядным двоичным числом, порядок c — значения от 0 до 7, т. е. представляется трехзначным двоичным числом. Значение порядка сохраняется неизменным в течение 1 мс. Этот промежуток выбран, исходя из максимально возможной скорости изменения уровня вещательного сигнала. Таким образом, используется 10-разрядная линейная ИКМ, но в течение каждой миллисекунды устанавливается свой масштаб. Он определяет значение, «вес» младшего разряда в соответствии с тем, каково абсолютное значение отсчета в течение этой миллисекунды. Такой способ цифрового представления называют *квазилинейным сжатием динамического диапазона* (квазилинейным компандированием).

При передаче стереосигнала во избежание ошибочного смещения кажущихся источников звука в помещении слушателя изменения порядка (масштаба) в обоих каналах стереопары должны происходить одновременно.

Представление сигнала в форме с «плавающей запятой» позволяет заметно уменьшить количество передаваемой информации. При ИКМ с 16 двоичными разрядами при частоте дискретизации 32 кГц без защиты от ошибок необходима скорость $16 \cdot 32 \cdot 10^3 = 512$ кбит/с. В системе с «плавающей запятой» в секунду нужно передать $10 \cdot 32 \cdot 10^3 = 320 \cdot 10^3$ отсчетов мантиссы и $3 \cdot 10^3$ отсчетов порядка, поэтому скорость передачи составит 323 кбит/с. Дополнительный выигрыш можно получить, заменив половину 10-разрядных значений мантиссы (через одно) 9-разрядными значениями разностей между предыдущими и последующими значениями отсчетов, т. е. применив частично дифференциальную ИКМ. Это так называемая ИКМ с 9,5 разрядами на отсчет.

Значение шума квантования становится при этом пропорциональным масштабу (порядку), т. е. 2^c. Отношение текущего в пределах одной миллисекунды значения сигнала к значению шума квантования при $c=0$ остается таким же, как и при линейной 16-разрядной ИКМ. С увеличением сигнала возрастает c и соответственно уровень шума квантования. Это однако не приводит к заметной потере качества, так как уровень шума квантования не превышает —60 дБ и потому шум квантования маскируется сигналом. В паузах или при очень слабых сигналах $c=0$, и уровень шума квантования оказывается ниже порога слышимости.

На втором этапе вводят помехоустойчивые коды. Поскольку вероятность ошибок в радиоканалах диапазона МВ значительно

больше, чем в кабельных и спутниковых каналах, первые нуждаются в более эффективной защите от помех.

Используют помехоустойчивые коды с неравномерной защитой символов, поскольку заметность щелчков, обусловленных импульсными помехами, зависит от номера разряда («веса») символа. Для кодирования разрядов порядка применяют коды, с помощью которых исправляют от одной до четырех ошибок и обнаруживают пять ошибок среди 128 символов. При этом символы порядка стереосигнала повторяются в четырех кодовых словах, что позволяет их правильно восстановить, даже если одно-два кодовых слова приняты с ошибкой, обнаруженной или необнаруженной. Шестые разряды мантисс и половина, если применяется частичная дифференциальная ИКМ, седьмых разрядов кодируются кодом, исправляющим четырехкратные ошибки. Обнаружения пятикратных ошибок не производят, так как шестые разряды в отсчетах слабо коррелированы, и маскировка ошибок здесь не эффективна. Восьмые и девятые разряды передают без защиты от ошибок.

Соседние отсчеты сильно коррелированы, в связи с этим целесообразно помимо исправления ошибок определенной кратности обнаруживать ошибки бо́льшей кратности и заменять такие ошибочные отсчеты результатом интерполирования по двум соседним отсчетам, т. е. маскировать ошибки. В большинстве случаев восстановленный отсчет очень мало отличается от истинного, и если маскировка производится не слишком часто, результат получается вполне удовлетворительным.

Из центральной аппаратной радиодома сигналы направляются по цифровым соединительным линиям на местный радиопередатчик сети цифрового радиовещания, а по междугородным каналам звукового вещания, в том числе по спутниковым линиям связи, на другие радиопередатчики сети. Частота дискретизации для трактов первичного и вторичного распределения программ принята равной 32 кГц, поэтому на выходе радиодома устанавливают транскодер.

Аппаратура цифрового вещания АЦВ на городских СЛ занимает для передачи спектр линейных трактов системы ИКМ-30. В одном линейном тракте организуют четыре монофонических канала вещания высшего класса качества или два стереофонических. В состав АЦВ (рис. 9.16) входят комплекты кодирования ККВ и декодирования КДВ и комплект первичного временного группообразования КПВГ, формирующий из четырех цифровых потоков по 512 кбит/с первичный цифровой поток 2048 кбит/с. В цифровые СЛ включены линейные регенераторы Р.

Кодирование осуществляется в блоке ККВ (рис. 9.17). Через входной усилитель У1 сигнал поступает на фильтр нижних частот ФНЧ, ограничивающий спектр сигнала частотой 15 кГц, далее на амплитудно-импульсный модулятор АИМ, кодирующее устройство

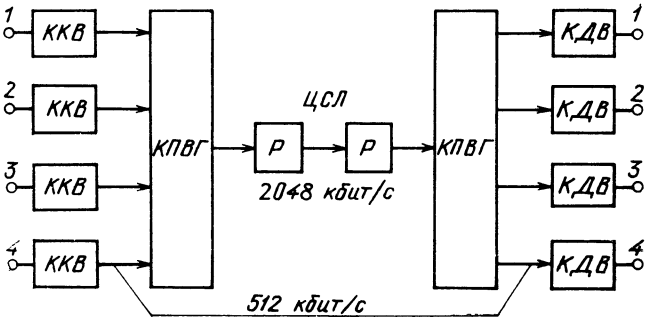


Рис. 9.16. Структурная схема цифровой аппаратуры для передачи сигналов звукового вещания по городским соединительным линиям (АЦВ)

КУ и, наконец, на выходной усилитель У2. В кодирующем устройстве происходит нелинейное квантование и 12-разрядное кодирование сигнала со сжатием динамического диапазона. Характеристика сжатия показана на рис. 9.18. В процедуры кодирования входят определение полярности и номера сегмента характеристики сжатия, соответствующего кодируемому сигналу, и линейное кодирование в пределах сегмента. Кодовая группа, соответствую-

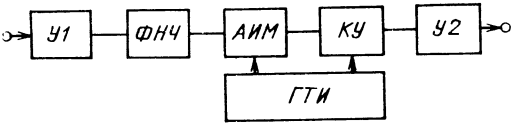


Рис. 9.17. Структурная схема блока кодирования сигналов звукового вещания ККВ аппаратуры цифрового вещания АЦВ

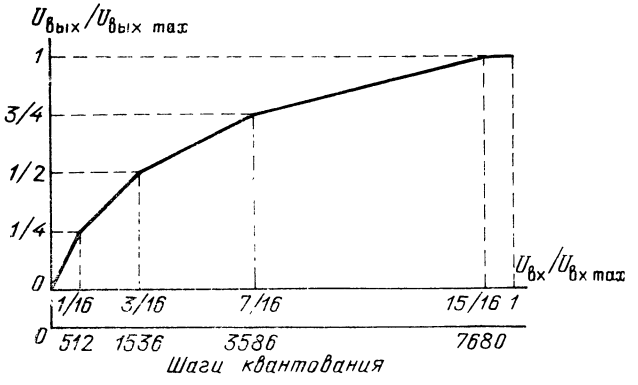


Рис. 9.18. Амплитудная характеристика кодера АЦВ

щая одному отсчету сигнала, состоит из 12 символов: первый характеризует полярность сигнала, второй и третий — номер сегмента (в двоичном коде), в пределах которого располагается значение кодируемого импульса. Двуразрядных кодовых комбинаций оказывается достаточно, поскольку характеристика сжатия содержит четыре сегмента. Последующие девять символов используются для линейного кодирования сигнала в пределах сегмента. Следовательно, линейная шкала в пределах каждого сегмента содержит $2^9=512$ шагов квантования. Размер шага от сегмента к сегменту увеличивается в 2 раза.

При формировании общего цифрового потока для каждой кодовой комбинации используется 16 позиций: двенадцать из них заняты информационными символами, одна — передачей информации об уровне сигнала в аналоговой части системы (выше или ниже заданного), одна — защитой от ошибок в шести старших разрядах кодовой группы. Защитный символ выбирается таким образом, чтобы число единиц в защищаемых шести разрядах всегда было нечетным. Если при приеме число единиц окажется четным, это будет означать, что при передаче произошла одиночная ошибка. В этом случае кодовая группа, принятая с ошибкой, не декодируется, а заменяется предыдущей. Тем самым осуществляется маскирование ошибки.

На выходе блока ККВ сигнал представляет собой последовательность импульсов, причем символу «единица» соответствует появление импульса, а символу «нуль» — его отсутствие.

Синхронно-синфазное объединение и разделение цифровых потоков происходит в блоках КПВГ. Последовательность символов разбита на циклы, каждый из которых содержит 64 позиции. Длительность цикла 31,25 мкс. Два последовательных цикла образуют сверхцикл соответственно длительностью 62,5 мкс. Первый из двух циклов, входящих в сверхцикл, содержит сверхцикловой синхросигнал (последовательность групп вида 0000 или 1111). Он передается на четырех первых позициях. Остальные 60 позиций заняты информационными символами. Во втором цикле сверхцикла первая и вторая позиции заняты сигналами служебной связи, третья — сигналом вызова связи, четвертая — передачей на противоположную станцию извещения об отсутствии сверхцикловой синхронизации. Остальные 60 позиций также заняты информационными символами.

Структурная схема передающей части КПВГ изображена на рис. 9.19,*а*, приемной части — на рис. 9.32,*б*. На входы устройства объединения УО поступают четыре синхронно-синфазных потока. На входы УО в цифровой форме поступают также сигналы служебной связи, вызова и извещения об отсутствии сверхцикловой синхронизации. Первичный цифровой поток формируется методом посимвольного объединения и далее в скремблере С скла-

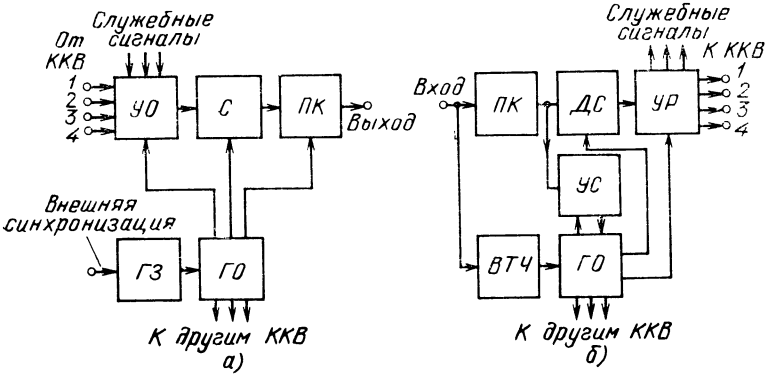


Рис. 9.19. Структурные схемы передающего (*а*) и приемного (*б*) блоков комплекта первичного временного группообразования КПВГ

дывается с периодически повторяющейся псевдослучайной последовательностью импульсов. Свойства скремблированного сигнала приближаются к свойствам случайной последовательности. Это улучшает условия действия оборудования линейного тракта и выделителя тактовой частоты ВТЧ в приемной части оборудования КПГ.

Для стыковки передающей части КВПГ и оборудования линейного тракта используется преобразователь кода ПК, в котором простой двоичный код превращается в линейный код с чередованием полярности импульсов. Полярность импульсов исходного кода, соответствующих символу «единица», поочередно меняется, а символы «нуль» передаются пробелом, как в исходном коде (рис. 9.20). Спектр сигналов с чередованием полярности импульсов отличается от спектра исходного кода тем, что основная часть энергии сигнала сосредоточена не в области нижних частот, а вблизи полутактовой частоты. Постоянная составляющая у кода с чередованием полярности импульсов отсутствует, а уровень низкочастотных составляющих мал. Такой сигнал можно передавать по линиям связи, содержащим трансформаторы. К тому же оказывается возможным питать линейные регенераторы по физическим цепям, а не организовывать для этой цели фантомные цепи.

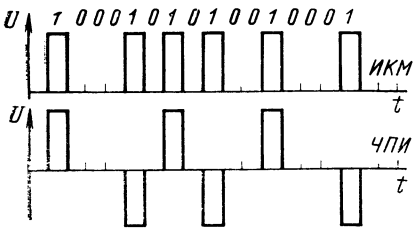


Рис. 9.20. Преобразование двоичного кода (*а*) в линейный код с чередованием полярности импульсов ЧПИ (*б*)

В приемном КПВГ сигнал поступает на преобразователь кода ПК. В нем биполярный код пре-

образуется в униполярный сигнал с ИКМ. В выделителе тактовой частоты ВТЧ формируются импульсы тактовой синхронизации. После преобразователя кода групповой сигнал поступает на дескремблер ДС и одновременно на устройство передающей и приемной частей КПВГ и восстановление синхронизма разделения УР. Групповой сигнал разделяется на четыре исходных цифровых потока, выделяются сигналы служебной связи, вызова и извещения о потере сверхцикловой синхронизации.

В комплекте декодирования (рис. 9.19) проверяются шесть старших символов кодового слова на нечетность и формируется сигнал считывания записи информации в регистр декодера. Если число единиц четное, сигнал считывания не формируется и кодовая группа заменяется предыдущей. Затем цифровой сигнал преобразуется в сигнал с амплитудно-импульсной модуляцией и, наконец, с помощью ФНЧ выделяется сигнал звуковой частоты.

К настоящему времени еще не сложились определенные взгляды на то, какой должна быть структура цифровой сети подачи программ. Предполагается, что по сети необходимо передавать шесть стереофонических программ. Сигналы всех программ объединяются в общий цифровой поток с помощью линейной ИКМ при числе разрядов в каждом отсчете — 16. Для передачи объединенного цифрового потока рекомендована скорость 4,096 Мбит/с. Такую скорость, например, обеспечивают два комплекта аппаратуры КВЦ, действующие по линейным трактам системы ИКМ-30. Принятые по двум трактам ИКМ-30 цифровые потоки со скоростями 2,048 Мбит/с на каждом вещательном радиопередающем центре объединяются снова в общий поток, имеющий скорость 4,096 Мбит/с.

При реализации этой идеи возникают некоторые трудности. В соответствии с международными рекомендациями, расчетами и опытом при такой скорости цифрового потока можно обеспечить передачи сигналов 10 монофонических программ или пяти стереофонических (с полосой частот по высшему классу качества, т. е. 15 кГц), чтобы уложиться в заданную скорость цифрового потока, нужно решить задачу своеобразного статистического уплотнения: обеспечить передачу стереофонического сигнала каждой программы в среднем в течение 83% времени. Эту задачу предполагается решать путем автоматического перехода трактов со стерео- на монорежим в соответствии с содержанием программы. Нет, например, особой нужды в стереорежиме при передаче новостей или объявлений. Для оперативной автоматической коммутации трактов методом статистического уплотнения необходимо в общем цифровом потоке передавать сигналы управления трактами. Другое решение вопроса — сокращение избыточности цифровых сигналов.

9.7. ЦИФРОВОЕ РАДИОВЕЩАНИЕ

Через один радиопередатчик предполагается передавать сигналы шести программ, представленные в форме с «плавающей запятой» с 10-разрядной мантиссой и трехразрядным порядком. Будучи объединены в общий цифровой поток, они модулируют вещательный радиопередатчик методом двукратной фазоразностной модуляции. Информация передается разностью фаз между посылками в соответствии с табл. 9.1.

Посылки принимают четыре значения: 0°, если по обоим кратам передаются единицы, 90°, если в первом крате — единица, во втором — нуль, 180° — в обоих кратах передаются нули, 270° — в первом крате — нуль, во втором — единица. Получается, что каждая посылка содержит два бита информации, поэтому при демодуляции получаются два параллельных цифровых потока — первого и второго крата. Их рассматривают как единый цифровой поток, разделенный на две параллельно передаваемых части.

Прием программ цифрового радиовещания предполагают вести с помощью индивидуальных (например, автомобильных) и групповых (коллективных, домовых) устройств. В первом случае используют индивидуальный цифровой тюнер, во втором — групповой тюнер, с выхода которого по волоконно-оптическим линиям сигналы подают в квартиры. Предполагается также, что в жилые дома сигналы цифрового звукового вещания будут поступать по системам цифрового проводного вещания, например с помощью аппаратуры ИКМ-30. В этом случае в доме сигнал подают на модулятор и преобразуют в спектр одного из телевизионных каналов и далее распределяют по квартирам по внутридомовой кабельной сети коллективного приема телевидения.

Для упрощения радиоприемных устройств предполагалось создать одночастотную сеть в диапазоне 100 ... 104 или 104 ... 108 МГц, например с несущей частотой 106 МГц и шириной спектра 4 МГц. В каждой зоне обслуживания антенна фазоманипулированного передатчика излучает сигналы стереофонических программ на

Таблица 9.1

Разность фаз, градусы	Двоичная информация	
	Первый крат	Второй крат
0	1	1
90	1	0
180	0	0
270	0	1

единой несущей частоте. Защитное отношение для простого автокорреляционного детектора составляет примерно 10 дБ. При таком отношении С/П вероятность ошибочного приема равна примерно 10^{-4}. С помощью защитных кодов это отношение может быть доведено до 10^{-8}, что обеспечит хорошее качество приема. Предполагаемая система радиовещания должна была действовать с заданным высоким качеством, пока вероятность ошибочного приема не превысила бы 10^{-3}. После достижения этого порога система не будет действовать.

Расчеты, проведенные кафедрой радиовещания и электроакустики МИС, показали, что при защитном отношении 10 дБ, необходимом для устойчивой работы радиоприемника, необслуживаемая площадь составит 65% общей площади, что неудовлетворительно. Чтобы необслуживаемая площадь не превышала 2% общей площади, необходимо на границе зоны обслуживания применять антенны с коэффициентом направленного действия не менее 10 (20 дБ), что довольно сложно. При приеме на автомобильные или переносные радиоприемники пришлось бы применять направленные антенны с электронной перестройкой диаграммы направленности. Таким образом, одночастотные сети не могут обеспечить должной эффективности вещания [7].

Практическое значение могут представить трехчастотные сети. В этом случае, учитывая защитное отношение по соседнему каналу, получим, что необслуживаемая площадь составит примерно 2% при защитном отношении 10 дБ и 0,4% при защитном отношении 6 дБ. Но трехчастотная сеть не вписывается в рамки выделенного для цифрового радиовещания диапазона частот. Уменьшения занимаемой полосы частот можно достичь либо уменьшением числа передаваемых программ, либо увеличением кратности модуляции. Рассматриваются и другие способы разрешения возникшей проблемы.

9.8. СТЕРЕОФОНИЧЕСКИЕ ЦИФРОВЫЕ ПРИЕМНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Внедрение цифровых способов преобразования сигналов в приемные устройства идет двумя путями: введением некоторых цифровых устройств, чаще всего различных регуляторов, в аналоговые приемники и созданием полностью цифровых устройств. В предполагаемый бытовой приемный комплекс (рис. 9.21) должны входить собственно радиовещательный приемник или тюнер, другие источники цифровых вещательных сигналов, усилительно-коммутационное устройство, оконечные усилители звуковых частот УЗЧ и акустические системы АС.

Источниками цифровых сигналов могут быть: индивидуальный цифровой тюнер, линия от коллективного (группового) тюнера, цифровой магнитофон, проигрыватель компакт-дисков. Для приема программ, передаваемых радиовещательными станциями диапазона МВ с частотной модуляцией, в состав комплекса необходимо ввести МВ-ЧМ тюнер с частотно-цифровым преобразовате-

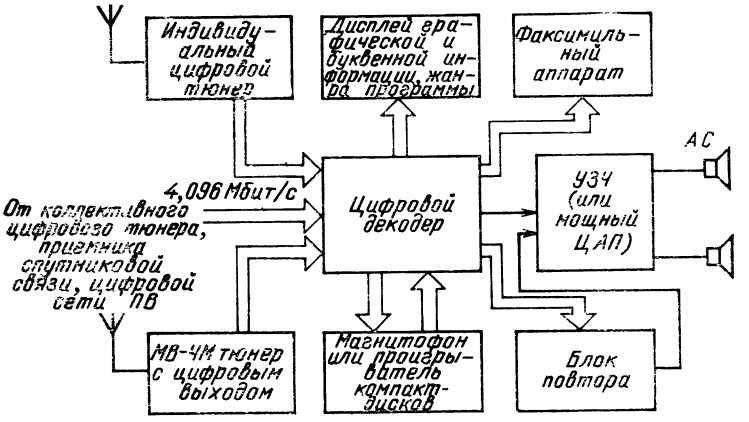


Рис. 9.21. Структура стереофонического цифрового приемного комплекса

лем. Сигналы могут поступать также от коллективного приемника спутниковой связи и от модулятора цифровой сети проводного вещания.

После цифрового декодера следуют усилители звуковых частот и акустические системы. Цифровой декодер и УЗЧ могут быть заменены мощным ЦАП, непосредственно нагруженным на акустические системы. Мощный ЦАП преобразует сигналы с ИКМ в импульсы, модулированные по длительности. Эти импульсы управляют электронными ключами, через которые проходит ток в несколько ампер. Импульсы этого тока превращаются в аналоговые сигналы в фильтрах акустических систем.

Наряду с основными устройствами в цифровой приемный комплекс входят вспомогательные блоки; табло индикации содержания (жанра) не прослушиваемых в данное время программ, дисплей для демонстрации графической или буквенной информации, блок управления комплексом, блок повтора. Последний предназначен для повторения небольших частей принимаемой программы. Он состоит из следующих блоков, показанных на рис. 9.22, — преобразователя, пре-

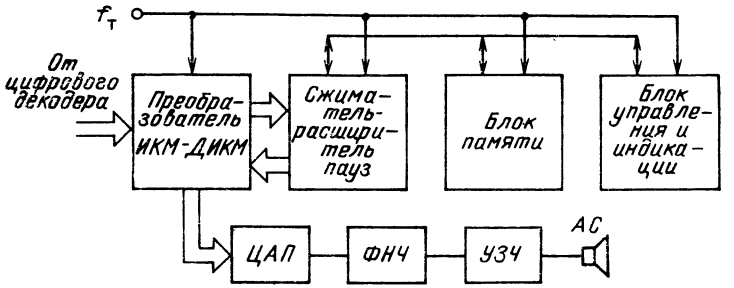


Рис. 9.22. Структурная схема блока повтора

вращающего ИКМ-сигнал в 32-килобитный сигнал с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией ДИКМ с целью уменьшения объема блока памяти, сжимателя-расширителя длительности пауз, блока памяти накопителя, цифро-аналогового преобразователя ДИКМ в ИКМ. Кроме того, в блок повтора входит блок управления и индикации. Из блока памяти цифровой сигнал через расширитель пауз, где восстанавливается исходная длительность пауз, поступает в ЦАП и далее в аналоговую часть комплекса.

Цифровые системы радиовещания и звукозаписи предъявляют особые требования к акустическим системам. Они должны обеспечить воспроизведение сигналов с максимальным динамическим диапазоном 70 ... 75 дБ, создаваемым большим симфоническим оркестром. Определим максимальный уровень звукового давления, который должны развивать акустические системы. Приняв уровень акустических шумов в жилых комнатах 30 дБ и соответственно минимальный уровень звукового давления 40 дБ, получим, что максимальный уровень достигнет 40+75=115 дБ. Если положить, что акустические системы имеют уровень паспортной чувствительности 90 дБ/м Вт, то к акустическим системам нужно подводить электрическую мощность свыше 300 Вт, что нереально. К тому же серийно выпускаемые акустические системы имеют уровень паспортной чувствительности 82 ... 86 дБ/м·Вт, а массовые недорогие акустические системы — 82 ... ... 84 дБ/м·Вт. Более приемлемой следует признать электрическую мощность 40 Вт. Ее обеспечивают многие выпускаемые усилители звуковых частот. Чтобы при этом получить указанный выше уровень звукового давления, акустические системы должны обладать уровнем паспортной чувствительности 98 дБ/м·Вт. Систем с такими параметрами пока нет.

Чтобы сконструировать головки для таких акустических систем, потребуются большие усилия конструкторов и технологов. Нужно использовать магнитные материалы, с помощью которых удастся создать магнитную индукцию в зазоре магнитной системы головок 1,2 ... 1,5 Тл (пока она не превышает 1,0 Тл). Чтобы лучше использовать объем, занимаемый обмоткой катушки, необходимо изменить сечение провода обмотки с круглого на прямоугольное и вместо меди применить алюминий; в результате удастся увеличить чувствительность головок на 3 дБ, что эквивалентно уменьшению подводимой к головке мощности вдвое. С целью дальнейшего уменьшения массы подвижной системы головки желательно отказаться от традиционного материала конуса (диффузора) и вместо бумажной массы использовать угольное волокно, поливинилхлорид, полипропилен. Это позволит уменьшить массу на 30 ... 50% и одновременно значительно уменьшить частотные и нелинейные искажения. Если реализация перечисленных предложений окажется затрудненной, придется отказаться от неискаженного воспроизведения кратковременных пиков уровня и ограничиться меньшей величиной воспроизводимого динамического диапазона, например 60 дБ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей книге авторы стремились возможно полнее раскрыть современное состояние техники стереофонического вещания. Но ограниченный объем книги не позволил коснуться некоторых важных, специфических вопросов стереофонии. Это — акустика помещений, из которых ведутся и в которых воспроизводятся стереофонические передачи, стереозвук в телевидении, многоканальные адаптивные системы звукопередачи, стереофонические системы звукоусиления в концертных и кинотеатральных залах большой вместимости. Каждый из этих вопросов может стать и, наверное, станет содержанием самостоятельных книг.

Вглядываясь в будущее стереофонии, можно наметить следующие актуальные, на наш взгляд, направления развития стереофонии:

1. Разработка, внедрение в производство и практику новых более совершенных, обладающих бо́льшими возможностями профессиональных вещательных устройств, прежде всего, звукорежиссерских (микшерных) пультов, устройств эффектов, многодорожечных магнитофонов с цифровым управлением и контролем, а в дальнейшем — полностью цифровых.

2. Совершенствование техники и технологии формирования и записи стереофонических сигналов, поиск и нахождение более выразительных творческих и технических приемов формирования стереофонических сигналов.

3. Дальнейшая разработка трактов и аппаратуры передачи стереофонических сигналов по соединительным линиям и междугородным каналам звукового вещания, расширение сети стереофонических междугородных и международных каналов в магистральных наземных и спутниковых системах связи, особенно основанных на дискретных (цифровых) методах передачи.

4. Внедрение каналообразующей аппаратуры, основанной на передаче комплексного стереофонического сигнала, для распространения сигналов стереопрограмм внутри областей и республик, не имеющих областного деления, что позволит экономно, с помощью одного комплекса аппаратуры формирования КСС осуществлять модуляцию нескольких передатчиков областной или республиканской сети диапазона МВ.

5. Решение проблем стереофонического радиовещания через радиопередатчики диапазона ГМВ и стереофонического проводного вещания; исследование возможностей унификации технических параметров этих двух систем стереофонического вещания.

6. Использование антенн коллективных сетей приема телевизионных программ для приема сигналов стереофонического радиовещания с целью повышения качества стереофонического радиоприема в крупных городах в диапазоне МВ.

7. Широкое внедрение специализированных интегральных схем в стереофонические радиоприемные устройства с целью упрощения их настройки при производстве и для повышения стабильности параметров и надежности во время эксплуатации.

8. Продолжение исследований иных стереофонических систем и устройств (бифонических, адаптивных, матричных и других), освоение для стереофонического радиовещания нового диапазона частот 100 ... 108 МГц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Акустика.** Справочник/А. П. Ефимов, А. В. Никонов, М. А. Сапожков, В. И. Шоров/Под ред. М. А. Сапожкова. — М.: Радио и связь, 1989.— 336 с.
2. **Алексеев Ю. П.** Бытовая приемно-усилительная аппаратура. — М.: Радио и связь, 1987. — 448 с.
3. **Багларов И. А.** Исследование возможностей передачи стереофонических программ по каналам многопрограммного проводного вещания: Дис. канд. техн. наук. — М., 1975. — 223 с.
4. **Берендюков Ю. В. и др.** Квадрофония система АВС//Ю. В. Берендюков, Ю. В. Ковалгин, А. Синицын, А. Егоров//Радио. — 1982. — № 9. — С. 44—48.
5. **Выходец А. В., Балан Н. М.** Стереофоническая система АМ вещания//Тр. уч. ин-тов связи. — Вып. «Системы и сети передачи информации». — 1988.— С. 150—156.
6. **Власов Ф. И.** Цифровая звукотехника: вопросы развития//Телевидение и радиовещание. — 1985. — № 3. — С. 91—97.
7. **Гитлиц М. В., Зеленин А. Ю., Попов О. Б.** Анализ возможностей построения сети цифрового звукового вещания в диапазоне метровых волн//Тр. уч. ин-тов связи. — Вып. «Системы и сети передачи информации». — 1986. — С. 86—92.
8. **Гитлиц М. В.** Магнитная запись сигналов. — М.: Радио и связь, 1990. — 232 с.
9. **Глухов А. А., Зорин И. Ф., Никонов А. В.** Измерения и контроль в трактах звукового вещания. — М.: Радио и связь, 1984. — 304 с.
10. **Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н.** Цифровая обработка сигналов. — М.: Радио и связь, 1985. — 256 с.
11. **Дворецкий И. М., Дриацкий И. Н.** Цифровая передача сигналов звукового вещания. — М.: Радио и связь, 1987. — 191 с.
12. **Дзядчик В. Я. и др.** Однополосная модуляция в проводной стереофонии/ В. Я. Дзядчик, А. П. Ефимов, В. Г. Волков, В. И. Сасаров//Труды НИИР.— 1981, № 2. — С. 45—49.
13. **Ефимов А. П.** Проблемы стереовещания на гектометровых волнах//Электросвязь. — 1990. — № 11. — С. 17—19.
14. **Ефимов А. П., Кулешова Г. В.** Статистическое исследование затухания каналов трехпрограммного проводного вещания//Тр. уч. ин-тов связи. — Вып. 114 «Системы и средства передачи информации по каналам связи». 1983,— с. 84—89.
15. **Ефимов А. П.** Особенности акустики телевизионных студий. — М.: ВЗЭИС, 1984. — 68 с.
16. **Ефимов А. П., Сасаров В. И.** Оценка технической совместимости стереофонической системы при квадратурной модуляции//Радиотехника. — 1979.— Т. 34, № 6. — С. 37—39.
17. **Ефимов А. П.** Цифровые методы в радиовещании. — М.: МИС, 1988. — 90 с.
18. **Жмурин П. М.** Стереодекодеры. — М.: Связь, 1980. — 216 с.

19. **Жмурин П. М.** Кодирование и декодирование стереофонических сигналов в системе с полярной модуляцией//Электросвязь. — 1984. — № 10. — С. 21—25.
20. **Ковалгин Ю. А.** Стереофония. — М.: Радио и связь, 1989. — 272 с.
21. **Кононович Л. М., Ковалгин Ю. А.** Стереофоническое воспроизведение звука. — М.: Связь, 1981. — 185 с.
22. **Колесников В. М., Банк М. У., Финк Л. М.** К проведению опытного цифрового радиовещания в СССР//Техника средств связи. Сер. ТРПА. — 1984.— Вып. 3. — С. 3—10.
23. **Комбинированные** автоматические регуляторы уровня сигналов типа «Норма»/А. П. Ефимов, Э. Б. Кузнецов. — М.: РИО Гостелерадио СССР, 1990. — 96 с.
24. **Левин Л. С., Плоткин М. А.** Цифровые системы передачи. — М.: Радио и связь, 1982. — 251 с.
25. **Лукьянов Д.** Музыка нулей и единиц//Радио. — 1986. — № 5, 6, 8, 9.
26. **Никонов А. В.** Звукотехническое оборудование радиодомов и телецентров. — М.: Радио и связь, 1986. — 152 с.
27. **Никонов А. В., Есаков В. Ф.** Автоматические регуляторы уровня радиовещательных сигналов. — М.: Радио и связь, 1983. — 102 с.
28. **Никонов А. В.** Звукорежиссерские микшерные пульты. — М.: РИО Гостелерадио СССР, 1986. — 110 с.
29. **Никонов А. В., Паперное Л. З.** Измерители уровня звуковых сигналов.— М.: Радио и связь, 1981. — 113 с.
30. **Применение** цифровой обработки сигналов/Под ред. Э. Оппенгейма; Пер. с англ. А. Н. Рязанцева. — М.: Мир, 1980.
31. **Радиовещание** и электроакустика//А. В. Выходец, М. В. Гитлиц, Ю. А. Ковалгин и др./Под ред. М. В. Гитлица. — М.: Радио и связь, 1989, — 430 с.
32. **Сасаров В. И.** Некоторые вопросы построения стереофонических систем вещания: Дис. канд. техн. наук. — М., 1980. — 245 с.
33. **Сасаров В. И., Ефимов А. П.** Способ формирования и декодирования сигналов в квадрофонической системе//в кн. XXXV Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. Тезисы докладов. — М.: Радио и связь, 1980. — С. 10—11.
34. **Терепинг А. А.** Бинауральные фазовые сдвиги в стереофонии//Техника кино и телевидения. — 1982, № 3. — С. 27—28.
35. **Техника** проводного вещания и звукоусиления/Б. К. Барановский, В. Б. Булгак, В. И. Верба и др.; Под ред. В. Б. Булгака и А. П. Ефимова. — М.: Радио и связь, 1985. — 288 с.
36. **Щербина В. И.** Цифровая звукозапись. — М.: Радио и связь, 1989. — 192 с.
37. **Юшкявичус Г. З., Хлебников В. И., Никонов А. В.** Направления развития стереофонического радиовещания в СССР//Электросвязь. — 1984, № 10. — С. 6—12.
38. **Пат. 407204 США.** AM Stereophonic Transmission System. Опубл. 14.3.78.
39. **Пат. 390090 США.** Compatible Stereophonic Transmission System/Leonard R. Kahn. Опубл. 23.9.75.
40. **А. с. 145120 СССР.** Совместимая система стереофонического вещания/А. В. Выходец, Н. М. Балан. — Опубл. 1989. Бюлл. № 1.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение 4

1. Психофизиологические основы стереофонии 6

1.1. Основные свойства слухового восприятия 6
1.2. Стереофонический эффект и его составляющие 10
1.3. Способы передачи и воспроизведения стереофонического эффекта 15
1.4. Искажения в каналах и трактах стереофонического вещания. Нормы на параметры качества 18

2. Способы формирования стереофонических сигналов 20

2.1. Система АВ 20
2.2. Система XY 22
2.3. Система MS 23
2.4. Комбинированные системы 25
2.5. Бифоническая система 27
2.6. Стереофонические регуляторы направления и базы 28
2.7. Выбор помещений для стереозаписей 33
2.8. Стереофонические микрофоны 37
2.9. Субъективная оценка качества звучания 43
2.10. Визуальный контроль стереофонических сигналов 45

3. Запись стереофонических сигналов 47

3.1. Способы записи 47
3.2. Стереофоническая магнитная запись 48
3.3. Стереофоническая механическая запись 52
3.4. Матричные системы механической записи 58

4. Устройства обработки стереофонических сигналов 63

4.1. Виды обработки 63
4.2. Стереофонические звукорежиссерские пульты 66
4.3. Частотные корректоры 81
4.4 Ручные и автоматические регуляторы уровня 85
4.5. Реверберато́ры и линии задержки 94
4.6. Устройства спецэффектов 98

5. Стереофоническое радиовещание 102

5.1. Обзор систем 102
5.2. Система с полярной модуляцией 103
5.3. Система с пилот-тоном 110
5.4. Система с двойной частотной модуляцией 113
5.5. Особенности построения стереофонических радиопередатчиков диапазона метровых волн 115
5.6. Узкополосные стереофонические системы 119
5.7. Принципы построения систем и трактов первичного и вторичного распределения сигналов стереофонических программ . . . 127