§ 6.3. ЗВУКОПОГЛОЩЕНИЕ И ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

Знакомясь с явлением послезвучания (реверберация) в помещении, мы сталкиваемся с звукопоглощением. Под звукопоглощением следует понимать ослабление звука вследствие поглощения их облицовочными материалами помещения, предметами, одеждой людей и т. п. При этом энергия звука частично поглощается, частично отражается. Свойство материала поглощать падающую звуковую энергию оценивают коэффициентом звукопоглощения.

Коэффициент звукопоглощения материала (α) определяется как отношение поглощенной звуковой энергии ΔE к падающей энергии E: $\alpha = \frac{\Delta E}{E}$ и измеряется в единицах звукопоглощения (сэбин). За такую единицу принята величина звукопоглощения плоской поверхности площадью в 1 м^2, целиком поглощающей звук. Общее звукопоглощение A звукопоглотителя (поверхностного) равно произведению коэффициента звукопоглощения на его площадь ($A = \alpha_{\text{п}} S_{\text{п}}$).

Если в помещении имеются предметы или люди, то общее звукопоглощение определяется произведением коэффициента поглощения α_i на количество предметов или людей $A = \alpha_i N_i$. Часто пользуются средним значением коэффициента звукопоглощения, его определяют так:

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{\sum_{1}^{n} \alpha_{\text{п}} S_{\text{п}} + \sum_{1}^{i} \alpha_i N_i}{S_{\Sigma}},$$

где S_{Σ} — полная поверхность помещения.

Коэффициент звукопоглощения зависит от частоты звука и угла падения звуковых волн на поверхность материала. Значения коэффициентов звукопоглощения различных материалов, конструкций и т. п. приведены в справочной литературе по архитектурной акустике.

Свойствами поглощения звука обладают все без исключения строительные материалы.

Различают несколько типов звукопоглощающих материалов и конструкций: пористые материалы, резонансные конструкции (резонаторы с колеблющейся пластиной и воздушные резонаторы).

Пористые материалы в основном являются высокочастотными звукопоглотителями. К ним относятся пористые акустические плиты из материалов волокнистой структуры с гибким скелетом — древесноволокнистые, минераловатные, стекловолокнистые, капроновые и т. п.; пористые акустические плиты на основе материалов с жестким скелетом, изготавливаемые из минеральной крошки (пеноперлиткерамики, пемзалита, перлита и т. д.), пористые акустические плиты из неволокнистых материалов с упругим скелетом,

пенополиуретановый поропласт, поливинилхлорид и т. п., различные драпировки и ковры. К ним относятся также пористые акустические штукатурки, состоящие из легкого заполнителя, например, вермикулита или перлита и связующего элемента.

При падении звуковых волн на материалы с открытыми порами, каковыми являются пористые материалы, звук поглощается за счет перехода энергии колеблющихся частиц воздуха в теплоту вследствие потерь на трение в звукопоглотителе. Частотные характеристики коэффициента поглощения некоторых пористых материалов даны на рис. 6.5.

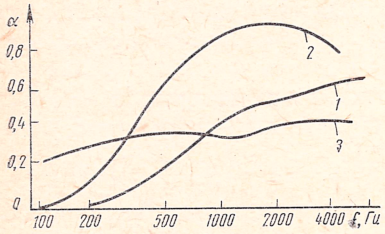


Рис. 6.5. Частотная зависимость коэффициента звукопоглощения

Резонансные конструкции с колеблющейся пластиной обычно выполняются в виде деревянных, фанерных или иных щитов, расположенных на некотором расстоянии от поверхности. Воздушный промежуток для повышения затухания заполняют полностью или частично пористым звукопоглощающим материалом (6.6*а*).

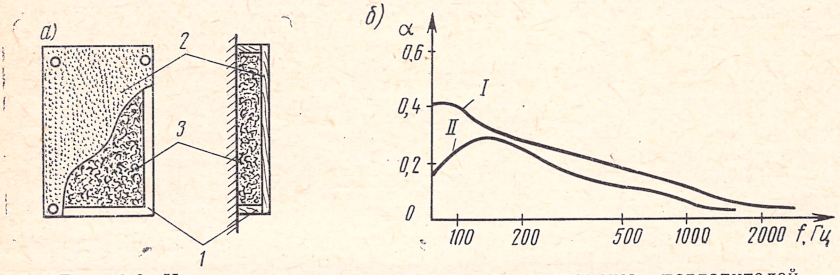


Рис. 6.6. Конструкция и характеристика резонансных поглотителей

Колебания, возникающие в конструкции при падении на нее звуковых волн, становятся наиболее интенсивными при резонансе, когда частота звука совпадает с частотой собственных колебаний конструкции. При наличии трения в пластине часть падающей звуковой энергии поглощается, наибольшее поглощение происходит вблизи резонансной частоты пластины, поэтому такие конструкции называют резонансными.

В резонансных конструкциях покровный лист может быть выполнен из эластичных пленок (например, полиэтилена). Пространство между пленкой и стеной также заполняют полностью или частично пористым волокнистым материалом или тканью. Мембрана, закрепленная на раме, расположенной на некотором расстоянии от жесткой стены, приходит в колебательное движение под действием падающей звуковой волны. Внутреннее натяжение мем-

браны и объем воздуха позади мембраны создают упругую реакцию. С учетом массы мембраны и определяют частоту резонанса. Поглощение звука заполнителем определяет остроту резонанса. Подобные конструкции обеспечивают значительное поглощение на низких частотах, где пористые материалы обычно малоэффективны.

На рис. 6.6*б* показана частотная характеристика коэффициента поглощения асбоцементных плит (АЦЭИД), находящихся на расстоянии 100 мм от ограждения без дополнительного пористого поглотителя (кривая *I*) и с пористым поглотителем (кривая *II*). Размеры плит 1200×800 мм.

Звукопоглощающие конструкции типа «воздушный резонатор» представляют собой замкнутую воздушную полость, соединяющуюся с окружающим воздухом с помощью отверстия «горла». Поглощение в таких конструкциях обусловлено потерями на внутреннее трение в «горле». Примером конструкции «воздушный резонатор» могут служить конструкции с перфорированным покровным листом.

Перфорированные конструкции представляют собой панели (рис. 6.7*а*) с круглыми или щелевыми отверстиями. Иногда за

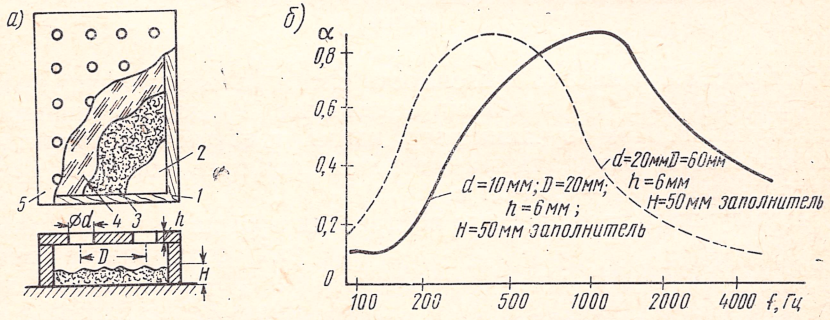


Рис. 6.7. Конструкция и характеристика перфорированных конструкций

перфорированной панелью находится слой пористого материала. Коэффициент поглощения такой конструкции зависит от размеров отверстий (*d*), расстояния между ними (*D*) и толщины слоя заполнителя (*H*).

Этими факторами определяется частотная характеристика (рис. 6.7*б*) коэффициента звукопоглощения.

§ 6.4. ОПТИМАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОМЕЩЕНИЯ

Время реверберации. Время реверберации долго было единственным критерием для оценки акустических качеств помещений.

Оно и сейчас еще сохраняет первостепенное значение, несмотря на появление ряда новых критериев.

При помощи большого числа слушателей, участников опыта, были экспериментально определены значения времени реверберации, соответствующие наилучшим акустическим условиям, наилучшим условиям звукового восприятия. Оказалось, что оптимальные значения времени реверберации зависят от величины, формы, обработки помещения и от характера прослушиваемого материала.

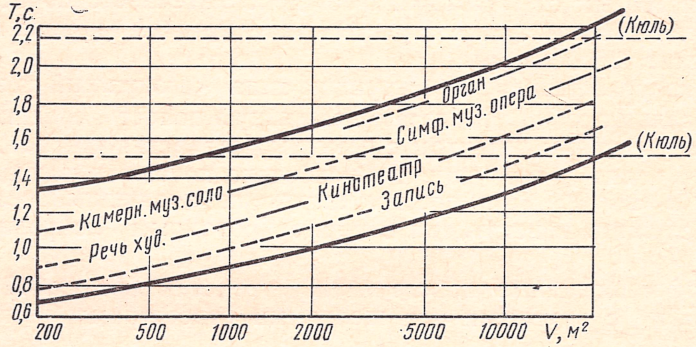


Рис. 6.8. Зависимость времени реверберации от объема помещения

На рис. 6.8 показана зависимость оптимальных значений времени реверберации (T) от объема помещения (V) для различных видов звучаний. При звучании речи, когда требуется сохранить ее разборчивость, оптимальным является наиболее короткое время реверберации: $T_{опт} = 0{,}5 \div 0{,}7$ с.

Для лучшего эстетического восприятия музыкальных произведений оптимальное время реверберации желательно иметь более длительное.

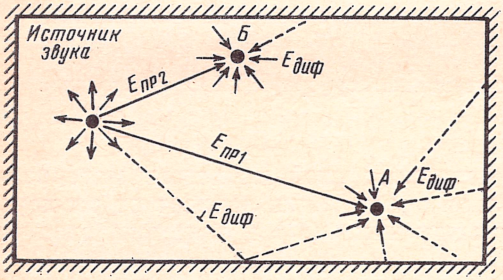


Рис. 6.9. К определению акустического отношения

Акустическое отношение. При звучании речи или музыки в помещении возникает большое число различного вида колебаний. Вновь возбужденные колебания накладываются на предыдущие, если только они еще не успели затухнуть до порога слышимости. Таким образом, затухающие звуки образуют звуковой фон, который по-разному оттеняет звучание источника звука в помещении.

В помещении имеют место прямой звук и отраженные звуки, показанные условно на рис. 6.9. Отраженные звуки создают зву-

ковое поле, близкое по характеристикам к диффузному. Диффузным звуковым полем называется звуковое поле, в котором звуковая энергия распределена равномерно и в каждую точку поля звук поступает с различных направлений с одинаковой энергией.

Отношение плотности энергии отраженных (диффузных) звуков $E_{диф}$ к плотности энергии прямого звука $E_{пр}$ называется **акустическим отношением:**

$$R = E_{диф}/E_{пр}.$$

Соотношение между указанными величинами существенно влияет на качество звучания в помещении. Казалось бы, отсутствие отраженной (диффузной) энергии — самый оптимальный случай, однако, помещение при этом становится мертвым. Это обусловлено тем, что человек привык к наличию отраженной энергии и ее полное отсутствие ему неприятно. Если же акустическое отношение слишком большое, например $E_{диф} \geqslant 20\,E_{пр}$, то звучание происходит на фоне отраженной энергии и речь становится неразборчивой, а качество звучания музыки ухудшается.

Существуют оптимальные значения акустического отношения: для помещений, где преимущественно звучит речь $R_{мин}=0{,}5 \div 1$, $R_{макс}=4 \div 5$; для помещений, где преимущественно звучит музыка $R_{мин}=1 \div 2$, $R_{макс}=8 \div 10$. Большой допуск объясняется следующим: величина диффузной звуковой энергии в помещении одинакова в различных его точках ($E_{диф\,1}=E_{диф\,2}$), величина же энергии прямого звука различная ($E_{пр\,1}<E_{пр\,2}$). Поэтому для зоны, прилегающей непосредственно к источнику звука, получим $R_{мин}$, а для отдаленной зоны — $R_{макс}$. Отношение диффузной энергии к энергии прямого звука в помещении зависит от коэффициента поглощения в помещении, характеристики направленности источника звука, расстояния от источника звука до различных точек помещения. Поэтому подбором указанных величин можно обеспечить оптимальное значение акустического отношения.

Понятность и разборчивость речи. Важным параметром, который характеризует помещение, является наряду с другими понятность речи, оцениваемая критерием разборчивости речи. В любом помещении, где звучит речь, в первую очередь человек старается понять ее, а уже потом обращает внимание на качество звучания речи в помещении.

Разборчивость оценивается в процентах как отношение количества понятных элементов речи к общему количеству передаваемых элементов речи. Элементами речи могут быть выбраны слова, слоги, фразы и т. д. Тогда разборчивость называется соответственно словесной, слоговой и т. п. Нетрудно предположить, что если помещение характеризуется словесной разборчивостью, то она будет выше, чем слоговая разборчивость, поскольку понять слово, имеющее смысл, даже если нечетко его слышишь, проще, чем ничего не выражающий слог. Помещение на разборчивость речи проверяется бригадой экспертов, которым читаются специальные, так называе-

мые артикуляционные таблицы. В артикуляционных таблицах записаны слова или слоги и т. д. Эксперты слушают и записывают. Затем ведется подсчет количества принятых элементов речи и оценивается разборчивость. Помещение имеет отличную разборчивость при словесной разборчивости выше 97% и при слоговой 80%; удовлетворительное качество по разборчивости оценивается 87—93% и 40—56% соответственно. Предельно допустимое значение разборчивости 75—87% по словам и 25—40% по слогам.

§ 6.5. ТИПЫ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ СТУДИЙ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Типы студий. Студия — это специальное помещение с определенными акустическими характеристиками, предназначенное для подготовки и ведения радиовещательных или телевизионных передач, а также для подготовки радиовещательных или телевизионных программ.

Студии классифицируются как по характеру программ, так и по количеству исполнителей, находящихся в студии.

Радиовещательные студии по своему назначению делятся на студии для музыкальных передач крупных, средних и малых форм: камерной музыки, литературно-драматических и речевых передач. Для музыкальных передач существуют большая концертная, средняя концертная, малая концертная студии. Если большая предназначена для 115—140 исполнителей, то малая — для 25—40 исполнителей.

Камерная студия предназначена для музыкальных камерных ансамблей (10—15 исполнителей), для литературно-драматических передач используется блок студий. Речевые студии имеют площадь пола 15—25 м^2 и рассчитаны на одного-двух дикторов. Из них ведется передача текстового материала.

В результате большой исследовательской работы, проделанной за последние годы советскими и зарубежными учеными, были высказаны рекомендации по выбору оптимального времени реверберации для различных типов студий. Оптимальное время реверберации для речевых студий выбирается в пределах 0,4÷0,5 с с линейной частотной характеристикой времени реверберации вплоть до возможно более высоких частот. Соблюдение этих условий обеспечивает высокую разборчивость речи и хорошую передачу индивидуальных особенностей тембра голоса. При небольшой реверберации при быстром чередовании слогов в речи каждый последующий слог будет хорошо различим на фоне предыдущего.

Для концертных студий объемом от 200 до 3000 м^3 оптимальное время реверберации зависит от объема помещения и приближенно может быть определено по эмпирической формуле:

$$\lg T = -0{,}374 + \frac{1}{6}\lg V.$$

Для наиболее благоприятного восприятия музыки рекомендуются прямолинейная частотная характеристика времени реверберации

в области от 500 Гц и выше и подъем характеристики порядка 20—30% на частотах ниже 500 Гц. Для концертных студий, объем которых больше 3000 м³, оптимальное время реверберации не зависит от объема студии.

Оптимальное время реверберации для различных видов музыки (романтической, классической и современной) колеблется от 1,5 до 2,1 с. Так как на практике одна и та же концертная студия может использоваться для всех видов музыки, то при выборе оптимума реверберации принимается компромиссное решение: для студий объемом в пределах 3000÷15 000 м³ оптимальное время реверберации на частоте 500 Гц берется 1,7÷1,8 с.

Акустическая обработка студии. Для обеспечения оптимального времени реверберации и частотной характеристики реверберации в студиях для покрытия ее поверхностей применяют различные звукопоглощающие материалы и конструкции. В большинстве случаев оказывается невозможным ограничиться поглотителем какого-либо одного типа. Звукопоглотители выбирают по справочникам звукопоглощающих и звукоизоляционных материалов с учетом возможностей их приобретения. Кроме обеспечения оптимального времени реверберации в студии должно быть создано диффузное звуковое поле, для чего поверхности студии должны быть сильно расчленены и звукопоглощающие материалы должны быть равномерно распределены (при соблюдении чередования различных типов звукопоглотителей). Характер расчленения и его размеры должны быть целесообразно выбраны. Расчленение эффективно только в определенном диапазоне частот, длина волн которых одного порядка с размерами поверхности. Эффективными являются полуцилиндрические поверхности, поэтому их чаще всего применяют для создания диффузного звукового поля.

§ 6.6. ПОНЯТИЕ О ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ СТУДИЙ

Уровень шума в студии должен быть значительно ниже уровня минимальных сигналов. В связи с этим нормы на допустимый уровень шумов в студии весьма жесткие и приходится осуществлять специальные конструктивные мероприятия для обеспечения допустимого уровня шума. В студии с шумом борются в месте его возникновения (применяют виброизоляцию для вентиляторов, насосов, станков; акустически обрабатывают фойе, расстилают ковры в коридорах и т. д.), а также осуществляют различные мероприятия, направленные на максимальное ослабление шума по пути его прохождения.

Значительное ослабление проникающих шумов достигается планировкой, при которой студии, по возможности, граничат с помещениями, где при эксплуатации низкий уровень шумов. Уровень проникающего шума не должен превышать 30 дБ для радиовещательных студий. Расчет ведется относительно значения звукового давления $2 \cdot 10^{-5}$ Па. Для того чтобы обеспечить достаточно высо-

кую звукоизоляцию студии, применяют особые конструкции основных элементов здания. В том случае, когда студии располагаются на уровне земли и над ними нет шумных помещений, удобно применять конструкцию, получившую название «коробка в коробке» (см. рис. 6.10*а*). Связь между стенами студии и основного

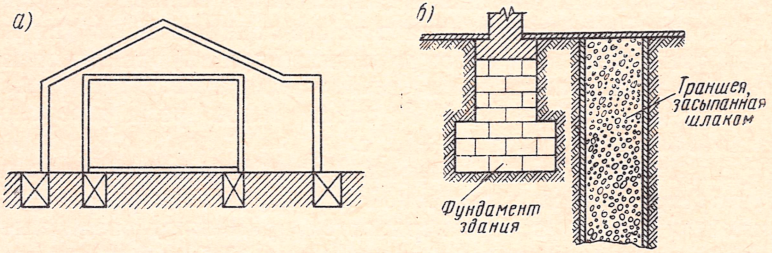


Рис. 6.10. Способы улучшения звукоизоляции помещений

здания при этом осуществляется только через почву. Разъединение фундаментов, а также изоляция их от передачи возбуждения по почве осуществляются обычно с помощью акустических швов вокруг здания. Для этой цели вдоль или вокруг фундамента роется траншея шириной 60—70 см и глубиной примерно вдвое больше, чем глубина фундамента. Траншея засыпается крупным непросеянным шлаком (рис. 6.10*б*).

Особого внимания требуют мероприятия по повышению звукоизоляции дверей студии и смотровых окон, через которые режиссер может видеть исполнителей во время передачи или записи.

Двери обладают, как правило, невысокой собственной звукоизоляцией (от 15 до 20 дБ для дверей обычных конструкций). Наличие в стене дверей с малой звукоизоляцией обесценивает защитное качество стены тем в большей степени, чем больше разность собственных изоляций стены и двери. Во избежание этого входы в студии выполняются в виде тамбуров, внутренняя поверхность которых обрабатывается звукопоглощающими конструкциями. Двери делаются массивными; деревянные полотна отделяются друг от друга свинцовым или стальным листом с мягкими прокладками. Плотный притвор и отсутствие щели над порогом обеспечивается применением профилированных резиновых прокладок. Собственная звукоизоляция такой двери 35—40 дБ; тамбур с двумя такими дверями дает изоляцию до 50 дБ. Смотровое окно выполняется с двойным или тройным застеклением; во избежание совпадения резонансных частот стекла должны иметь различную толщину. Различную величину придают и промежуткам между стеклами в тройном застеклении. Применяются также и конструкции с непараллельными стеклами. Стекла укрепляются в обвязке через амортизирующие резиновые прокладки.

Для небольших студий на радиовещательных узлах (РВУ) рекомендуемая высота окна — 60 см, ширина — 100 см. Располагать его следует на высоте 90 см от пола студии.

Студии при сельских радиотрансляционных узлах размещаются, как правило, в зданиях общего назначения: технических, административных, жилых и т. п. Эти здания обычно расположены в центре населенных пунктов, где наиболее интенсивное движение транспорта и большое скопление людей. Это создает большой уровень шума в непосредственной близости от студии.

Внутри здания также возникают разнообразные шумы: от телеграфных аппаратов, от работающих на предприятиях электросвязи автоматических телефонных станций с шаговыми искателями, транспортеров, штемпелевальных машин и т. д.

Материалы и конструкции, применяемые в домостроении, в той или иной степени являются изоляторами для звуковых колебаний, но далеко не полностью удовлетворяют требованиям на звукоизоляцию студии. Полностью изолировать помещение студии от проникновения внешних шумов практически не представляется возможным. Но, принимая ряд конструктивных и организационных мер, можно значительно уменьшить уровень шумов внутри студии. К общим мерам снижения шумов относятся:

— максимально возможное отдаление помещения студии от источников помех внутри здания (студию нельзя размещать в смежных помещениях с автозалом АТС, телеграфной аппаратной, штемпелевальными машинами, операционным залом и подобными службами);

— расположение студии в помещении, выходящем наружной стеной во двор или на улицу с незначительным движением транспорта;

— озеленение усадьбы, на которой размещается студия: густой рослый кустарник, занимающий полосу шириной 10—15 м, между автомобильной дорогой и зданием является отличным шумоподавляющим средством;

— расположение студии в помещении с глухими стенами без оконных проемов.

Внешние стены помещения студии, расположенного вблизи центра населенного пункта (где шумы наибольшие), должны снижать уровень уличных шумов, проникающих в студию, примерно на 50 дБ.

Такое относительно удовлетворительное подавление шумов обеспечивают кирпичные неоштукатуренные стены толщиной в 2 кирпича; кирпичные, оштукатуренные с обеих сторон стены толщиной в 1,5 кирпича; шлакобетонные, оштукатуренные с обеих сторон стены толщиной 35—40 см; бревенчатые рубленые стены с дощатым каркасом, заполненным мелким шлаком (толщина засыпки 12—15 см, внутренние поверхности стен оштукатурены).

Хорошими звукоизоляционными свойствами обладают панели из пенопласта типа ПХВ, которыми обшивают внутренние поверхности стен. Внутренние перегородки, отделяющие студию от остальных помещений здания, делают из кирпича, железобетонных панелей, древесины и других строительных материалов. Если в

смежных со студиями помещениях расположены «тихие» службы (административные отделы, кабинеты, абонентские бюро и подобные), величина звукоизоляции перегородок может быть меньше, чем у внешних стен. Перегородки должны обеспечивать затухание звуковой энергии $\geqslant$40 дБ. Такое затухание звука обеспечивает, например, перегородка, собранная из двух оштукатуренных дощатых щитов, пустота внутри которых заполнена мелким шлаком (рис. 6.11). Толщина перегородки должна быть не менее 22—25 см.

Пол и потолок при необходимости также должны быть дополнительно покрыты звукоизоляционными материалами (засыпка шлаком пространства между лагами и половицами, наложение на железобетонные перекрытия слоя бетона толщиной 5—10 см, покрытие потолка гипсовыми плитами или плитами из пенопласта и т. д.).

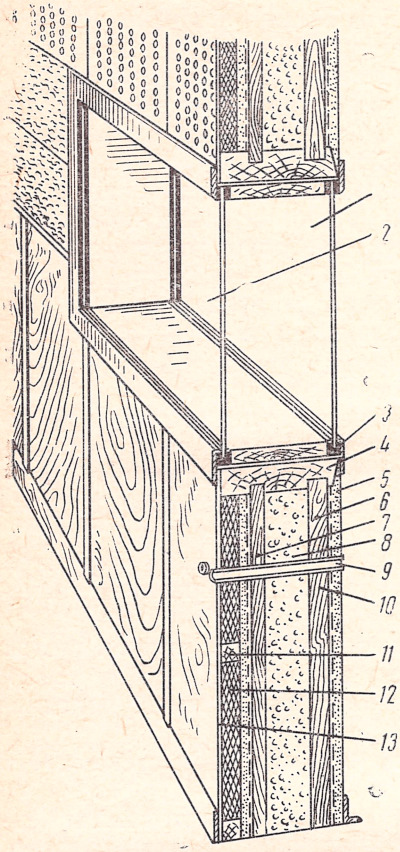


Рис. 6.11. Конструкция перегородки и смотрового окна:

1 — стекло толщиной 6 мм; *2* — стекло толщиной 8—10 мм; *3* — прокладка из пористого полиэтилена, резины или подобного материала; *4* — деревянная обвязка-рама; *5* — штукатурка толщиной 2,5 см по дранке; *6* — щитовая перегородка из досок толщиной 50 мм; *7* — щитовая перегородка из досок толщиной 30—40 мм; *8* — мелкий топочный шлак; *9* — трубки полиэтиленовые диаметром 20 мм для ввода кабелей; *10* — прокладка из пергамина (толя); *11* — обрешетка для крепления звукопоглотителей; *12* — заполнитель; *13* — панели звукопоглотителей

§ 6.7. ОСВЕЩЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ СТУДИЙ

В студии применяется искусственное освещение и вентиляция.

Основные требования, предъявляемые к системе освещения, следующие: рабочие места должны быть постоянно достаточно и равномерно освещены; не должно быть резких теней (в особенности на рабочих местах, на столах, пюпитрах и т. д.) и резкой границы в яркости рабочей поверхности и общего фона (т. е. стен, потолка и пр.) помещения, источник света не должен оказывать слепящего

действия. Все требования должны сочетаться с экономичностью системы освещения.

Минимальная освещенность, необходимая для свободного чтения печатного текста, равна примерно 50 лк. Однако в студиях на рабочих поверхностях необходимо иметь бо́льшую освещенность (не менее 75÷125 лк). Помимо рабочего, должно быть и аварийное освещение.

В радиодомах и студийных комплексах применяются системы вентиляции, системы кондиционирования воздуха, обеспечивающие как подачу свежего воздуха с определенными температурой и влажностью, так и удаление отработанного воздуха. В этих условиях должны быть приняты меры эффективного снижения вентиляционного шума.

Противошумные мероприятия должны одновременно исключить и возможность передачи звука из одной студии в другую через вентиляционные каналы. Вентиляционный шум имеет двоякое происхождение: основная его часть связана с работой вентиляционного агрегата, другая часть обусловлена турбулентностью потока воздуха в каналах при больших скоростях его движения. Необходимо ограничивать предельные скорости движения воздуха; эти скорости не должны превышать 5 м/с в главных воздуховодах, 3—4 м/с в ответвлениях, 2 м/с в конечных участках и 1,5—2 м/с в вентиляционных каналах. Для увеличения затухания шума в вентиляционных каналах необходимо покрывать стенки канала звукопоглощающими материалами или конструкциями (глушители).

§ 6.8. АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РЕЧЕВОЙ СТУДИИ

Акустический расчет студии включает в себя определение геометрических размеров студии, выбор оптимального времени реверберации, расчет необходимого звукопоглощения для обеспечения оптимального времени реверберации, выбор звукопоглощающих материалов, их количество и месторасположение на поверхности студии.

Кроме этого, необходимо провести расчет звукоизоляции от шумов, проникающих через ограждения и вентиляционную систему, расчет системы освещения, вентиляции и отопления. Порядок акустического расчета студии рассмотрим на примере расчета речевой студии.

I. Определение размеров студии

1. В соответствии с рекомендациями [29] выбираем площадь пола, равную

$$S = 15 \text{ м}^2.$$

2. Приняв высоту потолка студии $h = 3$ м, находим объем студии:

$$V = Sh = 15 \cdot 3 = 45 \text{ м}^3.$$

3. Далее выбираем линейные размеры студии. Лучше всего, если имеется возможность выдержать следующие соотношения между шириной b, длиной l и высотой h:

$$\begin{cases} \dfrac{h}{b} = \dfrac{b}{l}; \\ h + b = l \text{ или } b \approx \sqrt[3]{V};\ l \approx 1{,}6\sqrt[3]{V}. \end{cases}$$

ТАБЛИЦА 6.1

№ пп.	Поглотители	Площадь или количество	Звукопоглощение на частотах											
			125 Гц		250 Гц		500 Гц		1000 Гц		2000 Гц		4000 Гц	
			α	A	α	A	α	A	α	A	α	A	α	A
1	Диктор	1	0,28	0,28	0,4	0,4	0,45	0,45	0,49	0,49	0,47	0,47	0,45	0,45
2	Стены, потолок, пол	78 м²	0,01	0,78	0,01	0,78	0,02	1,56	0,02	1,56	0,03	2,34	0,03	2,34
	Основной фонд поглощения A_o	—	—	1,06		1,18		2,01		2,05		2,81		2,79
	Добавочный фонд поглощения $A_д$			11,74		11,62		10,80		10,75		10		9,9
3	Перфорированные конструкции с круглыми отверстиями:													
	d=0,4 Ом	20 м²												
	D=4 см													
	l=10 см													
	без заполнителя		0,47	9,4	0,47	9,4	0,36	7,2	0,28	5,6	0,25	5	0,22	5,4
4	Древесно-стружечные плиты (120+40) см² без воздушного зазора	10	0,06	0,6	0,23	2,3	0,31	3,1	0,31	3,1	0,36	3,6	0,44	4,4
	Итого: $A_д^1$			10,0		11,7		10,3		8,7		8,6		9,8
	$A_o+A_д^1$			10,06		12,88		12,31		10,75		11,4		12,69
	Неучтенное поглощение 1,05 $(A_o+A_д^1)$			12,3		13,6		12,9		11,3		12		13,4
	Расчетное время реверберации T отличается от оптимального, %			—4		+6		+0,6		—11,5		—6,5		+4,5

Выберем $b=3$ м и $l=5$, так как мы задались $h=3$ м и $S_{пол}=15$ м².

4. Полная поверхность студии будет найдена следующим образом:

$$S_{\text{в}} = 2bl + 2lh + 2bh = 2\cdot3\cdot5 + 2\cdot5\cdot3 + 2\cdot3\cdot3 = 78 \text{ м}^2.$$

II. Выбор оптимального времени реверберации и частотной характеристики его

1. Оптимальное время реверберации для речевой студии на частоте 500 Гц согласно рекомендациям [29]

$$T = 0{,}5 \text{ с}.$$

2. Частотную характеристику оптимального времени реверберации выбираем линейной в диапазоне звуковых частот.

III. Обеспечение выбранного времени реверберации

Для обеспечения выбранного времени реверберации необходимо подобрать соответствующие звукопоглотители.

1. Средний коэффициент поглощения

$$-\ln(1-\alpha_{ср}) = \frac{0{,}161}{TS_{\text{в}}} = \frac{0{,}161\cdot45}{78\cdot0{,}5} = 0{,}185,\ \alpha_{ср} = 0{,}165.$$

2. Общий фонд поглощения, который необходимо обеспечить в студии,

$$A = \alpha S_{\text{в}} = 0{,}165\cdot78 = 12{,}8.$$

3. Считаем, что в студии будет находиться один диктор и что до специальной обработки стены и потолок в студии оштукатурены, пол дощатый, крашеный. Тогда основной фонд поглощения на частоте 1000 Гц

$$A_0 = \sum \alpha_i S_{\text{в}} + \sum a_i N_i = 0{,}02\cdot78 + 0{,}49\cdot1 = 2{,}05.$$

Видим, что $A_0 < A$, следовательно, необходимо подбирать звукопоглощающие материалы и конструкции так, чтобы суммарное поглощение $(A_0+A_д)$ было близко к требуемому (A). Подбор ведем до тех пор, пока расчетное время реверберации будет отличаться от заданного оптимального не более чем на ±10%. Результаты расчета речевой студии сведены в табл. 6.1.

Как видно из таблицы, расчетное время реверберации отличается от оптимального значения не более чем на ±8,5%, что является допустимым.

4. Размещение звукопоглотителей ведем по принципу равномерного распределения их по стенам и потолку (рис. 6.12).

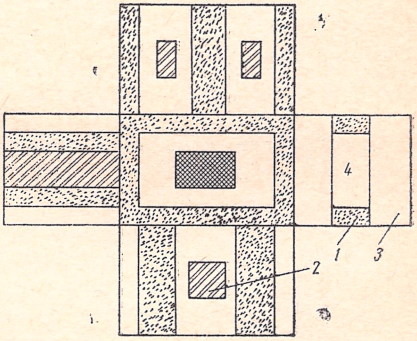


Рис. 6.12. Размещение звукопоглотителей в студии

На потолке рекомендуется разместить равномерно 50% поглотителей. Нижние части стен на высоте 1÷1,5 м рекомендуется отделывать жесткой деревянной панелью. Остальную часть стен покрыть звукопоглотителями, равномерно чередуя в горизонтальном или вертикальном направлении покрытые и непокрытые звукопоглотителями участки стен. Дальнейший расчет связан с расчетом освещения, вентиляции и звукоизоляции.

5. Расчет звукоизоляции студии.

При расчете требуемой звукоизоляции наружных и внутренних ограждений помещений студийного комплекса исходим из уровней максимально возможных шумов и допустимых уровней шума в студии. Расчет сводится в таблицу вида табл. 6.2.

ТАБЛИЦА 6.2

Наименование ограждения	Уровень шума за ограждением N_i	Звукоизоляция ограждения σ_i	Уровень проникающего шума $L_{огр}$

Уровень шума $N_{огр}$, проникающего через все ограждения из примыкающих помещений, рассчитываем по формуле

$$L_{огр} = 10\lg \sum S_i \cdot 10^{0,1\,(N_i - \sigma_i)} - 10\lg A,$$

где S_i — площадь ограждающих поверхностей, м²; N_i — уровни шума за ограждением, дБ; σ_i — собственная звукоизоляция соответствующего ограждения, дБ; A — общее поглощение в студии на частоте 500 Гц.

Уровень шума в студии L с учетом шума, создаваемого вентиляционной системой, может быть определен по формуле

$$L = L_{огр} + 10\lg\left(1 + 10^{0,1\Delta L}\right), \text{ где } \Delta L = L_{вент} - L_{огр}.$$

Результаты расчета студии целесообразно сравнить с рекомендациями по оборудованию студий [1]).

§ 6.9. АППАРАТУРА СТУДИЙ

Радиовещательные студии являются головными элементами тракта звукового вещания, определяющими качество передаваемых программ. Поэтому к аппаратуре студийных трактов предъявля-

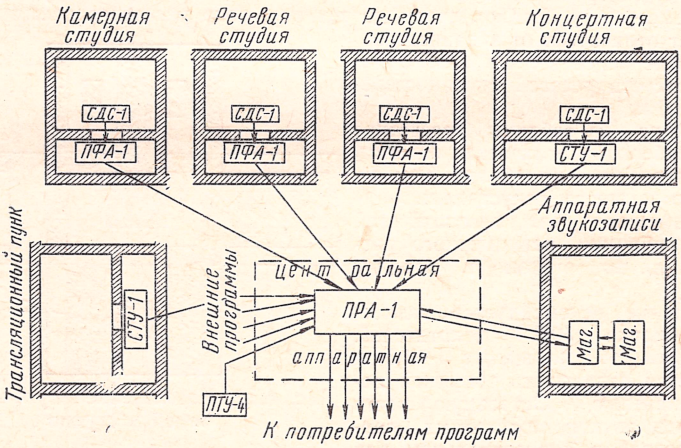


Рис. 6.13. Структурная схема тракта звуковой частоты радиодома III класса

[1]) Типовые решения 603—52 ГСПИ «Оборудование студий для районного, колхозного и совхозного радиовещания».

ются жесткие требования. Аппаратура концертных студий должна соответствовать высшему классу, а речевых студий может быть I класса.

Для краткого знакомства с оборудованием студийного комплекса рассмотрим структурную схему тракта звуковой частоты радиодома III класса (рис. 6.13). В студиях установлены студийные дикторские столы типа СДС-1, в контрольной комнате находится пульт фонической аппаратной типа ПФА-1, в аппаратной при концертной студии и на стационарном трансляционном пункте находится аппаратура типа СТУ-1. Программы всех студий и внешних источников заводятся на пульт радиовещательной аппаратной типа ПРА-1, находящийся в центральной аппаратной радиодома. В центральной аппаратной происходит распределение программы по потребителям. Все подготовленные программы записываются в аппаратной звукозаписи. Предварительно сделанные записи используются как самостоятельные источники программы. Студийный дикторский стол типа СДС-1 предназначен для ведения речевых передач. Он содержит элементы управления и сигнализации, позволяющие осуществлять все операции, связанные с ведением передач. Так, например, элементы управления позволяют вести передачу с магнитофона, микрофона и одновременно с магнитофона и микрофона. В качестве основной сигнализации имеется световое табло. Пульт рассчитан на одновременную работу двух дикторов, попеременно ведущих передачу.

Пульт ПФА-1 предназначен для проведения радиовещательных передач из речевой студии. Пульт имеет два микрофонных входа *М*, два микрофонных и линейных усилителя *МУ* и *ЛУ*, два регулятора уровня. Пульт позволяет осуществлять акустический контроль на контрольный громкоговоритель, следить за уровнем по индикатору уровня *И*; имеется возможность вводить в передачу записи с магнитофона и линии внешней программы. Имеется микрофон звукорежиссера для проведения репетиционных работ. Пульт конструктивно выполнен в виде стола.

Структурная схема пульта ПФА-1 приведена на рис. 6.14. В

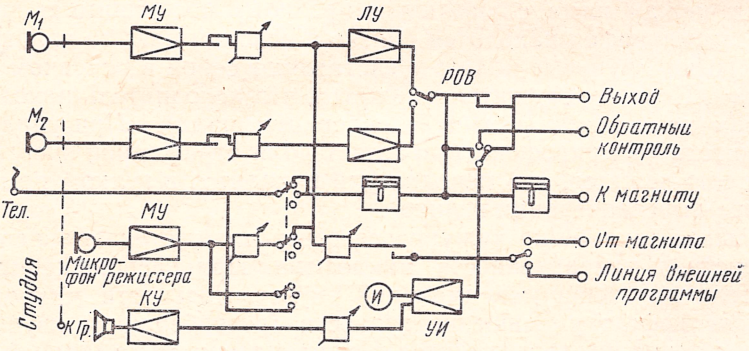


Рис. 6.14. Структурная схема пульта ПФА-1

фонической аппаратной устанавливаются также контрольные акустические агрегаты, магнитофоны. Контрольные агрегаты должны быть размещены так, чтобы звукорежиссер мог судить о качестве передаваемой программы. Известно, что современный студийный тракт рассчитан на передачу частот в диапазоне 30÷15 000 Гц. Поэтому контрольные агрегаты имеют большие размеры. Расстояние от оператора до агрегата должно быть больше любого из его размеров. При этом можно считать, что все излучатели агрегата находятся на равном расстоянии от звукорежиссера.

Объем аппаратной речевых студий рекомендуется выбирать порядка 30÷50 м³, время реверберации — порядка 0,4÷0,5 с. Контрольные агрегаты, устанавливаемые в таких аппаратных, могут иметь более узкую полосу частот.

Пульт радиовещательной аппаратной ПРА-1 обеспечивает одновременную передачу четырех радиовещательных программ. Структурная схема ПРА-1 показана на рис. 6.15. Пульт содержит усилительное, коммутационное, сигнальное и контрольно-измерительное оборудование. Система коммутации позволяет подать 12 программ.

В настоящее время широко используется типовая аппаратура студийного оборудования ТАСО, предназначенная для оборудования аппаратных радиовещательных студий и студийных комплексов. Наличие двух независимых каналов позволяет вести передачу одновременно из двух студий — речевой и малой концертной. В случае необходимости каналы можно объединить и вести передачу сразу с пяти микрофонов. Это позволяет использовать ТАСО и в аппаратных больших концертных студий.

Структурная схема пульта ТАСО приведена на рис. 6.16. В ТАСО-1 предусмотрена возможность подключения шести линий к потребителям и шести источников внешних программ. Это позволяет вести передачу прямо из студийной аппаратной, минуя центральную аппаратную.

Качество звучания в студии зависит от правильного взаимного расположения микрофонов и исполнителя. В зависимости от расстояния между ними слушатель по-разному воспринимает звучание. Если микрофон находится близко к исполнителю, то падающие на микрофон звуковые волны представляют собой в основном прямой звук. Поэтому слушателю кажется, что исполнитель находится в глухом помещении (время реверберации мало). При удалении исполнителя от микрофона возрастает доля отраженной энергии, и слушателю кажется, что исполнитель находится в гулком помещении (время реверберации велико).

Большое влияние на кажущуюся реверберацию оказывает и характеристика направленности микрофона. При расположении исполнителя на линии максимальной чувствительности микрофона получаем эффект уменьшения гулкости (реверберации) звучания. Если же исполнитель находится в направлении минимальной чувствительности микрофона, то гулкость возрастает.

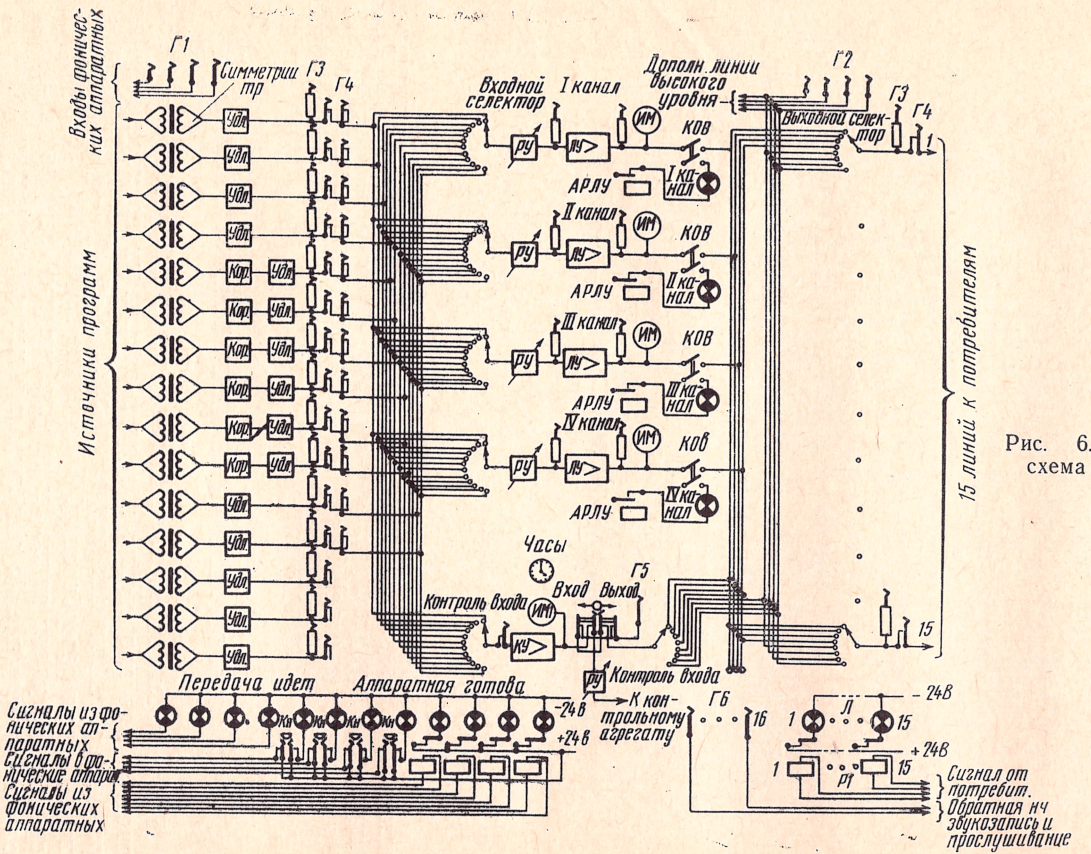


Рис. 6.15. Структурная схема пульта ПРА-1

Правильная установка стола диктора с его микрофоном в студии обеспечивает натуральность воспроизведения его речи. Если звукопоглощающие материалы размещены по студии неравномерно, то установка стола диктора вблизи того или иного поглотителя

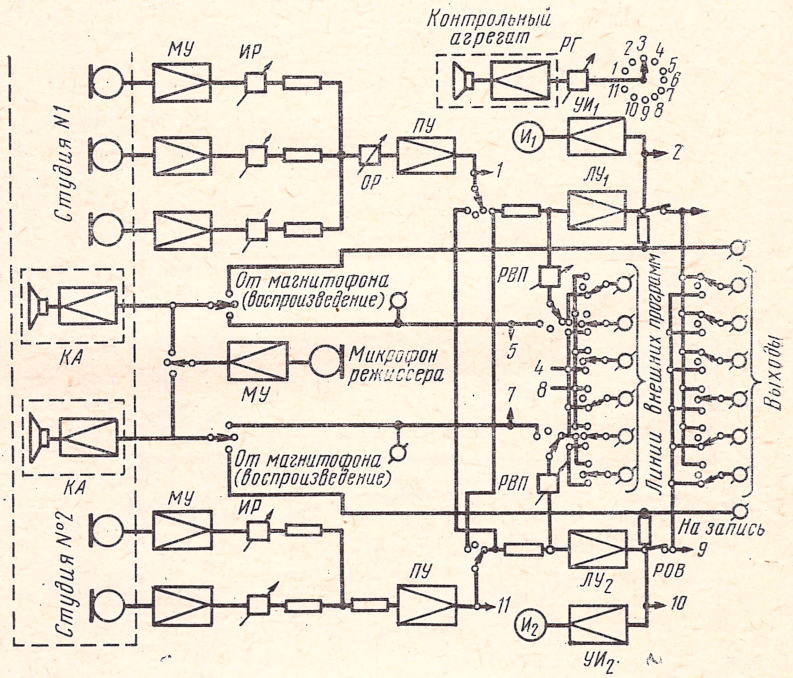


Рис. 6.16. Структурная схема ТАСО-2

может исказить речь. Поэтому и размещение микрофона диктора и микрофонов других исполнителей требует тщательной подготовки звукорежиссера к передаче. Звукорежиссер предварительно намечает план размещения микрофонов и на репетициях его уточняет.

§ 6.10. УСТРОЙСТВА ПЕРЕМЕННОЙ РЕВЕРБЕРАЦИИ

На небольших РВУ имеется одна студия, которая может использоваться для проведения и записи различных по характеру программ, требующих для получения высокого качества звучания различное время реверберации. Требование изменения времени реверберации в студиях радио и телевизионного вещания связано не только с получением в них оптимальных акустических характеристик, но и с желанием получения звуковых эффектов.

Изменение времени реверберации осуществляется устройством переменной, искусственной реверберации. Такое устройство носит название ревербератора.

Структурная схема студийного тракта с ревербератором показана на рис. 6.17. Основной сигнал, поступающий на вход устройства, разделяется на два канала, в один из которых включен ре-

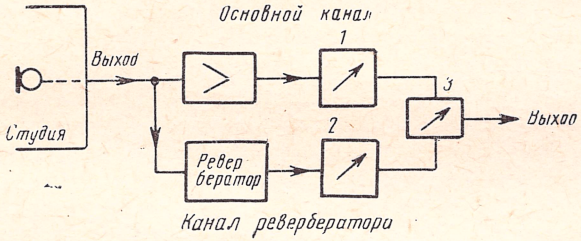


Рис. 6.17. Структурная схема студийного тракта с ревербератором

вербератор. На выходе оба сигнала смешивают и с помощью регуляторов *1—2—3* изменяются по уровню так, чтобы результирующий сигнал имел необходимую реверберационную окраску.

В настоящее время используются три основных устройства искусственной реверберации: эхо-камера, листовой ревербератор и магнитный ревербератор. Эхо-камера — это гулкое помещение с большим временем реверберации. Структурная схема системы искусственной реверберации с использованием эхо-камеры показана на рис. 6.18. Сигнал, излученный громкоговорителем и многократ-

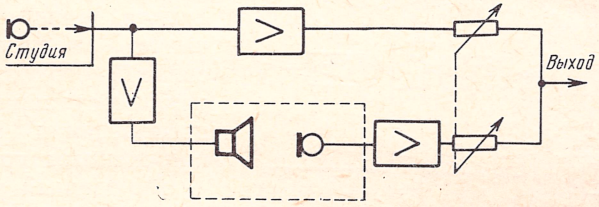


Рис. 6.18. Структурная схема системы искусственной реверберации с эхо-камерой

но отраженный от поверхностей эхо-камеры, принимается микрофоном, усиливается и смешивается с сигналом, идущим по прямому каналу. Требуемое большое время реверберации достигается за счет хорошо отражающих поверхностей с малыми коэффициентами поглощения.

Магнитный ревербератор, структурная схема которого показана на рис. 6.19,— это специальный магнитофон с кольцевым звуконосителем. Помимо обычных для магнитофона звукозаписывающей и стирающей головок, ревербератор имеет блок воспроиз-

водящих головок B_1—B_5, в цепь каждой из которых включен регулятор *РВР*.

Уровень сигнала, воспроизводимый каждой последующей головкой блока, убывает и сдвинут по времени. Последняя головка

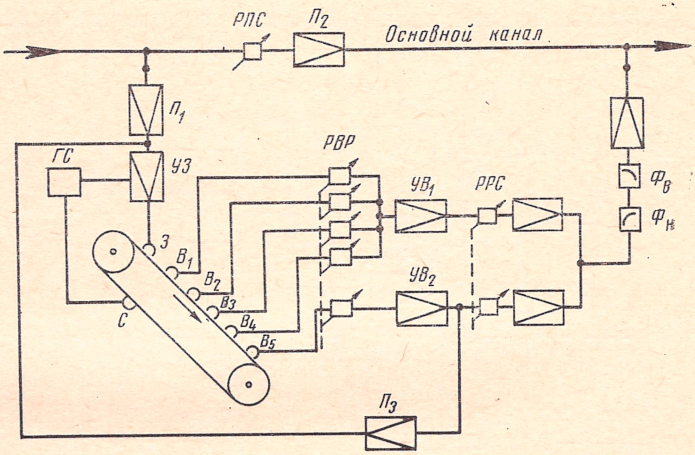


Рис. 6.19. Структурная схема магнитного ревербератора

З — головка записи; B_1, B_2 . . . — воспроизводящие головки; *С* — стирающая головка; *УЗ* — усилитель записи; *ГС* — генератор стирания; *РПС* — регулятор прямого сигнала; *РВР* — регулятор реверберирующего сигнала; $УВ_1$; $УВ_2$ — усилители воспроизведения; $П_1$, $П_2$, $П_3$ — катодные повторители; $Ф_н$, $Ф_в$ — фильтры

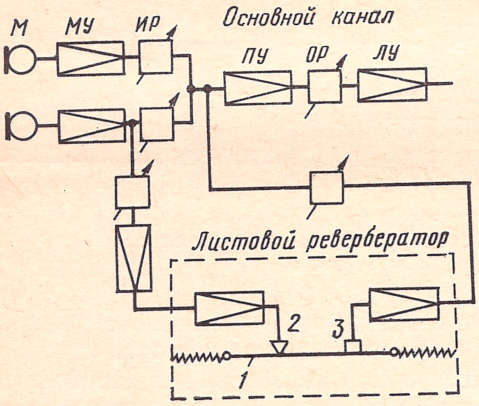


Рис. 6.20. Схема включения листового ревербератора:

М — микрофон; *МУ* — микрофонный усилитель; *ИР* — индивидуальный регулятор; *ПУ* — предварительный усилитель; *ОР* — общий регулятор; *ЛУ* — линейный усилитель

блока воспроизведения включается на вход усилителя записи и обеспечивает за счет обратной связи многократно повторяющуюся запись и воспроизведения сигнала с пониженным уровнем.

Магнитный ревербератор позволяет изменять время искусственной реверберации в пределах от 0,5 до 5 с.

Листовой ревербератор (рис. 6.20) представляет собой плоский стальной лист 1 площадью 2 м^2 при толщине около 0,05 см. Лист, подвешенный в четырех угловых точках рамы, висит в

вертикальной плоскости. С одной стороны листа *1* так же вертикально располагается вторая рама с микропористым материалом, свободно перемещающаяся относительно первой. С другой стороны находится электродинамический движитель *2* с приваренным к листу металлическим конусом. С той же стороны на некотором расстоянии от излучателя к листу прикреплен пьезоэлектрический звукосниматель *3*.

Сигнал, ответвляемый с основного канала на реверберационное устройство, приводит лист в колебательное движение. Возникшие вследствие этого поперечные волны распространяются до краев листа, отражаются от них, теряя при каждом отражении часть энергии. Звукосниматель воспринимает эти все более ослабленные отраженные сигналы, запаздывание которых благодаря небольшой скорости распространения поперечных волн близко к запаздываниям, характерным для больших помещений.

Приближение рамы с поглощающим материалом к листу ревербератора вызывает увеличение скорости затухания поперечных колебаний листа. Время реверберации может быть изменено в пределах 0,6—0,7÷5,5—6 с. Сигнал от ревербератора подмешивается в основной канал.

Контрольные вопросы

1. Что такое реверберация? Каким должно быть время реверберации в различных типах студий?
2. Что такое звукопоглощение и какие типы звукопоглощающих материалов и конструкций Вы знаете?
3. Для чего нужна особая звукоизоляция студий и как она обеспечивается?
4. Как влияет на качество воспроизведения расположение микрофонов в студии?
5. Расскажите об аппаратуре студий.
6. Каково назначение устройств искусственной реверберации? Расскажите про эти устройства.
7. Как выполняется акустический расчет студии?

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ЗВУКОФИКАЦИЯ ОТКРЫТЫХ ПРОСТРАНСТВ И ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

§ 7.1. УСТАНОВКИ ОЗВУЧЕНИЯ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИХ

Системой озвучения называется совокупность устройств, предназначенных для воспроизведения акустического сигнала и обеспечивающих его слышимость на озвучиваемой площади на открытом воздухе или на местах расположения слушателей в закрытом помещении.

По назначению различают несколько типов установок озвучения: установки для высококачественного воспроизведения музыки и речи; установки для зеленых театров, концертных эстрад и т. п.; установки для передачи музыки и речи в парках, на стадионах и других общественных местах; установки озвучения улиц для обслуживания массовых народных праздников и демонстраций; установки оповещения и служебной связи.

К установкам озвучения предъявляются требования.

Общие требования связаны с качественными показателями установок, к которым относятся: полоса воспроизводимых частот, коэффициент гармоник, динамический диапазон и отношение уровня сигнала к уровню шума; обеспечение необходимого уровня звукового давления и его допустимая неравномерность в рабочем диапазоне частот на местах расположения слушателей; необходимая разборчивость речи, слитность звучания, т. е. совпадение зрительного и звукового образов. Под неравномерностью звукового поля понимают разность максимального и минимального уровней звукового давления на данной частоте, которая может быть в различных точках озвучиваемой площади. Пусть уровень звукового давления в точке A — максимальный $N_{макс}$, а в точке B — минимальный $N_{мин}$, тогда неравномерность звукового поля определится как

$$\Delta N = N_{макс} - N_{мин}.$$

Допустимая неравномерность в установках для высококачественного воспроизведения музыки и речи не должна превышать 6 дБ. В установках озвучения парков, стадионов допустимая неравномерность не больше 8 дБ.

Частотная неравномерность звукового поля означает, что уровни, создаваемые громкоговорителем в данной точке поля, частотнозависимы. Это объясняется зависимостью характеристики на-

правленности громкоговорителя от частоты, явлениями отражения звука, различным поглощением звука в воздухе на разных частотах и другими факторами. Частотная неравномерность ухудшает качественные показатели установок озвучения, поэтому ее допустимое значение особо важно для высококачественных систем озвучения, как-то: зеленых театров, концертных площадок и др. Для остальных случаев с частотной неравномерностью можно не считаться.

Когда слушатель принимает несколько звуковых сигналов, запаздывающих друг относительно друга, то нарушается слитность звучания и появляется эхо. Запаздывание может происходить в результате отражений звуковых волн от стен зданий или от других препятствий, а также в случае озвучения одной и той же площади несколькими, далеко расположенными друг от друга громкоговорителями. Если запаздывание звука слишком велико (>50 мс), то наблюдается эхо. В некоторых случаях, несмотря на большое время запаздывания сигналов, эхо не возникает, если один из сигналов значительно больше другого по уровню.

Разборчивость исключительно важна для систем озвучения речи. Удовлетворительной можно считать такую систему, которая обеспечивает словесную разборчивость не ниже 87%. Лучшей системой следует считать систему, обеспечивающую разборчивость не ниже 94%.

При организации озвучения и звукоусиления на открытом воздухе следует учитывать влияние атмосферных условий на распространение звуковой энергии. В атмосфере происходит поглощение звуковой энергии и тем большее, чем частота выше 2000 Гц. Имеет место изменение направления звуковой волны под влиянием ветра. Фронт звуковой волны, распространяющейся по ветру, непрерывно изгибается книзу, а при распространении против ветра — кверху. В первом случае дальность распространения звука увеличивается, а во втором — уменьшается. При озвучении больших пространств обеспечивают уровень звукового давления с точностью $\pm$ 2 дБ. При этом учитывают дополнительное снижение уровня звукового давления из-за затухания звука вследствие ветра на каждые 100 м при хорошей погоде равные $1 \div 4$ дБ, при удовлетворительной погоде — $5 \div 7$ дБ и при плохой погоде — $8 \div 10$ дБ.

Установки озвучения не должны создавать значительных помех на прилегающей к озвучиваемой площади территории.

Установки озвучения, обслуживающие зеленые театры и летние эстрады, должны обеспечивать неискаженную передачу естественных звуков. В случае малых эстрад усиление оркестровых выступлений не требуется, и поэтому достаточен диапазон воспроизводимых частот $100 \div 8000$ Гц. Для больших концертных эстрад и зеленых театров желательно насколько позволяют технические возможности снизить нижнюю границу частот, а верхнюю поднять до 10 кГц. Уровень звукового давления при усилении оркестровой му-

зыки желательно иметь порядка 90 дБ при неравномерности 6 дБ. Уровень шумов в электрическом тракте должен быть не выше — 55 дБ, и нелинейные искажения должны соответствовать I классу качества.

В установках озвучения для зеленых театров и эстрад в качестве дополнительных требований всегда предусматривается резервирование, обеспечивающее сохранение работоспособности системы при снижении уровня звукового давления не более чем на 4 дБ в случае повреждения аппаратуры одного из каналов. Внешние шумы в зеленых театрах и на концертных эстрадах не должны превышать 40÷45 дБ. Особенно важно в таких установках сохранить совмещение зрительного и звукового образов. В крупных зеленых театрах или просто театрах, концертных залах для того, чтобы не было разрыва между зрительным восприятием и восприятием звука, используют специальные устройства.

В зонах парка, специально оборудованных для высококачественного воспроизведения музыки, желательно применять громкоговорители с диапазоном рабочих частот не меньше 80÷8000 Гц, усилительная аппаратура должна соответствовать высшему или I классу качества. Громкоговорители, предназначенные для озвучения всей территории, могут иметь рабочий диапазон частот от 100÷120 до 6000÷8000 Гц, усилители I и II класса.

Для передачи речевой информации целесообразно использовать громкоговорители с диапазоном воспроизводимых частот 250÷÷4000 Гц и усилительную аппаратуру III класса. Речевая информация должна вестись с уровнем порядка 80 дБ на большей части территории, а в местах большого скопления публики уровень должен быть повышен до 86 дБ. Передаваемая музыка в парках не должна мешать нормальному разговору, она должна создавать «звуковой фон» и иметь уровень звукового давления 65÷70 дБ.

Установки озвучения спортивных сооружений (стадионов, спортплощадок) должны обслуживать зрителей и спортсменов. Передача информации зрителям на трибунах связана с наличием большого уровня шума, который достигает 75÷85 дБ. Поэтому, чтобы информация была услышана, необходимо обеспечить уровень на 10÷15 дБ больше. Качественные показатели установок должны обеспечить хорошую слышимость речи и удовлетворительную передачу музыки, поэтому воспроизводимый диапазон частот громкоговорителями может быть не менее 150÷6000 Гц. Усилительная аппаратура должна быть не ниже II класса. При проектировании системы озвучения трибун необходимо учитывать возможность возникновения помех от этой системы на прилегающих участках территории, что особенно нежелательно в тех случаях, когда стадион является частью обширного комплекса спортивных сооружений или расположен вблизи зон отдыха, жилых кварталов. Необходимо также предупреждать появление эффекта эха при озвучении подходов к стадиону.

Если не требуется отдельная система озвучения поля стадиона во время соревнований, то установка озвучения должна обеспечить уровень не менее 80 дБ с неравномерностью 8 дБ. Диапазон частот может быть ограничен 150÷6000 или 200÷4000 Гц. Необходимо добиться наибольшей синхронности звучания на всей площади спортивной арены, особенно когда происходят массовые выступления. Относительное запаздывание звука более чем на 0,1 с создает отчетливо видимую несогласованность движения исполнителей.

Озвучение улиц и площадей во время народных праздников и демонстраций требует применения громкоговорителей, имеющих рабочий диапазон частот от 100÷120 Гц до 5÷6 кГц. Уровень звукового давления должен быть порядка 80 дБ, а для передачи информации до 84÷86 дБ при неравномерности до 8 дБ граница нижней частоты может быть повышена.

К системам звукоусиления приходится предъявлять еще и некоторые добавочные требования. Наиболее существенное из них заключается в том, что система должна работать вполне устойчиво, не только не переходя в режим генерации, но и не приближаясь к нему настолько, чтобы стали заметными специфические искажения, обусловленные наличием обратной связи.

§ 7.2. СИСТЕМЫ ОЗВУЧЕНИЯ

Существует три основных системы озвучения: сосредоточенные, рассредоточенные и распределенные системы.

Сосредоточенные (или централизованные) системы характеризуются тем, что все источники звука сосредоточены в одном месте и большинство слушателей воспринимает звук исходящим из одного источника. Сосредоточенная система используется в зеленых театрах, на летних эстрадах для озвучения небольших площадок, когда достаточно одного громкоговорителя; при озвучении больших площадей, если местные условия позволяют поднять громкоговорители на достаточную высоту, и в промышленных установках.

В этой системе озвучения применяются как радиальные и рупорные громкоговорители, так и звуковые колонки. Рассмотрим в качестве примера озвучение от-

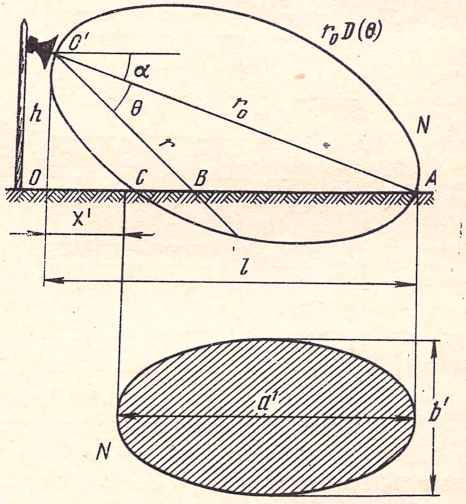


Рис. 7.1. Озвучения рупорным громкоговорителем

крытой площади рупорным громкоговорителем (рис. 7.1). На рисунке показан рупорный громкоговоритель, установленный на высоте h: громкоговоритель имеет характеристику направленности, близкую к эллипсоиду вращения. На рис. 7.1 показано сечение диаграммы направленности вертикальной плоскостью и под ним площадь наземного эллипса, полученного в результате сечения характеристики направленности плоскостью земли. Акустическая ось громкоговорителя упирается в удаленную точку A. Поверхность характеристики направленности является изобарой, поэтому уровень (N) в точках C и A одинаков, также, как во всех точках кривой, ограничивающей наземный эллипс. Поскольку точки внутри наземного эллипса (например B) находятся ближе к громкоговорителю, то внутри площади озвучения будет находиться участок с мак-

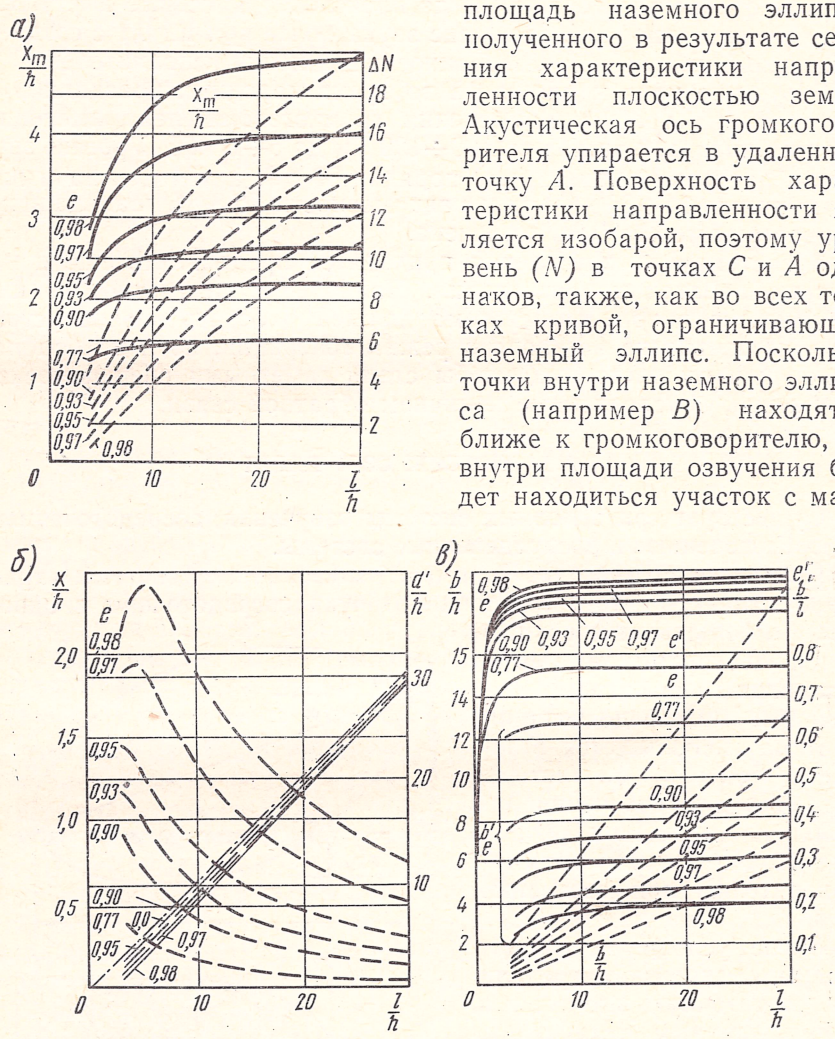


Рис. 7.2. Расчетные графики размеров озвучиваемой зоны

симальным уровнем ($N_{макс}$). Неравномерность озвучения будет $\Delta N = N_{макс} - N$.

Задаваясь уровнем в удаленной точке озвучиваемого пространства, выбираем громкоговоритель, который может обеспечить за-

данный уровень. Если правильно разместить громкоговоритель, то можно получить требуемую равномерность озвучиваемого пространства.

Для правильного размещения громкоговорителя можно воспользоваться графиками, приведенными на рис. 7.2.

Воспользовавшись приведенными графиками, определим размер озвучиваемой зоны, высоту подвеса h и угол наклона α громкоговорителя типа Р-100, который на площади должен создать уровень звукового давления 90 дБ с неравномерностью $\Delta N = 6$ дБ (см. рис. 7.1). Для Р-100 $l = 0{,}9$. По пересечению кривой $l = 0{,}9$ и $\Delta N = 6$ дБ определяем, что $x_m/h = 1{,}4$, а $l/h = 6$. Из соотношения $l/h = 6$ определяем угол наклона громкоговорителя (к горизонту):

$$\alpha = \operatorname{arc\,ctg} l/h = \operatorname{arc\,ctg} 6 = 8°.$$

Среднее звуковое давление, создаваемое громкоговорителем Р-100 на расстоянии 1 м, $p_c = 38$ Па. Уровню же звукового давления 90 дБ соответствует значение звукового давления $p = 0{,}6$ Па. Поэтому расстояние от громкоговорителя до удаленной точки

$$r = p_c/p_{мин} = 38{,}0/0{,}6 = 63 \text{ м}.$$

Из рис. 7.1 видно, что $h = r \sin \alpha = 63 \cdot 0{,}13 = 8{,}29$ м ≈ 8 м и расстояние до удаленной точки на площади $l = 6h = 48$ м. Тогда точка максимального уровня находится на расстоянии от опоры громкоговорителя $x_m = 1{,}4h = 1{,}4 \cdot 0{,}8 = 11{,}2$ м. По графикам на рисунке находим $b'/h = 8$; $a'/h = 10$; $x'/h = 0{,}6$. Отсюда размеры озвучиваемой площади: $a' = 80$ м; $b' = 64$ м; (x' — расстояние, на которое следует отнести громкоговоритель от края озвучиваемой площади). Если же взять высоту подвеса 15 м, то получим, что $\Delta N < 3$ дБ.

Рассредоточенная (или децентрализованная) система характеризуется тем, что озвучение осуществляется при помощи нескольких громкоговорителей, каждый из которых обслуживает свою зону. Рассредоточенная система позволяет озвучить сколь угодно большие пространства, и она применяется для озвучения улиц и больших площадей, на которых применение централизованной системы невозможно из-за большого затухания звука, например в случае плохой погоды и при сильном ветре, или если нет возможности громкоговорители разместить централизованно, а также для озвучения спортивных сооружений и промышленных предприятий. Однако рассредоточенная система имеет ряд недостатков, например, в ней плохо согласуются зрительный и звуковой образы и требуется разветвленная кабельная или воздушная сеть.

Распределенные системы характеризуются тем, что любая точка звукового поля озвучивается несколькими громкоговорителями. К каждому из слушателей звук приходит с разных направлений с небольшой разницей в уровнях. Распределенные системы обеспечивают хорошую равномерность озвучения площади, уменьшают возможность возникновения акустической обратной связи при звукоусилении.

Использование большого количества громкоговорителей и организация сложной распределительной сети являются ее недостатками. Однако при озвучении больших площадей часто возникают зоны помех из-за интерференции звуковых волн и относительного запаздывания звука от нескольких источников. Поэтому целесообразно подобные явления обходить, организуя централизованную или распределенную систему озвучения.

Рассмотрим случай озвучения большой территории рассредоточенной системой радиальных громкоговорителей. Территория в этом случае разбивается на зоны в виде квадратов, как это показано на рис. 7.3. Громкоговорители устанавливаются в центре зон. На

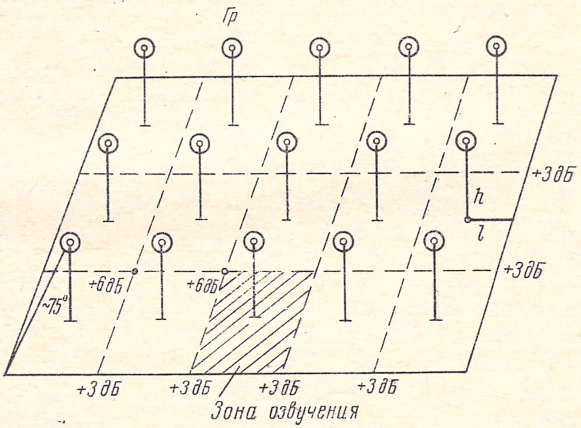


Рис. 7.3. Озвучение территории рассредоточенной системой

границах зон, каждая из которых обслуживается своим громкоговорителем, происходит наложение полей двух громкоговорителей, и уровень на границах зон повышается на 3 дБ по сравнению с тем, который дает один громкоговоритель, если уровни их равны.

Фактором, определяющим допустимую протяженность зоны, является опасность появления эха. Известно, что эхо незаметно при времени запаздывания меньше 50 мс, а при запаздывании более 50 мс возможность заметности эха быстро растет.

Поэтому разность расстояний до соседних громкоговорителей не должна превышать 26 м и по возможности надо стремиться брать расстояние между громкоговорителями не больше 17 м. Площадь озвучения определяется и неравномерностью, которую можно вычислить так:

$$\Delta N = 10 \lg \frac{h^2 + l^2}{h^2}.$$

Для озвучения больших площадей нередко оказывается удобным применять излучающие устройства, обладающие в вертикальной плоскости более острой направленностью, чем в горизонталь-

ной. Особенно это желательно для организации системы звукоусиления.

В последнее время широко применяются звуковые колонки, обладающие этим свойством. Пусть звуковая колонка создает в точке опоры O звуковое давление p_0, а в точке A, отстоящей от опоры на расстояние x, давление p (рис. 7.4*а*).

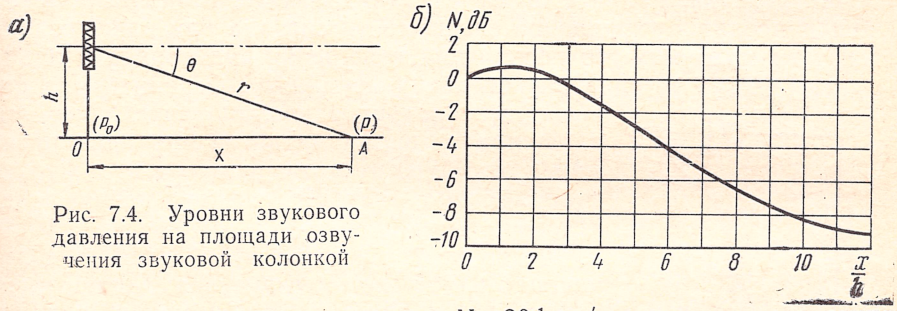


Рис. 7.4. Уровни звукового давления на площади озвучения звуковой колонкой

Уровень звукового давления $N=20\lg p/p_0$ вдоль направления OA изменяется согласно графику на рис. 7.4*б*. Уровень зависит от соотношения x/h, т. е. от высоты подвеса звуковой колонки h и расстояния от нее x. Задаваясь приемлемой высотой подвеса и допустимой разницей в уровнях на озвучиваемой площади, можно определить наиболее удаленную точку A, где звуковое давление достаточно.

Для того чтобы определить ширину озвучиваемой зоны, рассмотрим часто встречающийся случай, когда площадь озвучивается цепочкой звуковых колонок, отстоящих на равных расстояниях друг от друга (рис. 7.5). Если рассматривать поле уровней, создаваемых одной колонкой, то можно считать, что точки наименьшего уровня будут лежать на дальнем крае по обе стороны от точки упора акустической оси на расстоянии $b/2$, где b — ширина зоны, приходящейся на одну колонку. Пусть уровень в этих точках будет на 3 дБ ниже, чем в точке упора; тогда сигнал равного уровня, приходящий от соседней колонки, скомпенсирует это снижение, так что уровень вдоль дальнего края озвучиваемой площади окажется практически всюду одним и тем же.

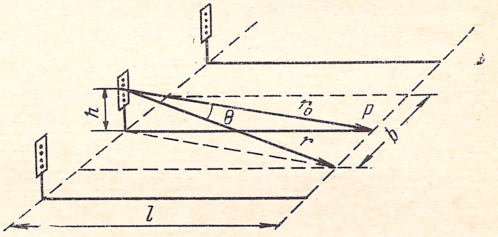


Рис. 7.5. К определению ширины площади озвучения звуковыми колонками

Расчеты показывают, что ширина зоны озвучивания одной колонки при $b=1{,}2\,h$ $\theta=27°$, $l/h=1{,}2$ и $\Delta N=10$ дБ.

Таким образом, площадь озвучивания одной звуковой колонкой с $\Delta N=10$ дБ равна $S=1{,}44h^2$.

§ 7.3. ЗВУКОУСИЛЕНИЕ

Звукоусиление имеет своей целью увеличение уровня сигнала, излучаемого первичным его источником — оратором, певцом или музыкантом и т. д.,— в условиях, когда ограниченная мощность источника звука, наличие шума или акустические дефекты помещения приводят к ухудшению слышимости сигнала или даже исключают возможность его восприятия в больших аудиториях и залах при проведении лекций, конференций или совещаний с большим числом участников, на площадях во время митингов или демонстраций, в открытых театрах, цирках и т. д. Структурная схема системы звукоусиления представлена на рис. 7.6.

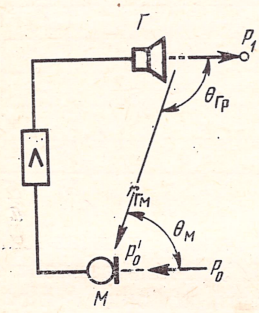


Рис. 7.6. Структурная схема системы звукоусиления

Особенность систем звукоусиления, отличающая их от систем озвучения, заключается в том, что микрофон, принимающий первичный сигнал для его последующего усиления, находится в звуковом поле громкоговорителей, излучающих усиленный сигнал, вследствие этого система звукоусиления является системой с обратной связью.

Если в условиях открытого пространства воздействие на микрофон происходит непосредственно от громкоговорителя в результате прямого попадания звуковой энергии, то в условиях помещений это воздействие происходит по двум каналам: непосредственно от громкоговорителя к микрофону и путем множества отражений от поверхности зала.

Пусть система звукоусиления организована на открытом воздухе. Если на вход системы поступит сигнал давлением p_0, то он пройдет через тракт, усилится и будет излучен громкоговорителем. С учетом направленности громкоговорителя и микрофона и затухания при распространении на расстоянии $r_{гм}$ получим звуковое давление, воздействующее на микрофон от громкоговорителя,

$$p'_0 = \frac{p_1 D_г D_м}{r_{гм}} e^{i\varphi},$$

где $p_1 = K p_0$ (см. рис. 7.6); φ — сдвиг фаз; $K = K^{j\varphi^0}$ — коэффициент усиления тракта микрофон-громкоговоритель. Откуда

$$p'_0 = \frac{K p_0 D_г D_м}{r_{гм}} e^{i(\varphi_1 + \varphi_0)} \text{ или}$$

коэффициент акустической обратной связи

$$\beta = \frac{p'_0}{p_0} = \frac{K D_г D_м}{r_{гм}} e^{i\varphi}.$$

Фаза φ обратной связи принимает в диапазоне частот всевозможные значения. Обратная акустическая связь оказывается для одних частот положительной, для других — отрицательной. В случае положительной акустической связи в системе звукоусиления резко возрастает усиление и система может самовозбудиться. Поэтому расчет ведут исходя из наиболее опасного случая, т. е. полагают $\varphi=0$. Ориентируя соответствующим образом громкоговоритель и микрофон и удаляя их друг от друга, можно получить устойчивую систему звукоусиления.

§ 7.4. СИСТЕМЫ ОЗВУЧЕНИЯ И ЗВУКОУСИЛЕНИЯ ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

При организации звукоусиления в закрытых помещениях, как уже указывалось, акустическая обратная связь обусловлена не только прямыми, но и отраженными сигналами. Это объясняет то обстоятельство, что в закрытом помещении обратная акустическая связь более глубокая и опасность самовозбуждения больше, а устранить нежелательное явление труднее, чем на открытом воздухе. Акустическая обратная связь в закрытом помещении в основном определяется отраженной энергией. Поэтому для ее ослабления необходимо увеличивать долю прямой энергии и уменьшать отраженную. Уменьшить отраженную энергию можно, увеличив поглощение в помещении, применяя остронаправленные громкоговорители.

Однако существуют рекомендации, которые позволяют при организации звукоусиления, если не полностью устранить, то значительно ослабить явление акустической обратной связи. К ним следует отнести следующие мероприятия: для звукоусиления следует выбирать микрофоны направленного действия, например, типов МД-46, МДО-1 и т. д.; громкоговорители, обладающие направленностью; рупорные или звуковые колонки; на открытом воздухе следует стремиться увеличивать расстояние между микрофонами и громкоговорителями, разворачивая их акустические оси в противоположных направлениях; уменьшать расстояние между оратором и микрофоном; место, где располагается микрофон, следует покрывать звукопоглощающим материалом. Рекомендуются следующие расстояния от первичного источника звука до микрофона: при усилении речи 0,3—0,5 м, при усилении оркестров, хоров, ансамблей 3 м. Уменьшить возможность возникновения акустической обратной связи можно, пробуя ввести коррекцию в усилителе. Далее работать надо не на предельном значении коэффициента усиления, при котором возникает возбуждение, а, по крайней мере, при усилении, в два раза меньшем.

При организации звукоусиления и озвучения в закрытом помещении используются системы распределения громкоговорителей такие же, как и на открытом воздухе. В аудиториях и залах с небольшой площадью слушательских мест озвучение может быть осуществлено двумя громкоговорителями, установленными в голов-

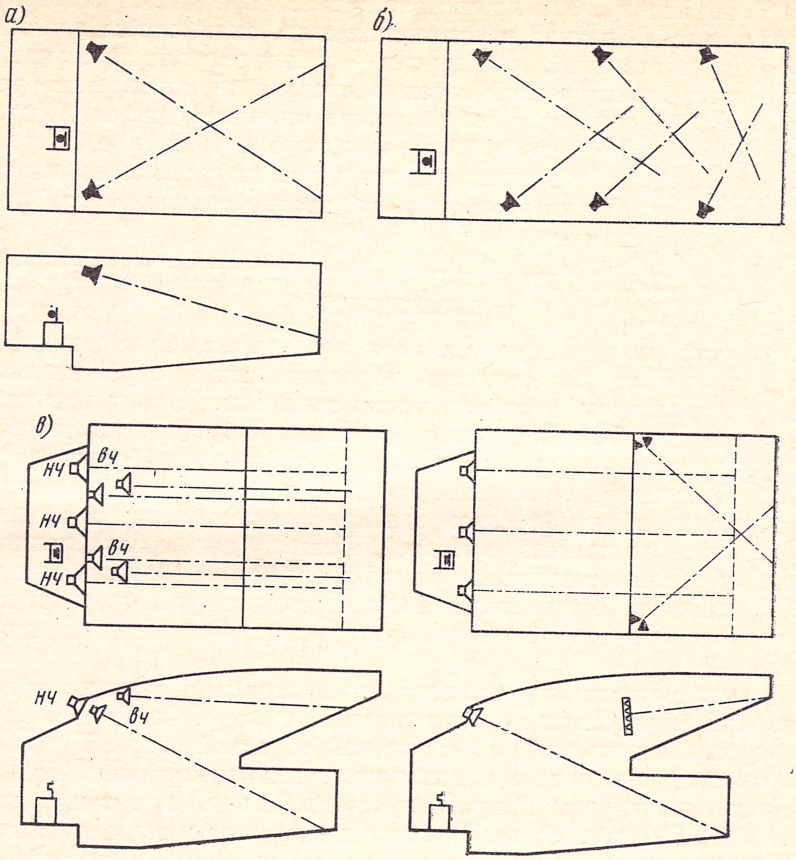


Рис. 7.7. Варианты озвучения зала

ной части зала (рис. 7.7*а*). В этом случае применяют рупорные громкоговорители, звуковые колонки или акустические агрегаты.

Громкоговорители прямого излучения применяют в распределенных системах звукоусиления (рис. 7.7*б*), при этом громкоговорители размещают вдоль боковых стен или на потолке.

В залах значительного объема с балконами равномерное озвучение площади требует более сложных решений. Два возможных варианта озвучения изображены на рис. 7.7*в*.

Вследствие разнообразия форм, высот и объемов зала, в которых организуется звукоусиление, а также из-за различий в планировке и в размерах площадей, открытых театров или аудиторий правильное с технической и экономической точек зрения решение задач звукоусиления требует индивидуального подхода к каждому отдельному объекту и разыскивается оно путем сопоставления различных вариантов.

Система звукоусиления должна предусматривать координацию слухового и зрительного восприятия первоисточника, особенно когда до слушателя доходят соизмеримые по уровню сигналы от первоисточника и от громкоговорителей.

Чтобы сохранить зрительно-слуховое единство восприятия, необходимо, чтобы прямой звук первоисточника опережал звук от громкоговорителя на 10—30 мс. В таком случае допустимо даже превышение уровня усиленного звука по отношению к натуральному (от первоисточника) на 5—10 дБ без потери координации.

Для сохранения единства зрительного и звукового образов предусматриваются линии задержки. Линии задержки выполняются или на основе магнитофона (рис. 7.8*а*) с кольцевым звуконоси-

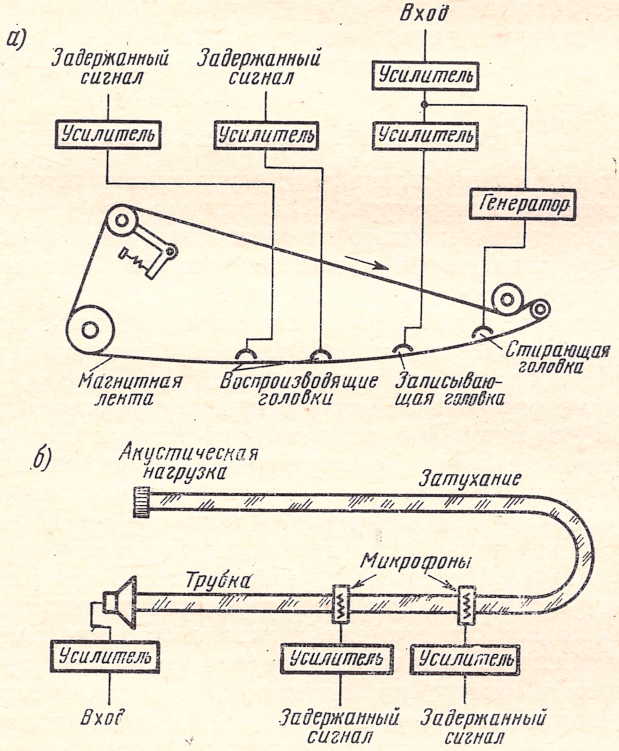


Рис. 7.8. Линии задержки

телем или на базе акустической линии с неотражающим концом (рис. 7.8*б*). Сигнал, подлежащий усилению и распределению по помещению, попадает вначале на магнитную ленту или на громкоговоритель, установленный в акустической трубе.

Затем записанный сигнал воспроизводится несколькими головками или воспринимается микрофонами в акустической трубе,

с помощью которой создается временно́й сдвиг, и подается на группы громкоговорителей в помещении.

При централизованной системе звукоусиления единство звукового и зрительного образов достигается без использования специальных устройств, путем более высокого расположения громкоговорителей с таким расчетом, чтобы звук от громкоговорителя непосредственно шел в публику.

Не во всех случаях, однако, централизованная система установки громкоговорителей оказывается оправданной. Прежде всего, требуются мощные направленные громкоговорители, способные создать равномерное звуковое поле в зале. Поэтому часто используют распределенную систему громкоговорителей. В распределенной системе применяют как диффузионные громкоговорители, так и звуковые колонки.

При размещении направленных громкоговорителей на боковых стенах желательно их оси развернуть под углом 30—60° к задней стенке.

§ 7.5. АППАРАТУРА ДЛЯ ЗВУКОУСИЛЕНИЯ

Для звукоусиления желательно использовать готовые комплекты усилительной аппаратуры. В настоящее время в Советском Союзе выпускается несколько типовых комплектов. Они построены по блочному принципу и позволяют решать различные задачи. Изменяя число оконечных блоков, можно получать установки различной мощности. Комбинируя блоки предварительного усиления, можно получать большое число входов и обеспечить широкие возможности для оперативной коммутации.

Комплекты усилительной аппаратуры выпускаются для различных условий работы. Для стационарных установок звукоусиления выпускаются комплекты аппаратуры из специальных пультов, предварительных усилителей и оконечных усилителей, смонтированных на стойках или в шкафах. Комплекты передвижной аппаратуры предназначены, главным образом, для звукоусиления на открытом воздухе. Нередко они монтируются в автомашинах. Передвижные установки могут быть различной мощности и различного назначения. Для временны́х установок звукоусиления в закрытых помещениях используют переносную аппаратуру различной мощности. Обычно она является модификацией стационарной или передвижной аппаратуры и отличается от нее только тем, что выполнена в виде удобных для переноски блоков. Кроме комплектных установок, для звукоусиления используется большое число различных усилителей, пультов и другой аппаратуры. Для обеспечения необходимой мощности в установках звукоусиления могут использоваться усилители, предназначенные для радиотрансляционных узлов.

Для комплектования установок звукоусиления могут также использоваться отдельные элементы радиовещательной аппаратуры, в том числе студийные пульты, микрофонные усилители и т. п.

Наиболее типичной аппаратурой звукоусиления является звукоусилительная станция типа ЗС-25×2, которая выполняется в переносном и передвижном вариантах. Станция имеет два самостоятельных канала, состоящих из блоков предварительного и оконечного усиления.

В переносном варианте установку монтируют в двух механических чемоданах со съемными крышками. В каждом из них смонтирован комплект одного из каналов, и он может использоваться как самостоятельная усилительная установка мощностью 25 Вт.

В передвижном варианте аппаратуру монтируют на специальном каркасе, который укрепляют позади спинок переднего сидения легковой машины (типа «Москвич», «Волга»).

Структурная схема звукоусилительной станции ЗС-25×2 показана на рис. 7.9.

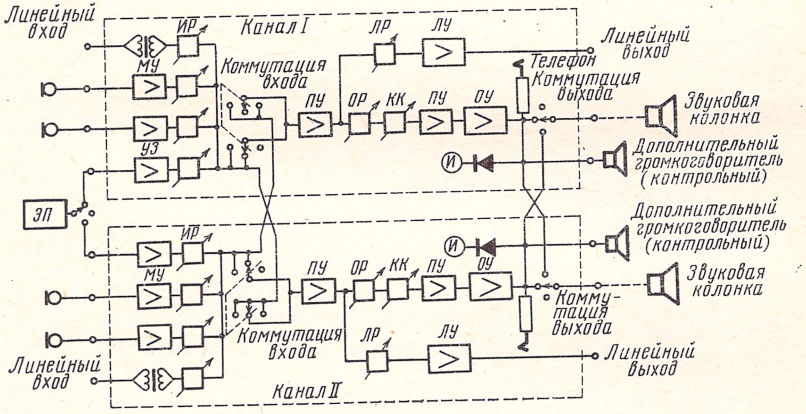


Рис. 7.9. Структурная схема звукоусилительной станции ЗС-25×2

Каждый блок станции содержит два микрофонных усилителя *(УМ)*, усилитель звукоснимателя *(УЗ)*, промежуточный усилитель *(ПУ)*, оконечный усилитель *(УО)*, четыре индивидуальных регулятора уровня *(ИР)*, общий регулятор *(ОР)*, регулятор тембра *(РК)*, имеет линейный усилитель с регулятором уровня для того, чтобы иметь возможность усиливать сигналы внешнего источника программы, поступающие на линейный выход.

Для совместной работы двух каналов имеются коммутационные устройства, обеспечивающие широкие эксплуатационные возможности. Для контроля передачи предусмотрены контрольный громкоговоритель, головные телефоны и индикатор уровня.

Звукоусилительная станция типа ЗС-25×2 имеет чувствительность микрофонного входа 0,5 мВ при входном сопротивлении 600, 250 и 60 Ом; для звукоснимателя — чувствительность 150 мВ при $R_{вх}$=100 кОм, а для работы с линии — 0,775 В при $R_{вх}$=600 Ом.

Рабочий диапазон частот от 40 до 12 000 Гц с неравномерностью $\Delta N = 3$ дБ, коэффициент нелинейных искажений на частотах ниже 100 Гц — 4%, а на частотах выше 100 Гц — 2,5%, уровень шумов — 55 дБ. Вся аппаратура станции первого класса качества.

Аналогичную схему построения имеют звукоусилительные станции ЗС-100, ЗС-250, ЗС-800 и т. д. Они отличаются друг от друга выходной мощностью 100, 250, 800 Вт, количеством микрофонных входов и конструкцией.

§ 7.6. ЭЛЕКТРОМЕГАФОН

Электромегафон — прибор для усиления голоса — представляет собой портативную звукоусилительную систему, применяемую для передачи информации и подачи команд на открытом воздухе при высоком уровне шума: на вокзалах, спортивных площадках, на улицах и т. д. (рис. 7.10).

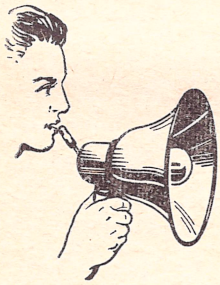


Рис. 7.10. Электромегафон

Типичным примером может служить портативный электромегафон ЗПЭМ-2, состоящий из микрофона, укрепленного на небольшом рупорном громкоговорителе, и усилителя с источником питания, помещающихся в футляре, который носится на плечевом ремне.

Громкоговоритель электромегафона представляет собой рупорный электродинамический громкоговоритель нормального типа; в целях сокращения габарита использован свернутый трехколенчатый рупор микрофон типа ДЭМШ-1.

Усилитель электромегафона с номинальной мощностью 3 Вт имеет четыре ступени усиления, выполненные на полупроводниках. Питание усилителя осуществляется от батареи, состоящей из шести последовательно соединенных батареек для карманного фонаря, с напряжением $4{,}5 \times 6 = 27$ В. Продолжительность работы без смены батареи не менее 5 ч.

§ 7.7. АМБИОФОНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЗВУКОУСИЛЕНИЯ

Изменение акустических характеристик помещений может быть осуществлено системой, получившей название амбиофонической системы звукоусиления.

Структурная схема системы амбиофонии изображена на рис. 7.11. Остронаправленные микрофоны M_1, M_2 принимают только прямой сигнал источника звука; после усиления этот сигнал подается на вход магнитного ревербератора *(МР)* с четырьмя воспроизводящими головками, дающими эхо-сигналы с тем или иным временем запаздывания. С последней головки сигнал снимается и подается на вход усилителя записи — это сигнал обратной связи.

Запаздывающие эхо-сигналы распределяются по четырем группам громкоговорителей, находящихся в студии; излучение этих громкоговорителей создает в студии поле реверберирующего сигнала, временна́я характеристика которого определяется не только акустическими свойствами студии, но и режимом работы ревербератора, уровнем подводимых к громкоговорителям эхо-сигналов и скоростью их убывания во времени.

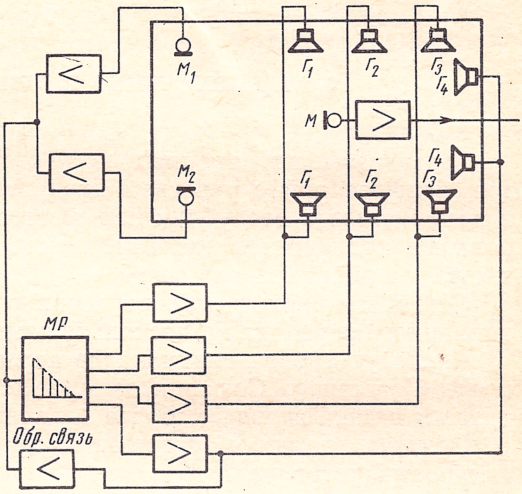


Рис. 7.11. Структурная схема амбиофонической системы

Система амбиофонии является системой с акустической обратной связью. В целях стабилизации работы системы и подавления регенеративной реверберации эта обратная связь должна быть предельно ослаблена, что достигается применением остронаправленных микрофонов и надлежащим размещением громкоговорителей.

С помощью амбиофонической системы звукоусиления создается искусственная, электрически регулируемая, реверберация, воспринимаемая совместно с собственной реверберацией зала и микрофоном *М*.

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к системе озвучения и звукоусиления?
2. Назовите достоинства и недостатки различных систем озвучения.
3. Какие типы громкоговорителей целесообразно применять и в каких случаях?
4. Как надо располагать громкоговорители, чтобы, переходя из зоны действия одного из них в зону действия другого, мы не воспринимали сигналы другого громкоговорителя как помеху?
5. Какие меры борьбы с акустической обратной связью Вы знаете?

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

УСТАНОВКИ СИНХРОННОГО ПЕРЕВОДА РЕЧЕЙ

§ 8.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

Развитие международных связей, проведение конгрессов, съездов, конференций с участием представителей многих стран мира и национальных республик нашей страны, а также гастроли театральных коллективов различных национальностей привели к развитию техники перевода речей.

Установки синхронного перевода речей — это установки одновременного перевода на несколько языков.

Число установок синхронного перевода речей в различных городах Советского Союза и за рубежом постоянно увеличивается, разрабатываются новые, более совершенные установки.

Обычно на любом совещании представителей разных национальностей устанавливают несколько рабочих языков, которых ораторы должны придерживаться при выступлении. Число рабочих языков колеблется от 2—3 до 6—8.

За каждым рабочим языком закрепляется свой переводчик, который должен знать язык оратора.

Установки синхронного перевода речей работают следующим образом. Напряжение звуковой частоты от микрофона ($М_0$) оратора подается на усилитель ($У_0$) и с него к телефонам ($Т$) переводчиков.

Переводчики располагаются в отдельных звукоизолированных кабинах ($К_1$), чтобы не мешать друг другу и участникам совеща-

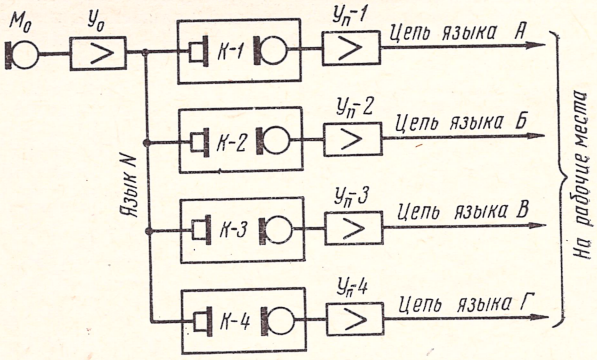


Рис. 8.1. Структурная схема установки прямого перевода речи

ния. Напряжения, развиваемые микрофонами переводчиков усиливаются и поступают в соответствующие цепи («языкового» канала) (рис. 8.1).

Приведенная структурная схема иллюстрирует один из видов работы установок синхронного перевода речей оратора, а именно прямой перевод. При прямом переводе иногда требуются переводчики, которые знали бы мало распространенные языки. Поэтому чаще применяется другой вид перевода, так называемый двойной перевод.

Двойной перевод организуется так, что речь оратора переводится, прежде всего, на язык, знакомый всем переводчикам, с которого они легко переводят на закрепленный за ними иностранный язык. Структурная схема установки для работы двойным переводом изображена на рис. 8.2.

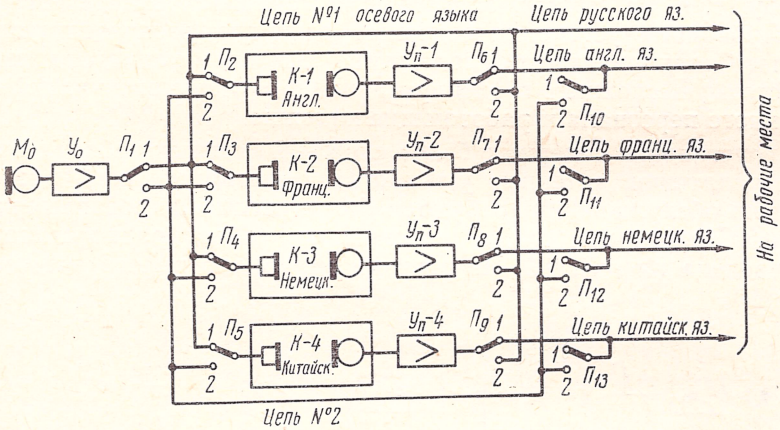


Рис. 8.2. Структурная схема установки двойного перевода

Предположим, что оратор выступает на русском языке. Все переключатели $П_1$—$П_{13}$ устанавливаются в положение *1*. В цепь русского (осевого) языка и ко всем переводчикам в этом случае поступает русская речь оратора, каждый из переводчиков переводит ее на закрепленный за ним язык, и переводы поступают в цепь соответствующих языков к слушателям. Пусть теперь оратор выступает на английском языке. Английскую речь следует подать в цепь английского языка и в кабину К-1 для перевода на русский язык. Русский перевод, в свою очередь, нужно направить в цепь русского языка и во все остальные кабины для последующего перевода на все другие языки. Эти переводы после усиления усилителями направляются в соответствующие цепи распределительной сети. Для этого необходимо переключатели $П_1$, $П_2$, $П_6$ и $П_{10}$ поставить в положение *2*, а все остальные оставить в положении *1*.

При выступлении оратора на французском языке в положение

2 переключаются переключатели $П_1$, $П_3$, $П_7$ и $П_{11}$. При выступлении оратора на немецком языке в положение 2 ставятся переключатели $П_1$, $П_4$, $П_8$ и $П_{12}$ и т. д.

При организации синхронного перевода речей можно использовать комплекс технических проводных или радиосредств. В случае проводных установок линии «языкового» канала непосредственно подводятся к гнездам телефонов, укрепленным на креслах участников совещания (при этом возможны два варианта), или к определенным участкам зала. В первом случае на каждом кресле устанавливаются гнезда по количеству языков или одна пара гнезд и переключатель. Подобная система применяется во Дворце съездов в Москве, в Кремле. Во втором случае на каждом кресле устанавливается только одна пара гнезд и участники совещания в этом случае рассаживаются в зале строго по языковому принципу, т. е. на местах, за которыми закреплен определенный язык. Проводные установки содержат сложную распределительную сеть. Станционная часть содержит в основном усилители низкой частоты, несложные в эксплуатации, не требующие квалифицированного персонала и работающие надежно.

Радиоустановки содержат более сложный комплекс оборудования (передатчики, антенные устройства, радиоприемники), поэтому для их обслуживания требуются более квалифицированные работники. Структурная схема, поясняющая работу радиоустановки, приведена на рис. 8.3. Из рисунка видно, что вместо мощных

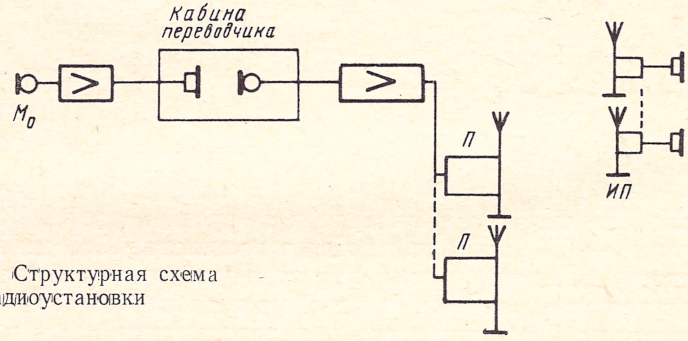


Рис. 8.3. Структурная схема радиоустановки

усилителей и распределительной сети проводной установки здесь имеется несколько передатчиков (П), сигналы которых принимаются индивидуальными приемниками (ИП).

§ 8.2. СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ УСТАНОВОК СИНХРОННОГО ПЕРЕВОДА РЕЧЕЙ ПРОВОДНОГО (ВЭФ-8) и РАДИО- (УПР-3, УПР-8) ВАРИАНТОВ

Установка ВЭФ-8. Она рассчитана для работы прямым и двойным переводом на 8 языков.

Схема установки приведена на рис. 8.4. В схеме допущены упрощения. Для прямого перевода тумблер Род работы на пульте главного диспетчера ставится в положение *1* и +24 В через контакты *1—2* ключей кабин *1—7* подается к обмоткам реле P_{11}—P_{17} в пультах переводчиков. На пульте главного диспетчера загорается лампочка Прямой перевод. Рассмотрим случай выступления оратора, например, на русском языке. Языку присвоен № 8 и закрепленной за ним кабины нет, потому что при прямом переводе на *n* языков с *n*—1 кабиной на русский (осевой) язык переводят по очереди переводчики кабин *1—2* в зависимости от языка оратора. Диспетчер ставит ключ языка № 8 в верхнее положение и контакты ключа *1—2, 3—4* и *5—6* замыкаются. Контакты *1—2* включают сигнальную лампочку Язык № 8 на пульте диспетчера. Контакты *3—4* подают +24 В на реле P_8 в шкафу усилителей. Контакты *5—6* подготовляют цепь сигнализации к тому, чтобы в случае необходимости переводчики могли подать оратору сигнал Говорите медленнее именно на том языке, которым пользуется оратор (токопрохождение: —24 В, лампочка $Л_8$ на пульте оратора и председателя, ключ на пульте главного диспетчера, кнопки Говорите медленнее в кабинах переводчика, +24 В).

Реле P_8 замыкает контакты *1—2,* и напряжение звуковой частоты от усилителя трибуны подается в распределительную сеть и кабины в цепь языка № 8. Кроме того, напряжение речи оратора после усилителя трибуны попадает в цепь № 9 (язык оратора) и оратора можно прослушать по телефону T_2 в положении *8* и *9* переключателя выбора языка. В кабинах переводчиков из цепи № 9 речь оратора поступает через замкнутые контакты *3—2* реле $P_{п1}$—$P_{п7}$ на телефоны T_1 переводчиков.

Переводчики переводят с языка № 8 на закрепленный за ними язык. Переводы поступают через усилители переводчиков и контакты *2—1* реле P_1—P_7 в соответствующие цепи языков №№ 1—7.

Рассмотрим случай прямого перевода с языков №№ 1—7. Пусть оратор выступает на языке № 1, закрепленном за переводчиком первой кабины. Диспетчер переводит в верхнее положение ключ кабины *1.* Тогда контакты *2—3, 4—5, 6—7, 8—9* этого ключа замыкаются. Контакты *2—3* подают +24 В на реле $P_{п1}$ в пульте переводчика первой кабины, и телефоны T_1 контактами *2—3* этого реле включаются в цепь № 9 оратора. Переводчик слушает речь оратора и переводит ее на язык № 8. Контакты *4—5* включают на пульте главного диспетчера лампочку Язык № 1, сигнализирующую о том, что на язык № 1 переводит переводчик первой кабины.

Контакты *6—7* включают реле P_1. Контакты *8—9* приводят в готовность цепь для подачи оратору предупреждающего сигнала Говорите медленнее. Реле P_1 замыкает свои контакты *2—3, 4—5* и *6—7.*

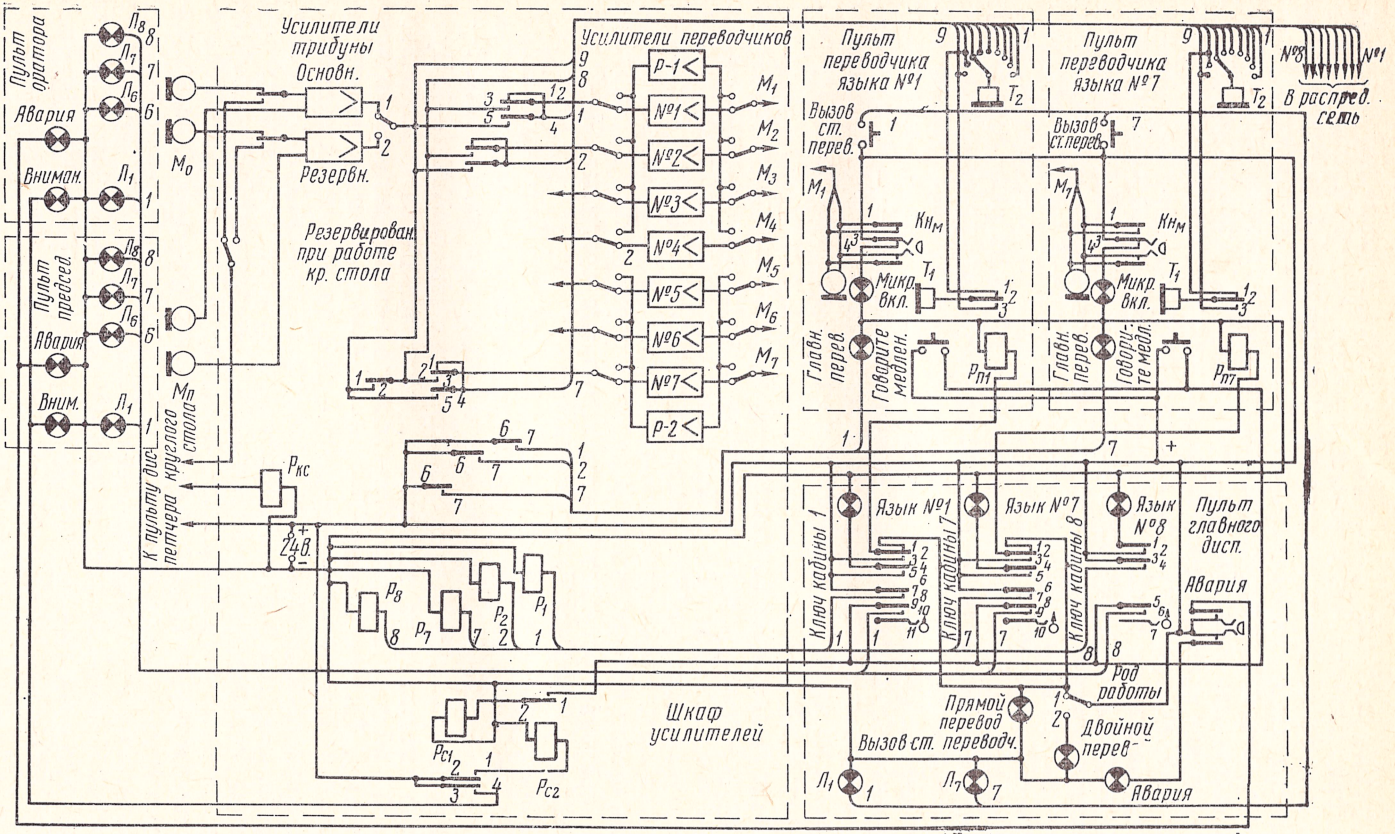


Рис. 8.4. Схема коммутации установки ВЭФ-8

В результате этого:

— речь переводчика первой кабины, усиленная усилителем № 1, через контакты *2—3* поступает в цепь языка № 8;

— речь оратора после усилителя трибуны через контакты *5—4* поступает в цепь языка № 1;

— контакты *6—7* замыкают цепь лампочки Главный переводчик на пульте переводчика. Лампочка сигнализирует переводчику, что он должен переводить с языка № 1 на язык № 8.

Переводчики в кабинах *2—7* прослушивают речь оратора по телефону T_1, поскольку реле $P_{п2}$—$P_п$ сработали при переключении тумблера Род работы в положение Прямой перевод и телефоны подсоединились к цепи № 9. Переводы из этих кабин после усиления поступают на соответствующие цепи распределительной сети через контакты *1—2* реле P_2—P_7.

При двойном переводе тумблер Род работы устанавливается главным диспетчером в положение *2*, и на пульте главного диспетчера загорается лампочка Двойной перевод.

Рассмотрим два случая: двойной перевод с осевого языка № 8 и двойной перевод с одного из языков №№ 1—7.

Оратор выступает на языке № 8. На пульте главного диспетчера ключ языка № 8 переведен в верхнее положение. При этом замыкаются контакты *2—1* и загорается сигнальная лампочка Язык № 8, контакты *3—4* и исключается реле P_8, контакты *5—6* и подготовляется к действию сигнализация Говорите медленнее. Реле P_8, срабатывая, замыкает контакты *1—2* и подает речь оратора в цепь языка № 8. Все переводчики по телефону T_1 слушают речь на языке № 8, так как контакты реле $P_п$ во всех кабинах замкнуты. Переводы поступают в цепь соответствующих языков после усилителей №№ 1—7 через контакты *1—2* реле P_1—P_7.

Если оратор выступает на неосевом языке, например, на языке № 7, диспетчер на пульте Ключ кабины № 7 переводит в верхнее положение. Тогда замыкаются контакты *2—3* и включают реле $P_{п7}$, а оно присоединяет телефоны T_1 переводчика в 7-й кабине цепи языка № 9 (оратора), контакты *4—5* и включают лампочку на пульте главного диспетчера, контакты *7—6* и включают реле P_7, контакты 8—9 и подготовляет к работе сигнальную цепь Говорите медленнее.

Реле P_7 срабатывает и контактами *2—3* подает перевод речи из кабины № 7 в цепь языка № 8, контактами *4—5* направляет речь оратора в цепь языка № 7, контактами *6—7* включает лампочку Главный переводчик на пульте переводчика № 7.

Переводчики кабин *1—6* слушают осевой язык № 8 и перевод из этих кабин в языковые цепи через контакты *1—2* и реле P_1—P_6. Во всех кабинах установки, помимо управляемого телефона T_1, имеется телефон T_2, который посредством переключателя может быть соединен с цепью любого языка. Этим телефоном переводчик пользуется, если знает один из официальных языков конференции

лучше, чем осевой язык. Схема предусматривает также возможность вызова любым из переводчиков старшего переводчика.

На пульте переводчика имеется лампочка Микрофон включен, которая питается через контакты *3—4* кнопки $Кн_м$. Главный диспетчер в случае аварии нажимает кнопку Авария. При этом загораются лампочки Авария на пультах оператора, председателя и главного диспетчера. Любой переводчик, не успевающий переводить, может сообщить об этом оратору, нажав кнопку Говорите медленнее. При этом на пультах трибуны загораются соответствующие лампочки $Л_1$—$Л_8$ и лампочки Внимание.

Питание лампочки Внимание осуществляется через цепь реле замедленного действия $Р_{с1}$ и $Р_{с2}$, образующих пульс-пару. Поэтому эти лампочки мигают. Действительно, когда цепь сигнализации замыкается одной или несколькими кнопками Говорите медленнее, ток проходит через замкнутые контакты *1—2* реле $Р_{с2}$ и обмотку $Р_{с1}$. Реле $Р_{с1}$ срабатывает и замыкает контактами *1—2* цепь питания реле $Р_{с2}$ и контактами *3—4* цепь питания лампочек питания, лампочки загораются. Реле $Р_{с2}$, сработав, размыкает свои контакты и обесточивает реле $Р_{с1}$. Контакты *1—2* реле $Р_{с2}$ обесточивают реле $Р_{с2}$, контакты *3—4* размыкают цепь питания лампочек Внимание, лампочки гаснут. При обесточивании реле $Р_{с2}$ восстанавливается цепь питания реле $Р_{с1}$, лампочки загораются, процесс начинается снова и продолжается до тех пор, пока нажата хотя бы одна кнопка Говорите медленнее.

В схеме применено стопроцентное резервирование усилителя трибун. Семь усилителей переводчиков резервируются двумя постоянно работающими усилителями $У_1$ и $У_2$ (каналы *1—4* — усилителем $У_1$, каналы *5—7* — усилителем $У_2$).

Усилители низкой частоты в установках синхронного перевода речей предназначены для усиления речевых программ от микрофонного уровня до уровня, обеспечивающего нормальную работу всех оконечных устройств, которыми в проводных устройствах является полный комплект телефонов распределительной сети. При расчете усилителей учитываются затухания в линиях, в ограничительных сопротивлениях и обязательный запас по усилению порядка 3—4 дБ.

Все требуемое усиление в каждом канале получается в едином усилительном блоке. Усилители смонтированы в отдельном шкафу. Полоса пропускания усилителей 300÷3000 Гц, неравномерность 4—6 дБ, уровень шума —55 дБ.

Усилители установок синхронного перевода работают в режиме меняющейся нагрузки; число слушателей, включенных в тот или иной канал, непостоянно. Поэтому существенным параметром таких усилителей является нагрузочная характеристика. В усилителях установки ВЭФ-8 сброс составляет 2—3 дБ. Комплект перевода ВЭФ-8 рассчитан на 250 мест (~8 мВт на точку).

Имеется комплект распределительной сети, который состоит из распределительных коробок и кабелей. Распределительная сеть

обеспечивает переходное затухание между каналами порядка 80 дБ. Слушательское устройство состоит из двухплатного переключателя и регулятора громкости.

Установка УПР-3. Установка перевода речей УПР-3 является малогабаритной переносной радиоустановкой на три канала. На рис. 8.5 дана схема передатчика. Мощность передатчика 0,25 Вт в режиме несущей. УПР-3 рассчитана на обслуживание площади 500 м². Частотная характеристика тракта в пределах 85÷145 кГц равномерна, и частота передатчика определяется частотой кварца (85, 115 или 145 кГц). В качестве задающего генератора работает транзистор П15А; кварц включен между базой и коллектором.

Для нормальной работы передатчика на одной из фиксированных частот напряжение возбуждения должно быть независимым от смены кварцев. Для этого в схеме передатчика напряжение задающего генератора подается через частотнозависимую цепочку на буферный каскад, являющийся усилителем-ограничителем. Буферный каскад (П15А) нагружен на ферритовый тороидальный трансформатор Tp_1. Во вторичную обмотку трансформатора включено два диода Д2В, на который подается некоторое начальное смещение. Величина его подбирается так, что, если в возбудитель поставлен более активный кварц и амплитуда сигнала возрастает, в каскаде наступает ограничение. Постоянная составляющая тока детектора ограничителя управляет базовой цепью буферного каскада. В передатчике принята модуляция со смещением по базовой цепи. При изменении смещения в пределах ±0,4 В напряжение на нагрузке коллекторной цепи меняется от 0,4 до 6,8 В. В эмиттерную цепь модулятора включено сопротивление обратной связи для линеаризации модуляционной характеристики. Передатчик имеет коэффициент нелинейных искажений менее 6% при глубине модуляции 90%. Переменное сопротивление R_{12} позволяет подобрать режим работы модулятора. В коллекторной цепи модулятора включен фильтр нижних частот с частотой среза 170 кГц, благодаря чему срезаются вторая и высшие гармоники даже самой нижней рабочей частоты передатчика (85 кГц). Выходной каскад — двухтактный. Транзисторы П601А работают в режиме класса В.

Многоканальные радиоустановки синхронного перевода речей должны иметь в своем составе специальный блок сложения и резервирования (БСР). Блок обеспечивает параллельную работу нескольких передатчиков на общую антенну. В этом же блоке, как правило, сосредоточиваются элементы резервирования и коммутации передатчика. Схема БСР представлена на рис. 8.6. На общем выходе полосовых фильтров устанавливается дополнительный фильтр нижних частот. Нагрузка фильтра — активное сопротивление $R_н$, равное характеристическому сопротивлению полосовых звеньев, антенна же входит в фильтр как индуктивное звено.

Приемник УПР-3. Приемник, принципиальная схема которого приведена на рис. 8.7, рассчитан на прием фиксированных частот 85,115 и 145 кГц. Двухконтурный фильтр с сосредоточенной селек-

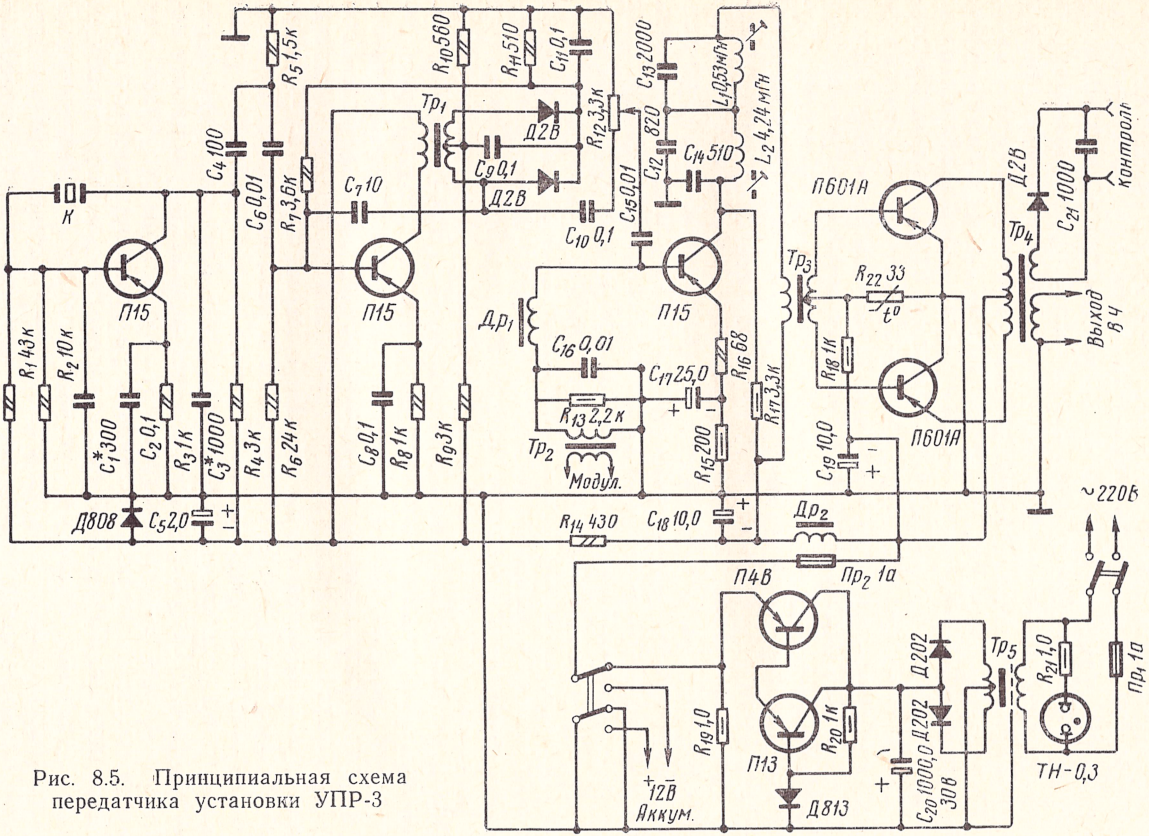


Рис. 8.5. Принципиальная схема передатчика установки УПР-3

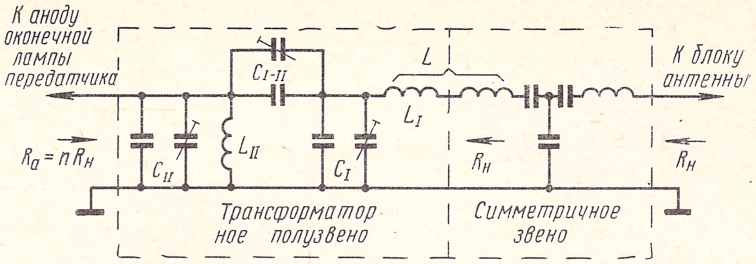


Рис. 8.6. Структурная схема блока сложения и резервирования установки УПР-3

цией во входной цепи каждого канала обеспечивает полосу пропускания 6 кГц. Избирательность по соседнему каналу при расстройке частот 30 кГц превышает 45 дБ. Тракт *УВЧ* образован двумя апериодическими каскадами на транзисторах П416. Детектором в приемнике служит германиевый диод Д1В. Двухкаскадный *УНЧ* построен на транзисторах П29. Нагрузкой оконечного каскада служит миниатюрный телефон ТМ-2М «Серьга». Приемник питается от 2,5-вольтовой аккумуляторной батареи 2ЦМК 0,2, которая обеспечивает непрерывную работу приемника в течение 25 ч. Чувствительность приемника не хуже 45 мВ/м при выходной мощности 0,1 номинальной и соотношении сигнал/шум 40 дБ.

Установка УПР-8 и установка УПР-15. Установки рассчитаны на применение значительно более чувствительных приемников, поэтому мощность в антенне снижена. Передатчики выполнены с увеличенным разносом частот между каналами, а также с кварцевой стабилизацией частоты и автоматическим резервированием. В целях полной взаимозаменяемости передатчики УПР-8 и УПР-15 собраны по одной и той же схеме. В УПР-8 имеется 16 передатчиков, а в УПР-16 — 32 передатчика.

На рис. 8.8 дана структурная схема передающей стойки УПР-15. Структурная схема УПР-8 отличается только количеством каналов. Передатчики имеют 100%-ный резерв (горячий). Аппаратура УПР-8 комплектуется приемниками ППР-8-1 (рис. 8.9), рассчитанными на прием фиксированных частот 1650, 1700, 1750, 1800, 1850, 1900, 1950, 2000 кГц. В установке УПР-15, кроме приемников ППР-8-1, применяются приемники ППР-8-2 с настройкой на частоты 1675, 1725, 1775, 1825, 1875, 1925, 1975 и 2000 кГц. Такое распределение фиксированных частот между приемниками установки УПР-15 оказывается удобным при задействовании неполного числа языковых каналов. В каждом из приемников частотный интервал между соседними каналами приема составляет 50 кГц, и, когда число языков не превышает восемь, имеется возможность существенно увеличить переходное затухание между соседними языковыми каналами. Для этого включаются передатчики, несущие которых соответствуют номиналам фиксированных ча-

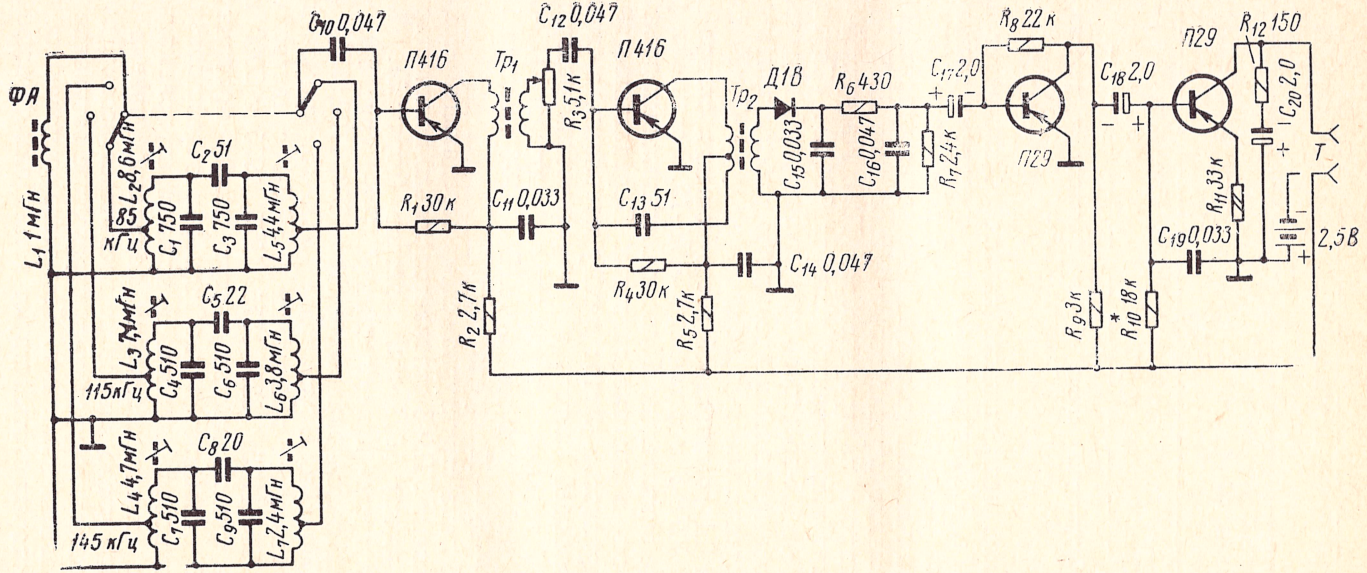


Рис. 8.7. Принципиальная схема приемника установки УПР-3

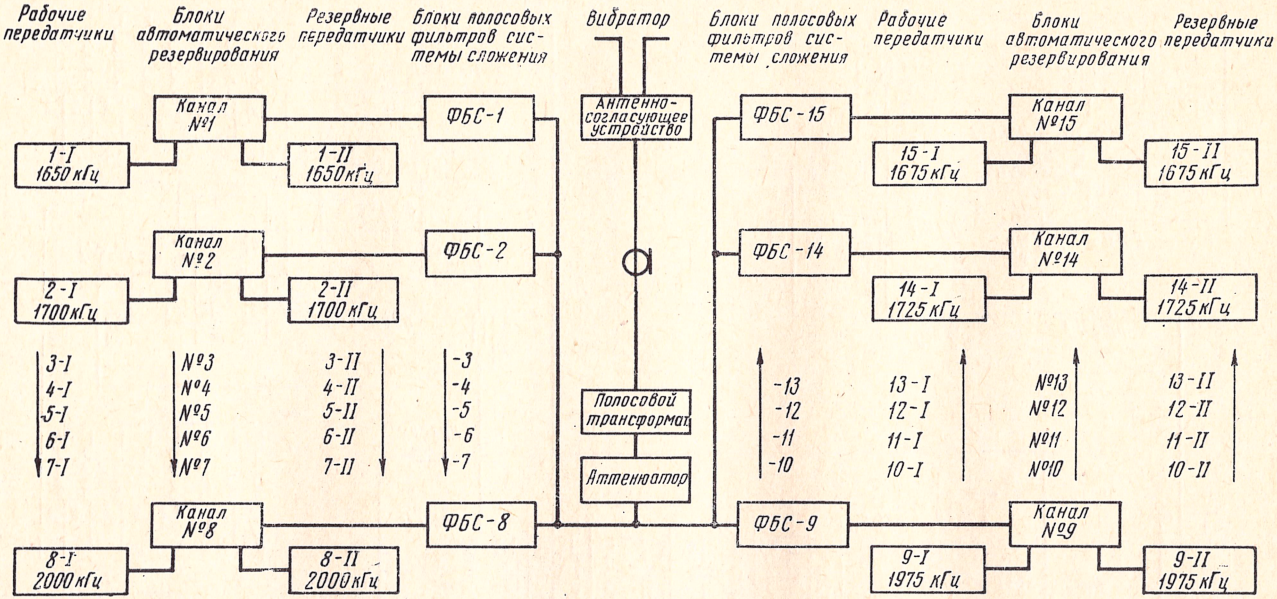


Рис. 8.8. Структурная схема передающей стойки УПР-15

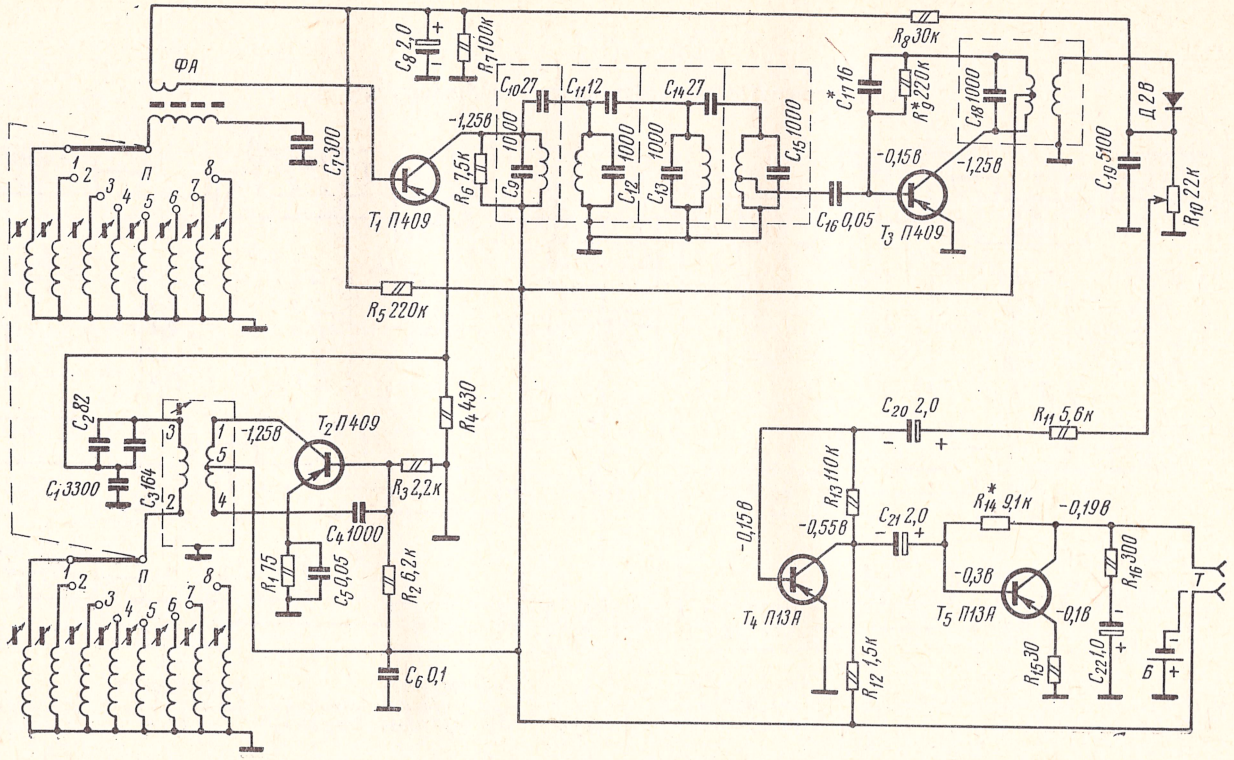


Рис. 8.9. Принципиальная схема приемника ППР-8-1

стот только из двух типов приемников. Чувствительность приемника ППР-8 — 30 мВ/м. Сигнал принимается встроенной магнитной антенной. Преобразователь частоты состоит из смесительной ступени, собранной на транзисторе T_1 типа П409, и отдельного гетеродина на транзисторе T_2 того же типа. Это позволяет обеспечить наилучшие условия работы. Гетеродин выполнен по трехточечной схеме с термостабилизацией в интервале температур от +15 до +35°С. Частота гетеродина выбрана выше частоты сигнала. Напряжение гетеродина подается в цепь эмиттера смесительного транзистора, а принимаемая программа — в цепь базы, как это принято в двухтранзисторных преобразователях. Преобразовательный каскад охвачен системой АРУ, которая обеспечивает нормальную работу приемника при повышении напряженности поля до 0,7 В/м.

Избирательность приемников ППР-8-1 и ППР-8-2 для установки УПР-15 нормируется по соседнему каналу (языковому), т. е. для расстройки +25 кГц, и не должна быть менее 40 дБ. Полоса пропускания тракта промежуточной полосы — порядка 15 кГц.

После детектирования диодом Д2В принимаемый сигнал поступает на двухкаскадный усилитель низкой частоты (транзисторы T_4 и T_5 типа П13А). Нагрузка оконечного каскада — телефон ТМ-2М типа «Серьга» с сопротивлением 50 Ом. Номинальная неискаженная мощность приемника —0,7 мВт. Питание приемника осуществляется от никелекадмиевого аккумулятора ЦНК-0,45, обеспечивающего непрерывную работу приемника в течение 40 ч. Конструкция и тип антенн выбираются с учетом особенностей распространения волн диапазона частот, выделенного для радиоустановок синхронного перевода речей. В большинстве случаев для работы установок отводятся длинные волны. На длинных волнах находит широкое применение горизонтальная петлевая антенна, поэтому большинство установок использует магнитное поле внутри обтекаемого током индуктивного шлейфа, длина которого мала по сравнению с длиной волны несущей передатчика.

УПР-8 и УПР-15 работают в диапазоне средних волн и в качестве передающей антенны используется горизонтальный полуволновый вибратор. Расположенный по полу зала, он позволяет получить вертикальную составляющую магнитного поля. Приемлемая неравномерность поля достигается включением нескольких вибраторов и подбором величины подаваемой на каждый из них мощности. Согласование антенны с фидером осуществляется посредством широкополосного трансформатора.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о принципах действия установок синхронного перевода речей.
2. Нарисуйте структурные схемы установки проводного и радиовариантов.
3. Расскажите об установке ВЭФ-8, системе коммутации ее и о цепях прохождения перевода.
4. Расскажите о радиоустановках УПР-3, УПР-8 и УПР-15. Какие они имеют особенности и где их применение целесообразно?

Раздел III.
Системы проводного вещания и элементы их станционных устройств

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ

СИСТЕМЫ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

§ 9.1. УЗЛООБРАЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

Системой проводного вещания (*ПВ*) или радиотрансляционным узлом (РТУ) называется комплекс станционных, линейных сооружений и абонентского оборудования, обеспечивающих доведение программ вещания до широкого круга слушателей. Станционные сооружения РТУ представляют собой комплекс усилителей различной мощности, аппаратуры управления, контроля и коммутации. Линейные сооружения или радиотрансляционные сети (РТС) — это совокупность различных радиотрансляционных линий, внутридомовой проводки, трансформаторов и других линейных устройств, служащих для передачи программы вещания от усилителей до розеток, установленных у абонентов. Под радиотрансляционной линией подразумевается физическая цепь, состоящая из подвешенных на опорах и стойках двух проводов (воздушные линии) или кабеля в земле (кабельные линии).

Системы *ПВ* делятся на централизованные и децентрализованные. В централизованной системе (рис. 9.1) станционные сооружения (предварительные усилители *ПУ*, мощные усилители *МУ*, коммутационные и другие устройства) размещаются в одном пункте. В децентрализованной системе (рис. 9.2) станционные сооружения (в основном мощные усилители *МУ*) размещаются в нескольких пунктах 1—2—3 на территории города. Они получают программу вещания по выделенным парам соединительных линий ГТС от центральной усилительной станции *ПВ* (ЦУС). Преимущества централизованной системы состоят в том, что энергоснабжение и эк-

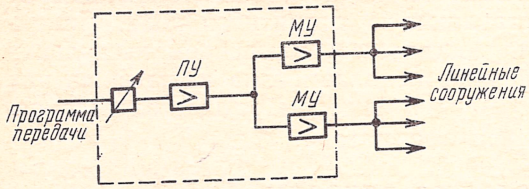


Рис. 9.1. Скелетная схема централизованной системы

сплуатация станционных сооружений упрощаются. Однако централизованная система не пригодна для крупных городов, так как линейные сооружения (радиотрансляционные сети) становятся длинными и громоздкими.

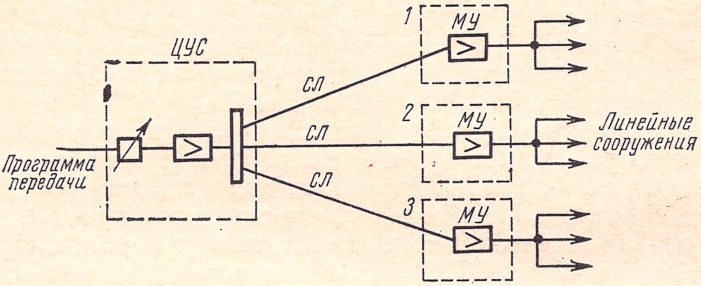


Рис. 9.2. Скелетная схема децентрализованной системы

Преимущества децентрализованной системы для крупных городов состоят в том, что упрощаются радиотрансляционные сети, повышается кпд. Система становится более устойчивой. Однако децентрализованная система требует применения средств дистанционного управления и контроля.

Радиотрансляционные сети (РТС) системы *ПВ* в зависимости от их построения подразделяются на одно-, двух- и трехзвенные.

Однозвенных сетях (рис. 9.3*а*) напряжение в линиях со-

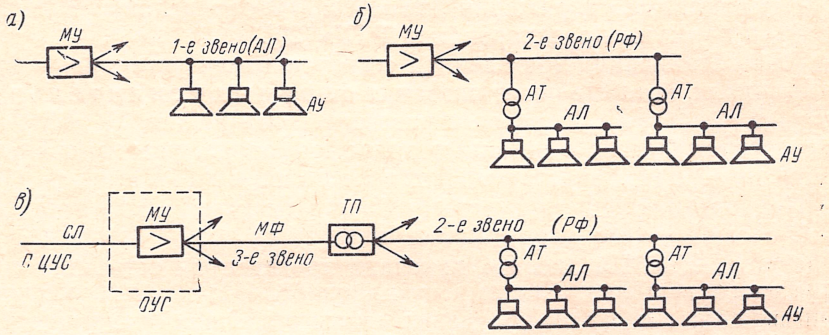


Рис. 9.3. Схема построения РТС:
а) однозвенная; *б*) двухзвенная; *в*) трехзвенная

ответствует напряжению, подаваемому к абонентским установкам (*АУ*) без каких-либо промежуточных устройств. Здесь имеет место одно звено линий, которые называются абонентскими. Абонентские линии (*АЛ*) являются первым звеном РТС. В больших домах роль абонентских линий выполняет внутридомовая проводка. Программа вещания к слушателям подается высоким уровнем, что позволяет применять у абонента обычные громкоговорители без элементов усиления и средств электропитания.

Двухзвенная сеть (рис. 9.3*б*), помимо первого звена линий, содержит распределительные фидеры (*РФ*) (2-е звено), питающие абонентские линии через абонентские трансформаторы (*АТ*).

Трехзвенная сеть (рис. 9.3*в*) представляет собой совокупность двухзвенной сети, питаемой усилителями через магистральные фидеры (*МФ*). Магистральные фидеры являются третьим звеном сети. Они высоковольтны, и поэтому техника безопасности требует применения особых средств защиты.

Радиотрансляционные линии в зависимости от величины напряжения в них подразделяют на два класса: к первому классу относятся фидерные линии с номинальным напряжением выше 360 В. Ко второму классу относятся абонентские линии с номинальным напряжением 30 В и фидерные линии с номинальным напряжением не выше 360 В. В настоящее время для абонентских линий города и сельской местности выбрано номинальное напряжение 30 В (исключение составляет г. Москва, где принято напряжение 15 В). Для распределительных фидеров в городе рекомендовано два номинала напряжения 120 и 240 В, а на селе — несколько номиналов с интервалами в 3 дБ: 60, 85, 120, ..., 340, 360 В; для магистральных фидеров — 480, 640, 720 и 960 В и др. Большое количество номинальных значений напряжений для сельских линий объясняется тем, что в случаях значительной длины линий не при всех значениях напряжений можно обеспечить достаточное напряжение в конце линии.

Номинальные напряжения для *РФ* и *МФ* определены «Электрическими нормами проектирования РТУ» [29].

При организации трехзвенной сети усилители устанавливаются на станциях, которые носят названия опорных усилительных станций (*ОУС*). Переход с третьего звена на второе звено линии осуществляется с помощью трансформатора, устанавливаемого на трансформаторной подстанции (*ТП*).

При организации многопрограммного вещания системы РТУ и РТС остаются теми же, однако, появляются дополнительные устройства *1, 2, 3*. На рис. 9.4 показана трехзвенная сеть многопрограммного вещания. Систему станционных и линейных сооружений выбирают с учетом получения наивыгоднейших экономических,

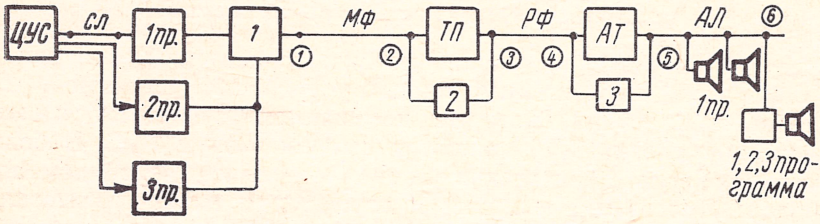


Рис. 9.4. Скелетная схема построения ТПВ

качественных и эксплуатационных показателей, а также в соответствии с особенностями радиофицируемой местности.

Узлообразование системы *ПВ* (децентрализованной или централизованной, трех-, двух- или однозвенной) определяется при проектировании. С целью достижения наиболее высоких технико-экономических показателей для технически грамотной эксплуатации устройств необходимо знать характер распределения электрических уровней.

Диаграммой электрических уровней называют графическое изображение распределения электрических уровней вдоль данного участка, например тракта проводного вещания, или по элементам сложной аппаратуры. В проводном вещании диаграмма уровней строится по уровням напряжения. Уровень вещательной передачи меняется в широких пределах и зависит от ее характера. В настоящее время принято строить диаграмму уровней для речевого сигнала. Она вычерчивается всегда под скелетной схемой тракта или аппаратуры. Построим диаграмму уровней для тракта трехпрограммного вещания по проводам (ТПВ). Скелетная схема тракта ТПВ, т. е. однопроводное его изображение, показана на рис. 9.5. Напряжение сигнала 120 В от передатчика *П* подается

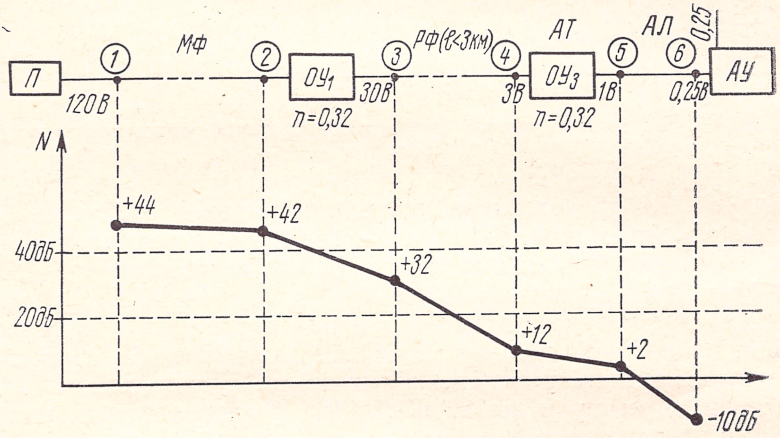


Рис. 9.5. Диаграмма уровней ТПВ

в магистральный фидер *МФ*. Рассчитаем электрический уровень напряжения в начале *МФ*: $N_1 = 20 \lg \frac{U_1}{U_0} = 20 \lg \frac{120}{0{,}775} = +44$ **дБ.** Отложим этот уровень на диаграмме под схемой. Найдем уровень напряжения в точке *2*, в конце *МФ*, имея в виду допустимое снижение напряжения вдоль фидера на 2 дБ, т. е. $N_2 = +42$ **дБ.** Напряжение сигнала после *ТП* (обходного устройства $ОУ_1$) снижается до 30 В. Значит уровень $N_3 = 20 \lg \frac{U_3}{U_0} = 20 \lg \frac{30}{0{,}775} = +32$ **дБ.**

Затухание в распределительном фидере может быть для вч сигналов ТПВ порядка 20 дБ, поэтому уровень напряжения следует ожидать в точке *4* равным +12 дБ. Абонентский трансформатор с обходным устройством ОУ-2 ослабляет напряжение в три раза, и уровень напряжения в точке *5* будет $N_5 = 20 \lg \frac{1}{0{,}775} = +2$ дБ. Если учесть затухание вч сигнала в абонентской линии в 4 раза, то

$$N_6 = 20 \lg \frac{0{,}25}{0{,}775} = 10 \text{ дБ}.$$

Все рассчитанные уровни наносим на диаграмму.

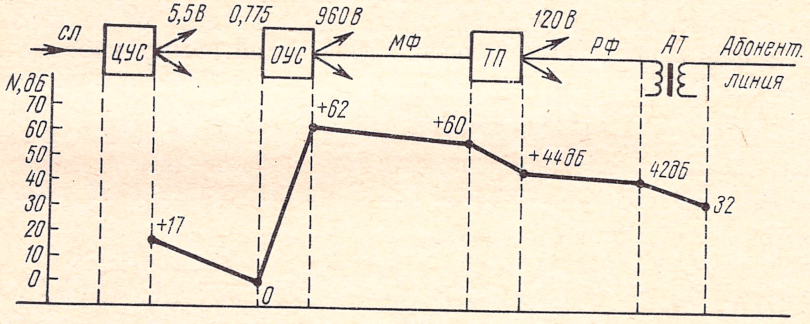


Рис. 9.6. Диаграмма уровней трехзвенной системы однопрограммного вещания

На рис. 9.6 представлена диаграмма уровней трехзвенной системы построения сети РТУ. На выходе *ЦУС* напряжение должно быть по установленным нормам 5,5 В, что соответствует +17 дБ, на входе *ОУС* напряжение 0,775 В (0 дБ). На *ОУС* происходит усиление напряжения до 960 В (+ 62 дБ). На *МФ* происходит падение напряжения на 1—2 дБ. Малое затухание объясняется высоким напряжением в фидере. На выходе *ТП* напряжение снижается трансформатором до 120 В (44 дБ), в распределительном фидере *РФ* происходит затухание 2 дБ и больше. После абонентского трансформатора *АТ*, который снижает уровень на 10 дБ, напряжение 30 В поступает на абонентскую линию.

§ 9.2. СИСТЕМЫ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

Построение системы

В большинстве городов нашей страны с населением до 50 тыс. человек и количеством абонентских установок до 8—10 тыс. применяется централизованная система преимущественно с двухзвенной сетью.

В городах с населением более 50—60 тыс. человек целесообразна система, децентрализованная с двух- или трехзвенной сетью. Для городов с населением свыше 200—250 тыс. человек и количеством абонентских установок свыше 10 тыс. наиболее целесообразна децентрализованная система с трехзвенной сетью. Наличие третьего звена сети увеличивает радиус действия усилительной станции, их число сокращается, расходы на строительство и эксплуатацию линейных сооружений уменьшаются.

Чтобы иметь представление о путях построения системы *ПВ* в городах, познакомимся с технико-экономическими соображениями, которые определяют целесообразность децентрализованной системы с трехзвенной распределительной сетью. Зависимость стоимости системы от числа абонентских установок, приходящихся на один распределительный фидер, приведена на рис. 9.7*а*. По вертикали отложено отношение стоимости системы, в которой на один РФ приходится N абонентских установок к стоимости C системы, в которой на один распределительный фидер приходится 2000 абонентских установок. Зависимость стоимости системы C (в условных единицах) от числа распределительных фидеров $N_{РФ}$, питающихся от одной *ТП*, показана на рис. 9.7*б*. Увеличение количества абонентских установок, подключаемых к одному распределительному фидеру, свыше 1500—2000, незначительно удешевляя систему, резко снижает ее эксплуатационную устойчивость. Увеличение количества *РФ*, подключенной к одной *ТП*, свыше 10, незначительно удешевляя систему, приводит к усложнению сети и неравномерной загрузке *РФ* по длине.

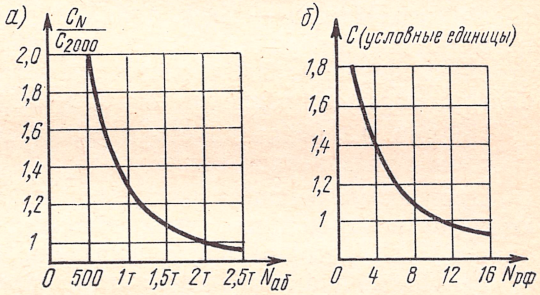


Рис. 9.7. К вопросу целесообразности децентрализованной системы с трехзвенной сетью

В трехзвенных сетях принято подключать к одному *РФ* не более 1500—2000 абонентских установок и к одной *ТП* не более 10 *РФ*. С ростом количества *ТП*, подключенных к *ОУС*, возрастает стоимость сети магистральных фидерных линий, но уменьшается общая стоимость станционных сооружений. Существует некоторое наивыгоднейшее соотношение между количеством *ТП* и *ОУС*, при котором общая стоимость системы оказывается наименьшей.

Аналогично можно провести технико-экономический анализ системы с двухзвенной сетью. На основе технико-экономического анализа различных вариантов построения систем проводного вещания были выработаны следующие общие рекомендации по выбору системы:

— централизованная система с однозвенной сетью рекомендуется для небольших населенных пунктов и отдельных предприятий;

— централизованная система с двухзвенной сетью — для городов с населением до 50 тыс. человек;

— централизованная система с трехзвенной сетью — для городов с населением более 200—250 тыс. человек;

— децентрализованная система с двухзвенной сетью — для городов с населением до 200—250 тыс. человек, с трехзвенной сетью—для городов с населением более 250 тыс. человек.

При проектировании систем рекомендуется руководствоваться следующим: нагрузка, приходящаяся на один магистральный фидер, должна находиться в пределах 10÷20 тыс. абонентских установок, число распределительных фидеров на одной трансформаторной подстанции — 6÷8, длина *РФ* должна составлять 1÷3 км, нагрузка *РФ* в городах с малой плотностью населения должна составлять примерно 600 абонентских установок, а в городах с большой плотностью населения — 1500—2000 абонентских установок.

На рис. 9.8 показана структурная схема децентрализованной системы с трехзвенной сетью.

Программы вещания поступают на *ЦУС*, усиливаются и подаются ко всем мощным усилительным станциям по выделенным парам ГТС, которые часто называют соединительными линиями *(СЛ)*. По соединительным линиям напряжение звуковой частоты поступает на опорно-усилительные станции *(ОУС)*, расположенные в различных районах города.

На опорной усилительной станции происходит усиление сигнала по мощности и напряжению. Мощность *ОУС* указана на схеме (15; 20). Далее сигнал передается по магистральным фидерам *(МФ)* на трансформаторные подстанции *(ТП)*, где напряжение понижается до номинального значения напряжения распределительного фидера *(РФ)*. Затем по распределительным фидерам — к абонентским трансформаторам *(АТ)* и по абонентским линиям к абонентским установкам *(АУ)*.

Для бесперебойной работы децентрализованной системы с трехзвенной сетью основные ее элементы, такие, как усилители, магистральные фидеры, резервируются при выходе из строя $ОУС_1$; напряжение звуковой частоты на $ТП_1$, $ТП_2$, $ТП_3$ поступает с $ОУС_2$ по резервным магистральным фидерам *(МР)*. Если вышла из строя $ОУС_2$, то $ТП_4$ получает напряжение по резервному магистральному фидеру с $ОУС_{11}$. Возможно, что $ТП_6$ находится на значительном расстоянии от $ОУС_1$, и тогда целесообразно для резерва иметь блок — подстанцию, которая представляет собой законсервированную усилительную станцию. И в случае необходимости $ТП_6$ получает программу вещания с *УП*.

Иногда *ЦУС* совмещается с *ОУС*, например, $ОУС_4$, которая обслуживает район, непосредственно прилегающий к *ЦУС*.

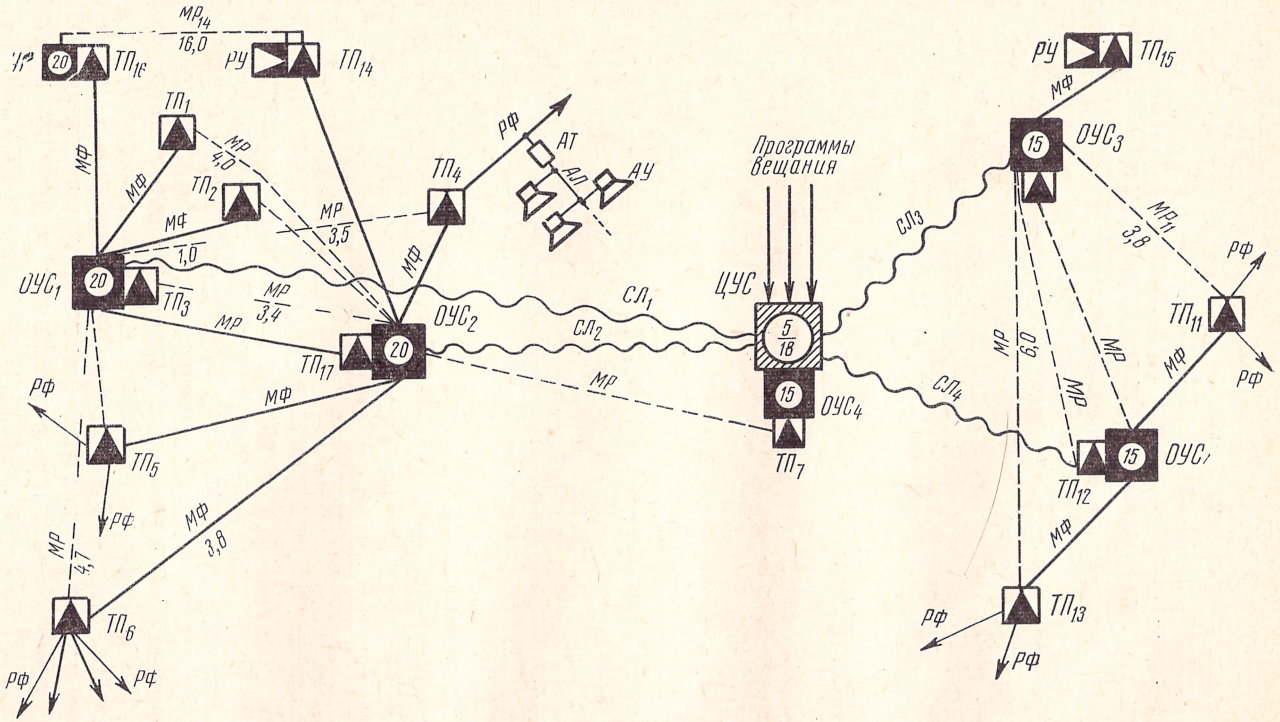


Рис. 9.8. Структурная схема децентрализованной системы с трехзвенной сетью

ЦУС является главной (командной) станцией системы *ПВ*. На *ЦУС* производится распределение программ вещания, дистанционное управление и контроль за станционными *(ОУС, УПС, ТП)* и линейными сооружениями *(МФ, РФ)*, дистанционные измерения качественных показателей. Программы вещания на *ЦУС* поступают по соединительным линиям из радиовещательной аппаратной, местной студии, с выхода профессионального радиоприемника. Структурная схема *ЦУС* приведена на рис. 9.9.

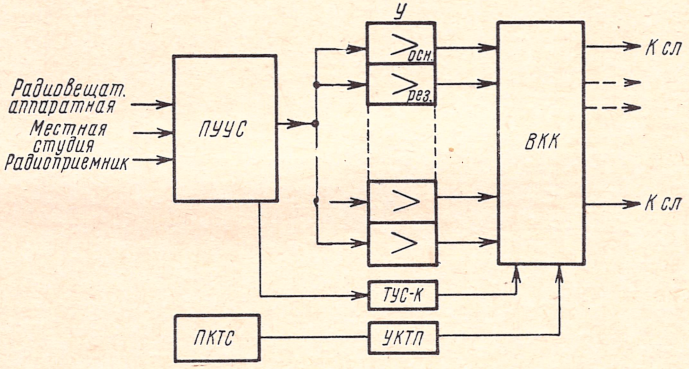


Рис. 9.9. Структурная схема *ЦУС*

Программы от источников поступают на пульт управления усилительными станциями (*ПУУС*). *ПУУС* связан с командным стативом аппаратуры телеуправления усилительными станциями *(ТУС)*. Аппаратура *ТУС* предназначена для управления усилительными станциями с *ЦУС*. С командного статива можно подать до 30 команд На статив возвращаются квитирующие сигналы об исполнении посланных команд. Для управления трансформаторными подстанциями на ЦУС имеются пульт управления и контроля *ТП (ПТКП)* и статив телеуправления трансформаторными подстанциями *УКТП*. Пульт *ПКТП* обеспечивает дистанционное переключение питания *ТП* с рабочего магистрального фидера на резервный. На пульте фиксируется состояние *МФ, РФ*, производится акустический контроль. *УКТП* обеспечивает дистанционное управление *ТП* по одной соединительной линии, максимальная длина которой может достигать 20 км. Сигнал с *ПУУС* усиливается усилителями *У* (например, стойки *АПУ* — аппаратура предварительного усиления) и поступает на статив выходной коммутации и контроля *(ВКК)*. Статив *ВКК* дает возможность контролировать уровни 4 программ на выходе *ЦУС, ОУС*, корректировать *СЛ* и производить измерения параметров линий. *ПУУС* является основным рабочим местом дежурного *ЦУС* и предназначен для управления и контроля за ра-

ботой *ОУС, УПС*, совмещенных с *ЦУС* или находящихся вне его (рис. 9.10). В пульте имеется блок формирования программ, в котором осуществляется выбор и формирование 4 программ с помощью переключателей ($П_1$, $П_2$ и т. д.).

Пульт содержит блоки коррекции, формирования каналов, формирования команд управления (блок *ТУ-ТС*), блока измерительной аппаратуры *(ПТИ)* системы включения и управления уличными громкоговорителями и т. п.

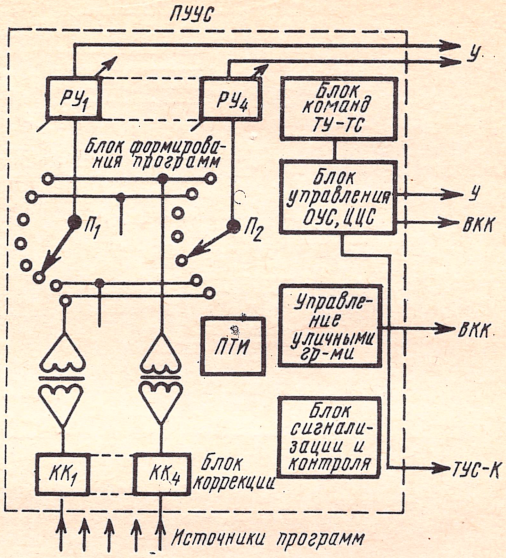


Рис. 9.10. Структурная схема *ПУУС*

Каждая соединительная линия заводится на *ПУУС* и может быть откорректирована с помощью корректирующих контуров *(КК)*. Регуляторы уровня *(РУ)* служат для установки номинального входного уровня тракта *ПВ*.

Опорная усилительная станция (ОУС)

Опорная усилительная станция; скелетная схема нч которой показана на рис. 9.11, содержит усилители и устройства контроля и коммутации. Сигнал на *ОУС* по соединительным линиям *СЛ* поступает на аппаратуру предварительного усиления и управления типа *УПИ*. Затем сигнал поступает на мощные усилители, например, УПВ-5, затем возвращается на *УПИ* и, пройдя через статив выходной коммутации *(СВК)*, поступает на *МФ*. В случае отсутствия подачи программ с *СЛ* источником программ служит приемник типа «Казахстан». Многопрограммное вещание осуществляется усилительно-передающим устройством трехпрограммного вещания типа *УПТВ*, коммутация которого также осуществляется аппаратурой *УПИ*.

Трансформаторная подстанция

Трансформаторная подстанция *(ТП)* преобразует напряжение, поступающее с магистральных фидеров 960 В (или 480 В и т. д.) до 240 В (или 120 В), и подает его на шины распределительных фидеров. Трансформаторная подстанция обеспечивает автомати-

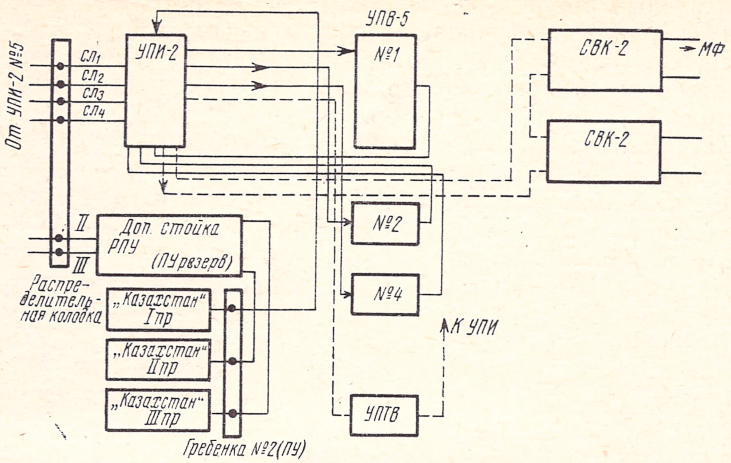


Рис. 9.11. Скелетная схема нч тракта *ОУС*

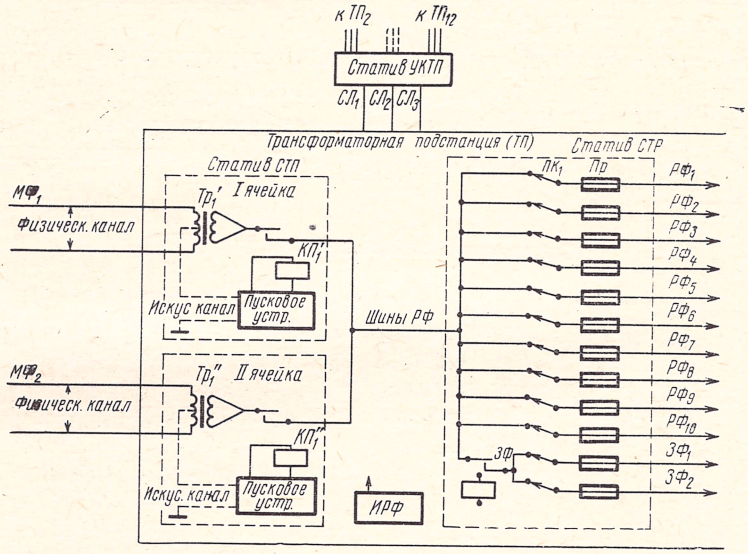


Рис. 9.12. Структурная схема *ТП*

ческое переключение питания и дистанционный контроль распределительных фидеров. Структурная схема трансформаторной подстанции представлена на рис. 9.12.

На *ТП* устанавливаются стативы типа *СТП* и *СТР*. Статив *СТП* обеспечивает понижение напряжения, подачу трех программ вещания к шинам *РФ*. Статив имеет две фидерных ячейки, которые и управляют переключением магистральных фидеров. Статив *СТР*

осуществляет распределение вещательной программы по *РФ* и фидерам уличной звукофикации, телесигнализацию на *ЦУС* по *РФ*, измерение уровней трех программ, измерение уровня несущей 2 и 3-й программ, измерение входного сопротивления фидеров на нч и на несущих 2 и 3-й программы.

Как правило, к *ТП* подходят два магистральных фидера *(МФ)*. Они подключены к линейным понижающим трансформаторам $ТР_1$ и $ТР_2$, напряжения с которых поступают на устройство переключения фидеров статива *СТП*. Назначение последнего — в случае неисправности одного из магистральных фидеров переключить нагрузку *ТП* на исправный фидер. К фидеру подключаются распределительные фидеры *(РФ)* и линии уличной звукофикации *ЗФ*. На *ТП* имеется измерительная панель фидеров *(ИРФ)*.

При двухзвенном построении сети *ПВ* отсутствует *ОУС*. Основным станционным сооружением, обеспечивающим мощность вещательного сигнала, является усилительная станция *(УПС)*. Структурная схема построения *УПС* сходна с *ОУС* (см. рис. 9.11).

§ 9.3. СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ И ИХ КОРРЕКЦИЯ

В ряде участков радиовещательного канала используются соединительные линии, например, между радиовещательной аппаратной *(РВА)* и *ЦУС*, между трансляционными пунктами и *РВА*, между *ЦУС* и опорно-усилительной станцией *(ОУС)* или усилитель-

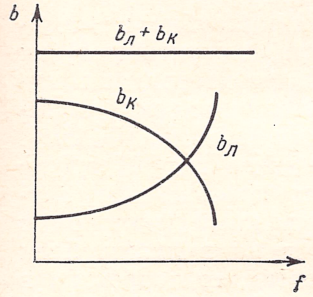


Рис. 9.13. Графики затухания линии и контура

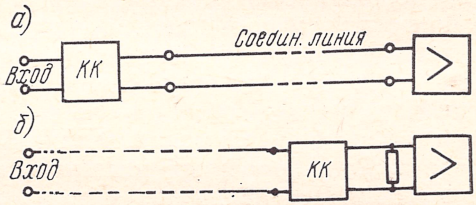


Рис. 9.14. Методы коррекции

ными подстанциями *(УПС)* системы проводного вещания. Эти соединительные линии *(СЛ)* прокладывают специальным кабелем с экранированными парами или используют для них пары кабеля городской телефонной сети. Во многих случаях длина соединительной линии бывает большой, вследствие чего ее затухание сильно растет с частотой и возникают значительные частотно-амплитудные искажения в области высших частот полосы пропускания. График затухания линии $b_л$ от частоты показан на рис. 9.13.

Для того чтобы выровнять частотную характеристику затухания в линии, применяют корректирующие устройства.

Так, например, чтобы выровнить частотную характеристику затухания линии $b_л$ (см. рис. 9.13), необходимо в линию включить корректирующий контур *КК*, вносимое затухание которого $b_к$ имело бы обратную зависимость от частоты, чтобы при сложении этих двух затуханий результирующая характеристика $b_л + b_к$ не зависела бы от частоты.

В зависимости от места включения корректирующего контура различают два основных метода коррекции (рис. 9.14): метод коррекции в начале линии *(а)* и метод коррекции в конце линии *(б)*. Первый метод называется методом предыскажения, поскольку сигнал в линию поступает искаженным. Если бы передача программы вещания велась по изолированной линии без помех, то оба метода коррекции были бы равноценны. В реальных условиях при выборе метода коррекции следует исходить из следующих основных положений. Номинальный уровень сигнала на всех частотах рабочего диапазона в конце соединительной линии должен быть не ниже 0 дБ. Максимальный уровень в линии не должен превышать +17 дБ на частоте 1 кГц и +23 дБ на частоте 3 кГц.

При коррекции на конце линии номинальный уровень сигнала на ее входе не зависит от частоты, так как сигнал поступает с неискаженного тракта. Следовательно, максимальное затухание, которое можно допустить в линии при таком способе коррекции, равно 17 дБ. В связи с этим была определена предельная длина линий при коррекции на конце: для частоты 6 кГц длина однородной линии (при диаметре $d = 0{,}05$ см) составляет 7,25 км; для частоты 10 кГц—6,1 км. Соединительные линии часто бывают неоднородны, т. е. состоят из нескольких участков, отличающихся как конструкцией кабеля, так и диаметром жил. Неоднородность линии приводит к увеличению затухания, особенно на высоких частотах, и предельная длина линии сокращается примерно на 10÷20%. В тех случаях, когда затухание в линии не превышает 17 дБ на верхней граничной частоте рабочего диапазона, целесообразно применять коррекцию на конце линии. Весьма важным фактором в выборе метода коррекции является спектр шума в линии. Если шум преобладает на низких и средних частотах, то коррекция в конце линии более целесообразна. Если преобладают высокочастотные шумы, то преимущество на стороне коррекции с предыскажением.

Иногда длина линии настолько велика, что величина затухания ее превышает 23 дБ на частоте 3 кГц. В этом случае необходимо разделить линию на два участка, между которыми ставится корректирующий контур *КК* и промежуточный усилитель *ПУ* (рис. 9.15). Таким способом удается скорректировать линии с за-

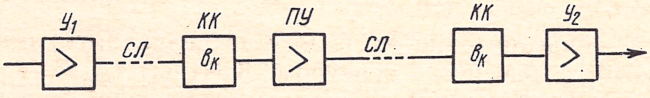


Рис. 9.15. Схема коррекции с *КК* и усилителем

туханием до 40 дБ на частоте 3 кГц. Линия делится на участки так, чтобы в каждом из них обеспечивалось необходимое соотношение сигнал/шум. Усиление промежуточного усилителя должно компенсировать затухание участка на высшей частоте рабочего диапазона. В настоящее время имеется промежуточная линейная аппаратура *ЛПА*, которая предназначена для промежуточного усиления напряжения программ вещания, передаваемых по кабелям городских телефонных сетей с *ЦУС* на *ОУС*. Аппаратура *ЛПА* содержит две группы линейных усилителей (по пять усилителей в каждой группе). Усилители выполнены на полупроводниковых приборах и отличаются высокой надежностью. Кроме усилителей, в аппаратуре имеются корректирующие контура. Устанавливается аппаратура в помещениях АТС и не требует постоянного обслуживания.

Предыскажающий контур более выгодно размещать перед усилителем. На очень крупных радиотрансляционных узлах с десятками соединительных линий на *ЦУС* устанавливают несколько усилителей, каждый из которых должен питать свою группу линий. Группы подбираются из линий с примерно одинаковой длиной. Это позволяет осуществить грубую коррекцию при помощи предыскажения на входе группового усилителя с дополнительной коррекцией для точной подгонки в конце или начале каждой линии.

Корректирующий контур, используемый для того или иного метода коррекции, должен иметь постоянное входное сопротивление и низкое выходное сопротивление, чтобы не вносить затухания на верхней граничной частоте рабочего диапазона и содержать минимальное число настраиваемых элементов. Наиболее часто применяются полный последовательный контур и Т-образный мостовой контур, показанные на рис. 9.16.

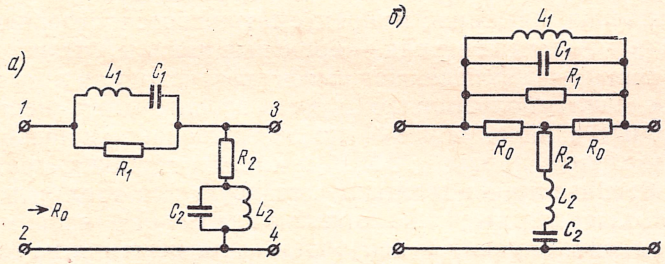


Рис. 9.16. Схемы корректирующих контуров

Отношение сопротивлений R_1 и R_2 определяет максимальное затухание, которое вносится контуром. Контуры L_1, C_1 и L_2, C_2 должны быть настроены точно на верхнюю граничную частоту рабочего диапазона $f_в$. Изменять величины L_1 и L_2 при коррекции не-

удобно, поэтому лучше иметь набор готовых контуров, а дополнительную подгонку производить сопротивлениями R_1 и R_2. Как показал опыт *МГРС*, необходимо иметь не менее четырех типов контуров для линий длиной больше 5 км в рабочем диапазоне частот 50÷10 000 Гц.

На линиях небольшой длины хорошие результаты дает коррекция с помощью контура параллельного сопротивления (рис. 9.16*б*). Величины L_2 и C_2 определяются, исходя из требуемой крутизны и получения резонанса на верхней граничной частоте. Величина R_2 подбирается по величине требуемого затухания на низких частотах:

$$R_2 = \frac{R_{шл} R_{вх}}{R_{вх}\left(10^{0{,}05 b_{нч}} - 1\right) - R_{шл}},$$

где $R_{шл}$ — сопротивление шлейфа линии; $R_{вх}$ — входное сопротивление усилителя; $b_{нч}$ — затухание на низких частотах.

§ 9.4. СПОСОБЫ ПОДАЧИ ПРОГРАММ НА РТУ

Программа союзного (центрального), республиканского и областного вещания подается на РТУ либо по каналам вещания в системах магистральной или зоновой связи, либо по радиоканалам.

Магистральная, междугородная сеть каналов вещания создается путем комплексного использования радиорелейных, кабельных и воздушных линий связи. Она состоит из сети магистральных каналов вещания, предназначенных для передачи программ союзного вещания из Москвы в республиканские и областные центры, а также для подачи программ из республиканских центров в областные центры соответствующих союзных республик.

Для повышения надежности предусматриваются резервные и обходные каналы, а для контроля — обратные каналы. Магистральные каналы вещания обеспечивают высокую надежность и высокое качество передачи. В большинстве случаев используются специально организуемые каналы вещания по экранированным пупинизированным кабельным парам (СВЭП) и каналы вещания, образуемые путем объединения частотных полос двух- или трех телефонных каналов. Стандартные телефонные каналы (ТЧ каналы) не могут быть непосредственно использованы для вещания из-за малой ширины полосы частот (300÷3400 Гц) и недостаточно высоких других качественных показателей. Находит применение, хотя и ограниченное, вещание в диапазоне коротких волн с передачей одной боковой полосы (ОБП КВ). На рис. 9.17 показано распределение телефонных каналов в полосе частот 60÷108 кГц.

Для образования каналов вещания II класса качества (ГОСТ 11515—65) освобождают четвертый и пятый каналы, занимающие

в основной 12-канальной группе спектр частот 88÷96 кГц, и для образования канала вещания I класса освобождают 4,5 и 6-е телефонные каналы. Эти каналы образуются с помощью аппаратуры типа АВ 2/3.

Для того чтобы сохранить звуковой спектр передачи, его преобразуют в модулированные токи высокой частоты на передающем конце, а на приемном конце производят обратные преобразования (рис. 9.17). Основными элементами передающей части аппарату-

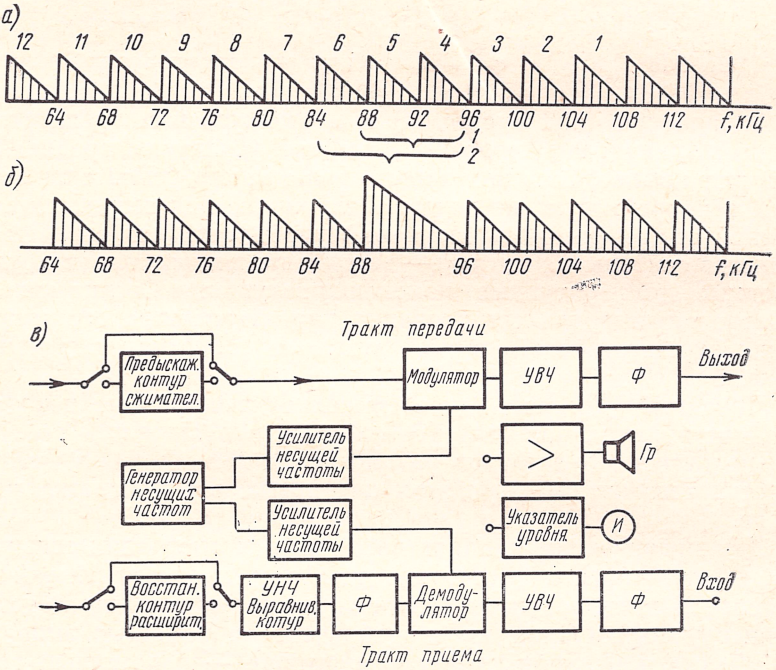


Рис. 9.17. Структурная схема передачи по междугородным телефонным линиям

ры являются модулятор, преобразователь частоты, усилитель высокой частоты и кварцевый фильтр, пропускающий нижнюю боковую полосу частот. В приемной части аппаратуры имеется демодулятор, преобразователь частоты, фильтр низкой частоты, служащий для выделений нижней полосы частот после демодуляции, усилитель низкой частоты, обеспечивающий необходимый выходной уровень и контур коррекции. Напряжение несущей частоты (96 кГц) подается на оконечную аппаратуру от генератора системы высокочастотного телефонирования по *РРЛ*, кабельным или воздушным линиям связи.

Скелетная схема системы вещания по экранированным кабельным парам токами звуковой частоты на большие расстояния пока-

зана на рис. 9.18. Для этой цепи в междугородном кабеле предусмотрены экранированные пупинизированные пары.

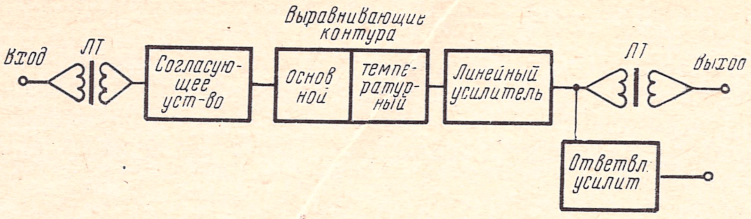


Рис. 9.18. Скелетная схема вещания по экранированным кабельным парам

Аппаратура для оконечных и промежуточных усилительных пунктов одинакова и включает линейный усилитель, предназначенный для компенсации затухания предыдущего усилительного участка, и корректирующие контура, служащие для выравнивания частотной характеристики затухания участка кабеля, причем один является основным, а второй — вспомогательным, корректирующим сезонные (температурные) изменения затухания. Согласующее устройство служит для согласования характеристического сопротивления экранированной пары с входным сопротивлением аппаратуры.

Линейный усилитель имеет высокие качественные показатели, так как в канал большой протяженности включается последовательно несколько десятков таких усилителей. Система имеет ряд недостатков, которые в настоящее время ограничивают ее развитие.

Для организации каналов вещания в магистралях связи большой протяженности (несколько тыс. км) могут применяться составные каналы, представляющие собой два последовательно включенных участка. Один из них образован с помощью аппаратуры СВЭП (на экранированной паре), второй — с помощью аппаратуры АВ-2/3.

Приемник «Казахстан» имеет семь диапазонов: шесть диапазонов, совпадающих с указанными или немного отличными, и седьмой укв диапазон, который так необходим для приема программы вещания, передаваемой через сеть УКВ ЧМ станций (диапазон 64,5÷73 МГц). Ширина полосы пропускания по промежуточной частоте от 6 до 12 кГц. Приемник содержит *УВЧ*, преобразователь, четыре каскада *УПЧ*, усилитель *УНЧ*, цепь АРУ. Ограниченное применение имеют каналы подачи программ в диапазоне коротких волн с передачей одной боковой полосы.

§ 9.5. ПРОВОДНОЕ ВЕЩАНИЕ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

Сельский радиотрансляционный узел обслуживает, как правило, несколько удаленных друг от друга населенных пунктов. В некоторых случаях он обслуживает лишь один населенный пункт.

Этот пункт может насчитывать десятки тысяч жителей. Существуют и такие компактные сельские административные районы, в которых мощный радиоузел районного центра своими сетями охватывает все сельские населенные пункты.

Всего в нашей стране насчитывается около 3000 сельских административных районов и 20 000 радиоузлов.

Подавляющее большинство радиоузлов обслуживает дежурный станционный персонал, а их сети — персонал линейной службы. Эти штаты так велики, что фонд заработной платы составляет более 50% от общей суммы эксплуатационных расходов.

Удельная плотность радиотрансляционных точек (количество радиотрансляционных точек на 1 км линии) в сельской местности мала, она колеблется в пределах от 8 до 25 и в среднем в 1970 г. равнялась 13, т. е. была значительно ниже, чем в городах (51). В наиболее крупных городах удельная плотность точек достигает 400.

Удельная плотность точек является наиболее важной характеристикой рентабельности системы проводного вещания, так как доходы системы определяются в основном суммой абонементной платы, а расходы — объемом станционных и линейных сооружений, штатом обслуживающего персонала.

Поэтому повышение рентабельности системы проводного вещания возможно за счет повышения плотности точек, сокращения объема основных фондов и штатов обслуживающего персонала.

Плотность точек может возрастать по двум причинам: из-за повышения спроса населения на услуги проводного вещания (установку точек большим процентам семей) и сокращения объема линейного хозяйства.

Спрос населения на услуги проводного вещания в большой мере зависит от качества вещания и состава программного материала. Сокращение объема линейного хозяйства может происходить как вследствие реализации планов сельского строительства — укрупнения самих сельских населенных пунктов (перспективных) при ликвидации мелких (неперспективных),— так и путем ликвидации чрезмерно длинных линий (кстати, и не обеспечивающих норм на качественные показатели) со строительством дополнительных автоматизированных радиотрансляционных узлов.

Автоматизация является важнейшим направлением сельских систем проводного вещания, призванная значительно сократить многочисленный штат станционного дежурного персонала, занятого малопроизводительным трудом: включением и выключением аппаратуры, проведением профилактического осмотра ее и текущего ремонта, настройкой радиоприемника и контролем за работой оборудования.

В течение ряда лет принимались меры к улучшению технико-экономических показателей сельских систем проводного вещания по следующим направлениям:

— укрупнение радиоузлов с применением более мощных и качественных усилителей низкой частоты;

— размещение аппаратуры станций радиоузлов в помещениях других предприятий связи (почтовых и телефонных станций) с поручением обслуживания ее персоналам этих предприятий;

— подвешивание проводов линий радиофикации на чужих опорах (линии телефонной связи и электрификации);

— применение подземных линий радиофикации из кабеля с неметаллическим покрытием, имеющих примерно вдвое лучшие экономические показатели по сравнению с воздушными линиями на собственных опорах;

— создание одной службы эксплуатации линий телефонной связи и радиофикации.

Перечисленные организационно-технические мероприятия нашли широкое применение и дали в целом положительные результаты. Вместе с тем обнаружились их некоторые недостатки. Совмещенное обслуживание аппаратуры радиофикации персоналом других предприятий связи привело к снижению качественных показателей вещания вследствие нарушения установленных режимов эксплуатации. Кроме того, обслуживание аппаратуры станций проводного вещания телефонистками было возможным только до внедрения автоматических телефонных станций.

Умощнение станций радиоузлов и создание чрезмерно длинных и дорогостоящих линий радиофикации привело к сокращению штатов станционного персонала и к увеличению стоимости основных фондов за счет линейного хозяйства, трудовых затрат на обслуживание линий. К тому же на слишком длинных линиях трудно обеспечить соблюдение норм на качественные показатели вещания по низкочастотному каналу, а в перспективе возникнут трудности при организации высокочастотных каналов для передачи дополнительных программ вещания.

Укрупненные сельские радиотрансляционные узлы обслуживают проводным вещанием населенные пункты, принадлежащие трем и более хозяйствам (колхозам и совхозам), и это мешает организации передач внутрипроизводственного (колхозного, совхозного) вещания, которое призвано играть существенную роль в повышении производительности труда, росте культуры сельского населения.

К настоящему времени имеются значительные успехи в развитии народного хозяйства страны: завершается электрификация сельских населенных пунктов; созданы и продолжают расти передающие сети радиовещания и особенно УКВ ЧМ вещания, а также средства сельской телефонной связи; сделан скачок в совершенствовании полупроводниковой техники и автоматики.

Все это позволило пересмотреть техническую политику сельской радиофикации, выбрать более выгодные пути ее дальнейшего развития.

Сущность новой технической политики в проведении следующих мероприятий:

— станции сельских радиотрансляционных узлов должны быть обеспечены надежной и качественной подачей программ вещания и сигналов дистанционного управления;

— каждый радиотрансляционный узел, как правило, должен обслуживать населенные пункты, принадлежащие одному или двум хозяйствам (колхозам, совхозам);

— станционная аппаратура должна иметь два канала усиления низкой частоты, резервный канал подачи программ и сигналов управления, местную локальную автоматику (исполнения команд, перехода на резерв и выдачи сигналов состояния), резервный источник электропитания и стабилизатор напряжения;

— должна применяться система (аппаратура) контроля и резервного управления сельскими радиоузлами из райцентра (по каналам телефонной связи);

— должна быть предусмотрена возможность проведения внутрипроизводственных передач (одновременно для двух хозяйств по раздельным каналам усиления низкой частоты, если радиоузел обслуживает два хозяйства);

— в перспективе предусматривается возможность передачи одной или двух дополнительных программ на несущих частотах 78 и 120 кГц по принципам, заложенным в отечественной системе проводного вещания для городских радиотрансляционных сетей.

§ 9.6. ПОДАЧА ПРОГРАММ СЕЛЬСКИМ РАДИОУЗЛАМ

Реконструкция существующих сельских радиоузлов и строительство новых в каждом сельском районе начинается с определения способа обеспечения их техническими средствами подачи программ и сигналов циркулярного управления. Наиболее целесообразны три вида каналов подачи программ:

1) радиоканалы укв вещательных передатчиков;

2) каналы радиовещания, созданные на цепях сельской телефонной связи;

3) радиоканалы длинно- и средневолнового диапазонов радиовещания.

Если сравнить перечисленные каналы вещания между собой по основным технико-экономическим характеристикам (качественные показатели, надежность, стоимость основных фондов и эксплуатационные расходы), то предпочтение следует отдать укв каналам. Проводные каналы вещания, безусловно, лучше радиоканалов дв и св диапазонов вещания.

В любом месте страны с точки зрения организации подачи программ вещания можно рассматривать три зоны: зону уверенного приема укв вещания; зону развитых сетей сельской телефонизации при отсутствии уверенного приема укв вещания и зону малонаселенных территорий страны.

В зонах уверенного приема укв вещания в 1970 г. находилось более 50% сельских радиоузлов, а в ближайшие 5—7 лет эта цифра превысит 70%. Под термином «уверенный прием» укв вещания подразумевается не только достаточный уровень напряженности поля радиосигнала (100 мкВ/м), но и соблюдение нормы на соотношение сигнал/помеха.

В настоящее время станции укв вещания двухпрограммные. Они укомплектованы двумя радиопередатчиками, работающими на разных несущих частотах. В дальнейшем намечается создание четырехпрограммного укв вещания.

В зонах укв вещания должна применяться следующая аппаратура передачи и приема программ и сигналов циркулярного управления (рис. 9.19): датчик сигналов телеуправления *(ДТУ)* и

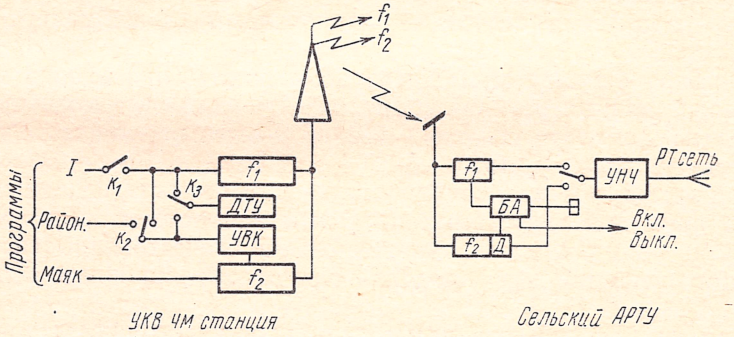


Рис. 9.19. Схема подачи сигналов управления по укв в сельской местности

аппаратура уплотнения радиопередатчика программы «Маяк» вторым каналом (подканалом) вещания УВК-Н, устанавливаемые в аппаратной двухпрограммной станции укв вещания; два радиоприемника, настроенные на несущие частоты (f_1 и f_2) обоих укв передатчиков и блок автоматики БА, устанавливаемые на сельских радиоузлах. Второй приемник снабжен декодером — устройством выделения подканала вещания. Блок автоматики дешифрирует сигналы циркулярного управления, передаваемые по каналу укв вещания с помощью *ДТУ*, и передает его соответствующему исполнительному реле.

С помощью *ДТУ* передается три команды: «включение», «выключение» радиоузла и «переключение» источника программ (работы усилителей низкой частоты с первого или второго приемника).

Подканал *УВК* служит для резервирования основного канала передачи первой программы центрального вещания (передатчик с частотой f_1 может быть на профилактике или ремонте или может отказать основной приемник на радиоузле) и для передачи программ районного вещания.

Вход аппаратуры *УВК* подключается к каналу подачи *1* программы центрального вещания, а на время передачи районного вещания переключается к каналу подачи программы из студии соответствующего районного центра.

По подканалу *УВК* разновременно можно передавать программы районного вещания из нескольких районных центров. При этом исполнение команды «переключение» источников программ будет производиться только теми сельскими радиоузлами, для которых предназначена данная программа районного вещания.

После перехода укв вещания на четырехпрограммное два дополнительных передатчика могут быть уплотнены подканалом *УВК*. Вне полезных зон укв вещания при развитых сетях сельской телефонной связи канал вещания из районного центра к сельскому радиоузлу может быть организован на сетях местной телефонной связи в трех возможных вариантах технического осуществления.

При наличии многоканальных систем уплотнения — путем объединения частотных полос двух (или даже трех) телефонных каналов. Примером этому может служить аппаратура с импульсно-кодовой модуляцией типа ИКМ-12. Она выполнена так, что позволяет осуществлять работу в двух режимах: как 12-канальная система телефонной связи и 10-канальная с одним каналом вещания.

При наличии четверочного кабеля, уплотненного шестиканальной аппаратурой телефонной связи типа КНК-6, возможно применение аппаратуры образования канала вещания типа АВФ-1, использующей фантомную цепь этого кабеля. При любых системах сельской телефонной связи может применяться универсальная аппаратура образования внутрирайонной сети каналов вещания типа АВСП.

§ 9.7. УНИВЕРСАЛЬНАЯ АППАРАТУРА АВСП

Организация внутрирайонной сети каналов вещания наиболее дешевым и необременительным для телефонии способом может достигаться с применением аппаратуры АВФ-1. Однако это возможно только при наличии систем четверочного кабеля, уплотненного аппаратурой типа КНК-6 во всех требуемых направлениях подачи программ сельским радиоузлам. Сельских районов с такими возможностями пока очень мало. Повсеместно наблюдается применение различных систем телефонной связи.

Именно поэтому универсальная аппаратура АВСП должна получить наибольший объем внедрения.

В АВСП для организации каналов вещания предусмотрено использование следующих 5 вариантов частотных полос («спектров»): 1—(0,1÷6,0 кГц), 2 — (7,88÷13,78 кГц), 3—(17,3÷÷23,2 кГц), 4—(28,7÷34,6 кГц) и 5—(34,8÷40,7 кГц). Наглядно это представлено на рис. 9.20.

Первый из них применяется при организации канала вещания, на фантомной цепи четверочного кабеля, точно так, как это делается в аппаратуре АВФ-1.

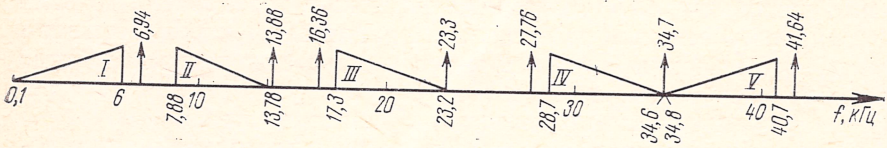


Рис. 9.20. Участки частотного спектра для каналов вещания

Применение высокочастотных вариантов организации канала вещания видно из табл. 9.1.

ТАБЛИЦА 9.1

Вариант уплотнения цепей	Телефонная система уплотнения	Используемые варианты частотных полос			
		при работе на одной цепи и передаче вещания в направлении		при работе на параллельных цепях и передаче вещания в направлении	
		А→Б	Б→А	А→Б	Б→А
I	Отсутствует	2, 4, 5	2, 4, 5	2, 3, 4, 5	2, 3, 4, 5
II	УДК-1	5	4, 5	2, 3, 4, 5	3, 4, 5
III	УДК-2	5	4, 5	2, 3, 4, 5	3, 4, 5
IV	В-2, В-2-2	5	5	2, 3, 5	3, 4, 5
V	ВС-3	5[1])	5	2, 3, 4, 5	3, 4, 5
VI	В-3-3С	3	3, 5	2, 3, 5	3, 4, 5
VII	В-12	2	2	2, 3	2, 3, 4, 5
VIII	В-3-3 и В-12	3	3	2, 3	3, 4, 5

[1]) Допускается совместная работа без необслуживаемых усилительных пунктов (НУП).

Аппаратура АВСП состоит из: центральной станции (ЦС-ПВ), устанавливаемой в районном центре; оконечной станции (ОС-ПВ), устанавливаемой на внутрирайонном узле; промежуточной станции (ПС-ПВ), устанавливаемой в пунктах, где необходимо выделять программу вещания и передавать ее далее в одном или нескольких направлениях; приемо-разветвительной станции (ПРС-ПВ), устанавливаемой в крупных распределительных узлах, где необходимо выделять программу и передавать ее в нескольких направлениях; усилительных пунктов (НУП), устанавливаемых на линиях связи, длина которых превышает допустимую для усилительного участка. Комплект аппаратуры АВСП включает еще дополнительные элементы: преобразователи, согласующие устройства и др.

Для каждого сельского района комплект аппаратуры АВСП заказывается в соответствии с конкретным проектом ее применения. Пример комплектации аппаратуры АВСП для сельского района схематически показан на рис. 9.21.

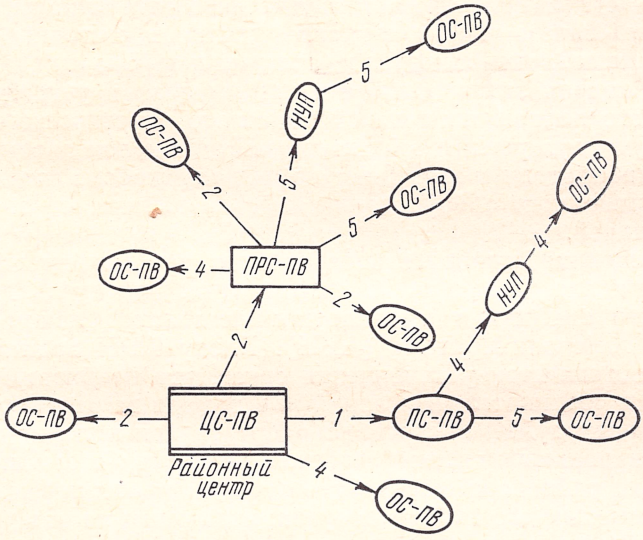


Рис. 9.21. Примерная схема применения аппаратуры АВСП в сельской местности

Аппаратура АВСП, кроме передачи программы вещания, выдает также сигналы команд управления сельскими автоматизированными радиоузлами. Эти сигналы дешифрируются и исполняются элементами общестанционной автоматики ОСА. Аппаратура ОСА устанавливается на станции внутрирайонного радиоузла.

§ 9.8. СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И РЕЗЕРВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКИМИ РУ

Для контроля за работой сельских радиоузлов в районном центре и передачи им резервных команд управления разработана система контроля и резервного управления АКРУ, состоящая из одной командной и нескольких (по числу внутрирайонных узлов) исполнительных станций. Командная станция устанавливается в аппаратной районного радиоузла, исполнительные — в аппаратных сельских автоматизированных радиоузлов. И командная, и исполнительная станции АКРУ являются абонентами сети сельской автоматизированной телефонной связи. Им выделяются соответствующие абонентские номера.

Оператор командной станции может установить связь с любой исполнительной станцией. Исполнительная станция разработана в

двух вариантах: упрощенная и полного состава. Первая — укомплектована одним блоком автоматического ответчика на вызов командной станции; вторая — двумя: блоком автоматического ответчика и блоком автоматического номеронабирателя (вызова командной станции). Блок автоматического ответчика снабжен устройством «запоминания» сигналов датчиков состояния станционного оборудования радиоузла (включено, выключено, авария усилителя, авария электросети, авария фидера) и устройствами поочередного подключения цепей обратного акустического контроля с выходов двух усилителей низкой частоты. Блок автоматического номеронабирателя срабатывает по сигналу любого датчика состояния станционного оборудования и устанавливает связь с командной станцией.

Упрощенная исполнительная станция, как более дешевая, предназначена для установки на маломощных радиоузлах. При необходимости она может быть доукомплектована блоком автоматического номеронабирателя (АНН). Блоку АНН задано свойство повторных попыток установления связи, что необходимо в случае занятости соединительных линий или номера вызываемой станции.

Аппаратура АКРУ способна работать при наличии любых автоматизированных систем сельской телефонной связи. С ее помощью из райцентра могут быть переданы команды включения и выключения какого-либо радиоузла, включение на нем фидера звукофикации и резервного источника (канала) подачи программ. Аппаратура АКРУ предназначена для работы при любых способах подачи программ и сигналов циркулярного управления с применением радио- или проводных каналов. В первом случае она стыкуется с оборудованием станции автоматизированного радиоузла типа ТУПВ или ДУЭТ, во втором — с аппаратурой типа ОСА.

§ 9.9. СЕЛЬСКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ РАДИОУЗЛЫ

Современная усилительная аппаратура для сельских радиоузлов строится по принципу использования двух каналов усиления низкой частоты, работающих на раздельную нагрузку: половина фидерных линий подключена к одному усилителю, другая половина их — ко второму усилителю. Оба усилителя идентичны. На входе каждый из них снабжен усилителем-ограничителем. При отказе одного из усилителей (любого) его нагрузка автоматически подключается к выходу другого (исправного) усилителя. При этом уровень передачи автоматически уменьшается на 6 дБ.

Таким образом, достигается достаточно надежное и экономически выгодное резервирование усилительного оборудования.

Выходные устройства снабжены локализаторами поврежденных фидеров, что обеспечивает защиту усилителей от коротких замыканий проводов фидерных линий или попадания на них опасных посторонних напряжений. Двухканальный тракт усиления и применение раздельной нагрузки позволяет осуществлять одновремен-

ную передачу программ внутрипроизводственного вещания для двух хозяйств (колхозов или совхозов), обслуживаемых одним радиоузлом. Усилитель-ограничитель защищает усилитель от возможных перевозбуждений — повышений уровня входного сигнала в пределах до 12 дБ относительно номинального значения (0,775 В).

По описанному принципу уже создана аппаратура усилителей на радиолампах мощностью 1 кВт типов УПВ-1 и УПВ-1,25 и аппаратура автоматизированного радиоузла на полупроводниковых приборах типа ТУПВ-0,25×2 (с мощностью в каждом канале усиления 250 Вт). Усилители снабжены аппаратурой локальной автоматики, которая выдает сигналы отказа и выполняет функции включения и выключения по командам дистанционного управления.

Радиоузел оборудуется основными и резервными источниками программ:

— двумя приемниками с фиксированной настройкой на соответствующие передатчики (в зонах укв вещания) или приемником проводного канала вещания;

— всеволновым профессиональным радиоприемником (например, типа «Казахстан» или «Ишим»);

— одним или двумя микрофонными усилителями.

Все источники программ должны давать на вход усилителей низкой частоты нормированный номинальный уровень вещательного сигнала 0 дБ (0,775 В).

Тот или иной источник программ подключается ко входу усилителей низкой частоты либо автоматически по команде систем циркулярного или резервного управления, либо вручную (всеволнового приемника и микрофонных усилителей). Электропитание от местной электросети должно осуществляться через стабилизатор напряжения соответствующей мощности.

Предусматривается применение резервного источника электропитания — второго фидера электропитания, собственной (автономной) электростанции или аккумуляторной батареи (для полупроводниковой аппаратуры типа ТУПВ).

Резервирование энергоснабжения производится автоматически с выдачей сигнала перехода на резерв.

Сельский радиоузел должен иметь соответствующие антенно-фидерные устройства для приема программ, передаваемых по радиоканалам.

§ 9.10. ТРЕХПРОГРАММНОЕ ВЕЩАНИЕ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

В полезных зонах укв вещания уже сейчас возможна организация передачи второй программы вещания. С развитием четырехпрограммного укв вещания появится возможность передачи третьей программы.

Система трехпрограммного проводного вещания (ТПВ) на селе основана на тех же принципиальных технических решениях, ко-

торые реализованы в отечественной системе ТПВ для городских сетей проводного вещания: несущие частоты 78 и 120 кГц; модуляция амплитудная с передачей двух боковых полос; применена автоматическая регулировка уровня несущей частоты.

Передающее устройство сельского ТПВ выполнено полностью на транзисторах (оно обладает меньшей выходной мощностью).

Управление им осуществляется устройствами, состыкованными с оборудованием автоматизированного радиоузла однопрограммного вещания.

Контроль за работой передающего устройства осуществляется с помощью аппаратуры контроля и резервного управления (АКРУ). Обработка сетей для образования вч каналов производится методами, применяемыми для городских сетей ТПВ. Имеется еще ряд нерешенных вопросов с передачей дополнительных программ (2 и 3-й) в населенные пункты, обеспеченные передачей первой программы по длинным воздушным и кабельным линиям.

Требования к приемным устройствам для городской и сельской систем проводного вещания идентичны.

§ 9.11. СИСТЕМА ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ В РАЙОННЫХ ЦЕНТРАХ И СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

С внедрением средств автоматизации сельских радиотрансляционных узлов проводное вещание в сельской местности организовано и технически существенно преобразуется. Из совокупности разрозненных радиоузлов районного и внутрирайонных оно превращается в систему сельского проводного вещания. Основной ячейкой такой системы является совокупность радиотрансляционных узлов районного центра и внутрирайонных узлов, функционально связанных между собой.

Радиоузел районного центра оборудуется командной станцией контроля за работой внутрирайонных автоматизированных радиоузлов. Из его студии передаются программы районного вещания для всех радиоузлов района. На радиоузле районного центра сохраняется дежурный станционный персонал. При использовании проводных каналов подачи программ дежурный персонал радиоузла районного центра подает команды включения и выключения внутрирайонным автоматизированным радиоузлам. При использовании радиоканалов подачи программ команды включения и выключения внутрирайонным радиоузлам переключения на них источников программ подаются с укв вещательной радиостанции в масштабах нескольких районов, попадающих в полезную зону этой радиостанции.

Осуществление передачи программы районного вещания достигается проще, при использовании проводных каналов подачи программ. В этом их преимущество перед радиоканалами подачи про-

грамм. Однако радиоканалы укв вещания имеют свои преимущества перед проводными:

— качественные показатели на I класс выше, чем у проводных;

— оборудование их в два с лишним раза дешевле, чем для проводных;

— они не обременяют средства телефонной связи;

— надежность радиоканалов укв вещания выше, чем проводных (хотя бы из-за наличия резервного канала на аппаратуре УВК-Н);

— радиоканалы позволяют обеспечить подачу второй и третьей программы сельским радиоузлам трехпрограммного вещания без существенных затрат (рис. 9.22).

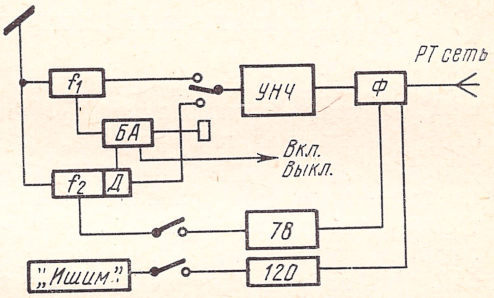


Рис. 9.22. Структурная схема подачи *II* и *III* программ на *РУ*

Разумное сочетание радио- и проводных способов подачи программ может существенно улучшить технико-экономические показатели сельских систем проводного вещания; так, например, использование в полезных зонах укв вещания в качестве основных радиоканалов, а для подачи программ районного вещания каналов в системе ИКМ-12 удобных, дешевых и не обременительных для средств телефонной связи (два телефонных канала из 12 в этой системе заменяются каналом вещания лишь на время ведения передач из студии райцентра).

Система сельского проводного вещания, кроме основного оборудования, применяемого в масштабах одного района, может еще включать оборудование укв вещательных станций, каналов вещания райцентр — укв радиостанция.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о централизованной и децентрализованной системах радиофикации.
2. Объясните, какие условия определяют выбор однозвенной, двухзвенной и трехзвенной сети.
3. Расскажите о назначении ЦУС, ОУС, УПС, ТП.
4. Как РТУ получает программу вещания? Расскажите о системе подачи программ.
5. Перечислите оборудование, необходимое для автоматизации сельских радиоузлов.
6. Нарисуйте схему подачи программ вещания и сигналов циркулярного управления по каналам укв вещания.
7. Охарактеризуйте показатели проводных каналов вещания.
8. Определите систему сельского проводного вещания.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РТУ

§ 10.1. УПРАВЛЕНИЕ СТАНЦИОННЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Средства автоматизации РТУ включают в себя устройства, обеспечивающие: коммутацию, дистанционное управление, телеконтроль, резервирование, датчики состояния оборудования. Автоматизация на РТУ обеспечивает повышение производительности труда, маневренность, бесперебойную работу всего хозяйства РТУ, создают удобства и повышают культуру эксплуатации. Бесперебойность работы обеспечивается, прежде всего, системой сигнализации, которая в любом аварийном случае воздействует на средства коммутации, исключающие соответствующим переключением или выключением аварийный элемент или звено из тракта. Например, при аварии *ОУС* или повреждении магистрального фидера низкая частота подается на *ТП* по резервному магистральному фидеру или нагрузку берет на себя другая ОУС или блок-подстанция. Система управления РТУ дает возможность централизованно, дистанционно и автоматически производить включение и выключение станционного оборудования и линий проводного вещания, а также обеспечить контроль за их качественными показателями и состоянием.

Под включением станционного оборудования подразумевается включение источников его питания и подключение на его вход напряжения низкой частоты, а на его выход — нагрузки. При этом на пункт управления должна быть подана квитанция об исполнении команды о включении оборудования, что особенно важно при дистанционном включении. Придерживаются определенной последовательности включения станционного оборудования. Вначале включается выпрямитель накала, затем выпрямитель смещения для мощных ламп и затем выпрямитель анодного напряжения с необходимой выдержкой по времени. Последовательность включения станционного оборудования обеспечивают элементы автоматики: кнопки, реле с выдержкой времени и без нее, контакторы. Необходимо отметить, что напряжение накала на мощные лампы подается в два этапа: вначале напряжение по величине, равное половине номинального, а потом ему равное. Это объясняется тем, что обычно нить накала мощных ламп изготовляется из вольфрама и в холодном состоянии имеет малое сопротивление. При включении напряжения возникают большой пусковой ток, сильное магнитное поле. Под его действием возникает большое механическое

усилие и вольфрамовая нить не выдерживает. Поэтому накал включают постепенно. Требуют прогрева и нити накала газотронов и тиратронов блока питания. Нити накала газотронов и тиратронов выполняются из тонкой никелевой гофрированной ленты, покрытой оксидным слоем. Нить накала имеет довольно большую массу и прогревается медленно. У холодного тиратрона или газотрона с ртутным заполнением капельки ртути оседают на дно колбы, на накал, анод и другие внутренние элементы. Чтобы газотрон или тиратрон начал работать, необходимо, чтобы вся ртуть перешла в газообразное состояние, а для этого требуется не менее 15—30 мин прогреть газотрон и тиратрон.

Последовательность включения усилителей на РТУ может быть осуществлена одной командой или двумя. Принцип включения одной командой заключается в том, что при подаче ее в усилителе с выдержкой времени срабатывает целая цепочка реле, контакторов, которые обеспечивают включение усилителя.

Принцип включения двумя командами заключается в том, что при посылке первой команды включаются цепи, подготавливающие усилитель для подачи основной заключительной второй команды, после принятия которой усилитель оказывается включенным.

Рассмотрим упрощенную схему ручного включения усилительного оборудования одной командой на примере усилителя типа УПВ-1 (рис. 10.1).

Включение производится кнопкой K_1 или с помощью контакта 2 реле P, которое срабатывает при дистанционном управлении. При

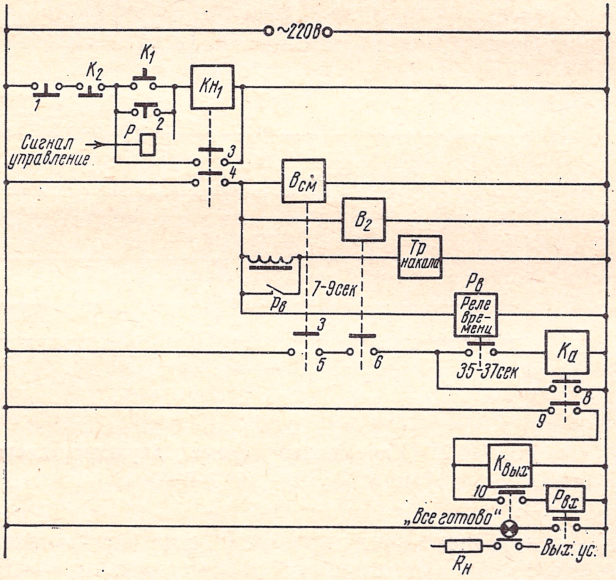


Рис. 10.1. Упрощенная схема однокомандного включения усилителя

замыкании K_1 срабатывает контактор накала $K_{н1}$ и включается реле времени. На мощных лампах ГМ-100 появляется напряжение накала, равное половине номинального. Включаются выпрямитель смещения $B_{см}$, выпрямитель анодного напряжения для предварительных ступеней B_2. На выходе выпрямителей $B_{см}$ и B_2 имеются реле (на рис. реле не показаны) с контактами *5* и *6*, которые включены в цепь контактора анода $K_а$, поэтому контактор анода может быть включен только при условии исправности указанных выпрямителей.

Реле времени срабатывает с выдержкой времени 7—9 с и лампы ГМ-100, как только это реле сработает, получают полное напряжение накала. С несколько бо́льшей выдержкой времени 16—18 с, в случае их исправности, остальные выпрямители подключаются к сети переменного тока. С выдержкой времени 35—37 с включается контактор анодного напряжения $K_а$, затем подключается нагрузка к усилителю ,и наконец, на вход подается вещательная программа.

Схема ручного включения усилителя двумя командами (на примере усилителя типа ТУ-5-4) представлена на рис. 10.2. Первая команда подается нажатием кнопки *Кн*. Эта

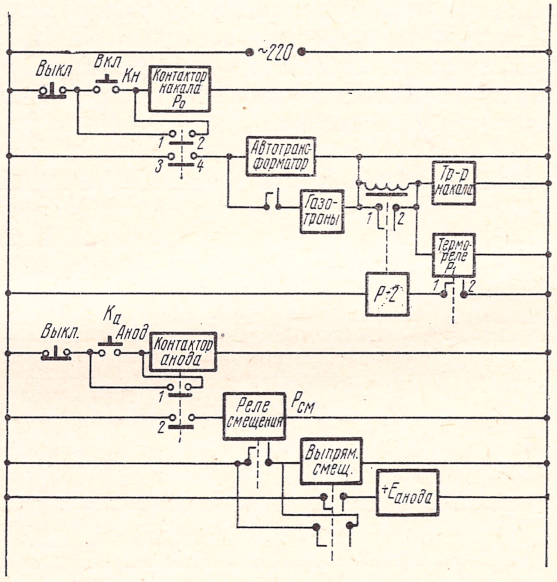


Рис. 10.2. **Упрощенная схема двухкомандного** включения усилителя

команда — включение накала. При этом включается контактор накала реле P_0 и самоблокируется контактами *1—2*. Замыкаются контакты *3—4* и напряжение 220 В поступает на автотрансформатор. Включаются газотроны. Некоторые типы мощных ламп, на-

пример ГМ-100, требуют ступенчатого включения напряжения накала. Ступенчатое напряжение обеспечивается включением дросселя *Др* в цепь первичной обмотки трансформатора накала. Половинное напряжение накала выдерживается в течение 5—10 с при помощи термореле P_1. Через 5—10 с термореле контактами *1—2* включает реле P_2, которое контактами *1—2* закорачивает дроссель *Др*, и лампы оконечного каскада получают полное напряжение накала.

Вторая команда осуществляется нажатием кнопки $K_а$. При этом включается анодный контактор, который своими контактами *1—2* включает выпрямитель смещения и самоблокируется. Для защиты ламп оконечного каскада предусматривается реле $P_{см}$, предотвращающее возможность подачи анодного напряжения на лампы при отсутствии сеточного смещения. Для дистанционного включения *ОУС, УП* в городской системе проводного вещания применяется аппаратура дистанционного управления типа УУП, состоящая из шкафа *УПК* — аппаратура команд и шкафа *УПИ* — исполнительная аппаратура. На рис. 10.3 показана упрощенная схема *УПК* и *УПИ*. Дистанционное включение усилителя производится двумя последовательными командами ключом $Кл_1$. При переводе ключа $Кл_1$ из нейтрального положения в положение *Включение* переменный ток с обмотки трансформатора $Тр_1$ пойдет по цепи: обмотка *II*, пластины ключей $Кл_1$, $Кл_2$ и $Кл_3$, средняя точка трансформатора $Тр_3$, рабочая линия $Л_2$, средняя точка $Тр_5$, выпрямитель $В_5$, земля, обмотка *II* $Тр_1$.

От тока выпрямителя $В_5$ срабатывает реле P_{22}, контакты которого подключают к проводам линии $Л_2$ через вентили $В_7$, $В_8$, $В_{10}$, $В_{11}$ реле P_{19}, P_{20}, P_{21}, P_{23} и P_{24}, являющихся дешифрирующими элементами. Одновременно по проводу № 2 линии $Л_2$ подается постоянное напряжение от выпрямителя $В_1$ с полярностью, соответствующей проводимости вентиля $В_8$. Реле P_{21} срабатывает, получив питание по цепи: вентиль $В_8$, обмотка реле P_{15}, P_{20} через контакты реле P_{21}, питание получает P_{18}, и оно срабатывает; контакты *7* и *8* реле P_{18} замыкают цепь питания катушки контактора накала $К_н$, и он срабатывает, а контакты *9* и *10* блокируют реле по цепи: земля, обмотка реле P_{18}, контакты *10, 9,* переключатель *П*, нормально замкнутые контакты реле P_{19}, плюс выпрямителя, земля.

После включения контактора $К_н$ в усилителе начинает срабатывать группа реле, включающих выпрямители предоконечного усилителя, смещения мощного блока, которые готовят цепь включения анодного контактора $К_а$. Реле P_6 отрывает обмотку реле P_{21} от земли, и якорь этого реле отпускается. При повторном нажатии ключа $Кл_1$, спустя 5—7 мин (время, необходимое для срабатывания реле времени $P_в$), повторяется командная посылка включения, но от постоянной составляющей посылки срабатывает не реле P_{21}, так как его обмотка отсоединена от земли контактами заблокированного реле $P_б$, а реле P_{20}, получающее питание по цепи: вентиль

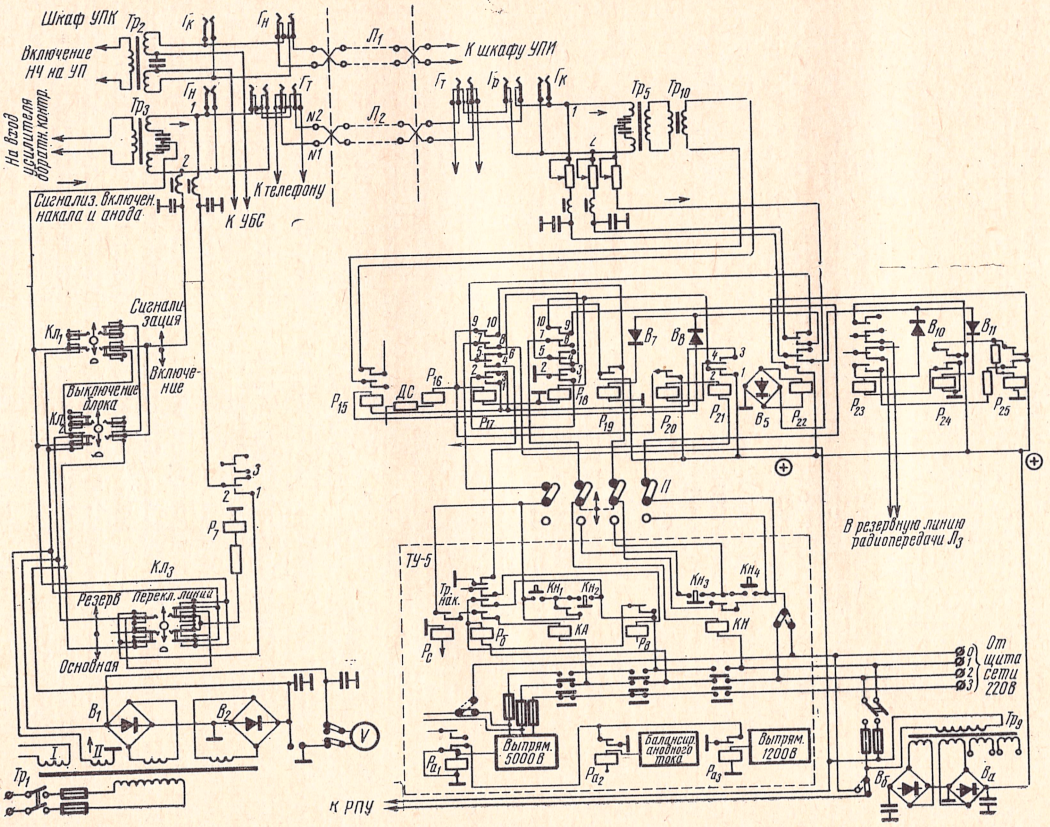


Рис. 10.3. Схема дистанционного включения усилителя

B_8, обмотка реле P_{20}, контакты *4—3* реле P_{21}, контакты *3—2* реле P_{17}, контакты *1—2* реле P_8, земля.

Контакты реле P_{20}, замыкаясь, включают напряжение на катушку реле P_{17} по цепи: плюс выпрямителя B_a, контакты реле P_{20} и P_{17}, земля. Реле P_{17} самоблокируется. Цепь блокировки: обмотка, контакты *9—10*, переключатель *П*, блок-контакты $K_н$, переключатель *П*, контакты реле P_{19}, выпрямитель B_a, контакты *7—8* P_{17} замыкают цепь питания катушки контактора анода K_a: фаза *2*, катушка K_a, контакты $P_б$, контакты P_c, переключатель *П*, контакты *7—8* реле P_{17}, фаза *1*.

Кроме того, контакты *1—2* реле P_{17}, замыкаясь, включают питание на катушку реле P_{15}, которое своими контактами подключает к выходу усилителя трансформатор Tp_{10}, понижающий напряжение и подающий его в линию обратного контроля. При возвращении ключа $Кл_1$ в нейтральное положение прекращается подача напряжения с *УПК* по проводу № 2 линии $Л_2$, реле P_{15} отпускает, и трансформатор Tp_{10} отключается от линии обратного контроля.

При посылке команды выключения полярность посылки меняется и срабатывает реле P_{19}, контакты которого разрывают цепь блокировки накального и анодного контакторов.

§ 10.2. СИГНАЛИЗАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТИ УСИЛИТЕЛЯ

За исправным состоянием усилителей на РТУ следит целая система реле и сигнальных устройств, входящих в системы УБС — систему управления, блокировки, сигнализации. Так, в каждой однотактной ступени усилителя имеется реле *(РА)*, которое следит за наличием анодного тока в ступени и его соответствием определенной нормированной величине. При отклонении величины тока от нормы реле срабатывает и посылает сигнал аварии. В двухтактных ступенях усилителя, как правило, устанавливаются диф-

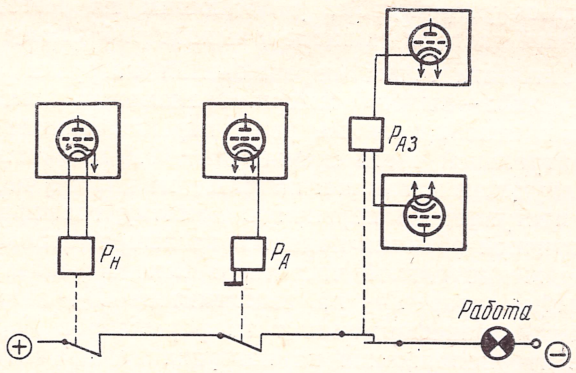


Рис. 10.4 Простая схема сигнализаций об исправности усилителя

ференциальные реле (*РА* 3), которые реагируют на разность токов ламп, включенных в плечах ступени. Если эта разность превышает допустимую величину тока, на которую отрегулировано реле, то оно срабатывает и посылает сигнал аварии. Сигнал аварии заставляет сработать систему аварийного выключения усилителя и последний выключается. Имеется реле в цепи накала $P_н$, которое реагирует на изменения тока накала. Принцип действия подобной сигнализации показан на рис. 10.4.

В некоторых усилителях, например в УПВ-5, УПВ-15, имеется сравнивающее устройство, которое следит за изменением коэффициента усиления усилителя и в случае его отклонения от нормированной величины посылает сигнал аварии. Цепи сигнализации охватывают и источники питания усилителя — выпрямители — и выдают сигнал аварии при их неисправности.

§ 10.3. СХЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЯ

В системе проводного вещания большое значение приобретают вопросы эксплуатационной надежности. Эксплуатационная надежность системы достигается резервированием важнейших звеньев системы. Резервирование усилительного оборудования осуществляется двумя способами. Первый способ состоит в том, что на *ОУС* и *УПС* устанавливается комплект рабочих и резервных усилителей. Каждый усилитель должен обеспечить мощность, потребляемую РТС, поэтому при выходе из строя рабочего усилителя его нагрузка автоматически переключается на резервный усилитель. Второй способ состоит в том, что на РТС работают одновременно два усилителя, выходная мощность которых равна половине мощности, потребляемой РТС. В случае выхода из строя одного из усилителей всю нагрузку берет на себя второй усилитель.

Рассмотрим схему автоматического резервирования усилителя. Переключение нагрузки основного усилителя на резервный может осуществляться устройством, работающим по методу сравнения уровней низкой частоты на входе и выходе работающего усилителя.

Схема автоматического переключения нагрузки с помощью устройства «вход—выход» содержит элементы контроля работы усилителей и исполнительные реле, переключающие нагрузку по сигналу контрольной части схемы (рис. 10.5). Работа схемы основана на следующем принципе: напряжение низкой частоты с входа усилителя поступает на первичную обмотку трансформатора $Тр_1$, а с его вторичной обмотки подается на выпрямитель $В_1$. Одновременно напряжение низкой частоты с выхода усилителя подается через трансформатор $Тр_2$ на выпрямитель $В_2$, аналогичный $В_1$. Коэффициенты трансформации трансформаторов $Тр_1$ и $Тр_2$ подобраны так, что напряжения на нагрузках выпрямителей $В_1$ и $В_2$ равны при нормальной работе усилителя. Тогда токи, проходящие через обмотку чувствительного реле $Р_1$, равны по величине и об-

ратны по направлению, и контакты реле находятся в нерабочем положении.

При нарушении работы усилителя напряжение на его выходе уменьшается или увеличивается, нарушается равенство токов в обмотке реле P_1, и оно срабатывает. Его контакты обеспечивают работу исполнительного реле P_2. Контакты этого реле перебрасываются в положение *2*, подключая нагрузку $R_{н0}$ к выходу резервного усилителя.

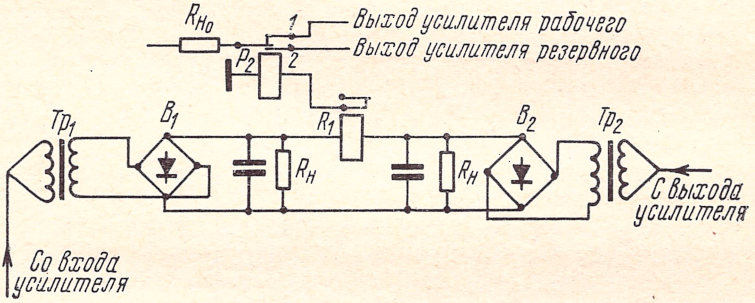


Рис. 10.5. Схема автоматического переключения нагрузки

Операции автоматического включения или переключения усилителей сопровождаются выдачей на *ЦУС* аварийного сигнала. Система дистанционного управления и контроля предусматривает также возможность получения на *ЦУС* сигналов обратного акустического контроля с выхода любой станции ПВ по соответствующему запросу оператора.

§ 10.4. СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, ЗАЩИТЫ И СИГНАЛИЗАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ФИДЕРОВ

Магистральный фидер *(МФ)* подключается к выходу мощного усилителя с помощью статива выходной коммутации типа СВК. Принцип подключения *МФ* показан на рис. 10.6.

Нажимается тумблер $К_{н1}$ и срабатывает реле P_1. Своими контактами *31—32* реле P_1 выключит лампу Авария, контактами *11—12* подаст питание для реле P_4, которое включит лампу Резерв, и подаст через контакты *32—33* и *34—35* контрольное напряжение 60 В на $Тр_1$. Трансформатор повысит напряжение до 240 В, и оно поступит в магистральный фидер.

Появляется так называемый ток обтекания, для которого создается путь только в том случае, если магистральный фидер в исправном состоянии. Тем самым подготовляется цепь пуска контактора $КП_1$, который своими контактами при срабатывании прекращает подачу контрольного напряжения в фидер и подает высокое напряжение звуковой частоты.

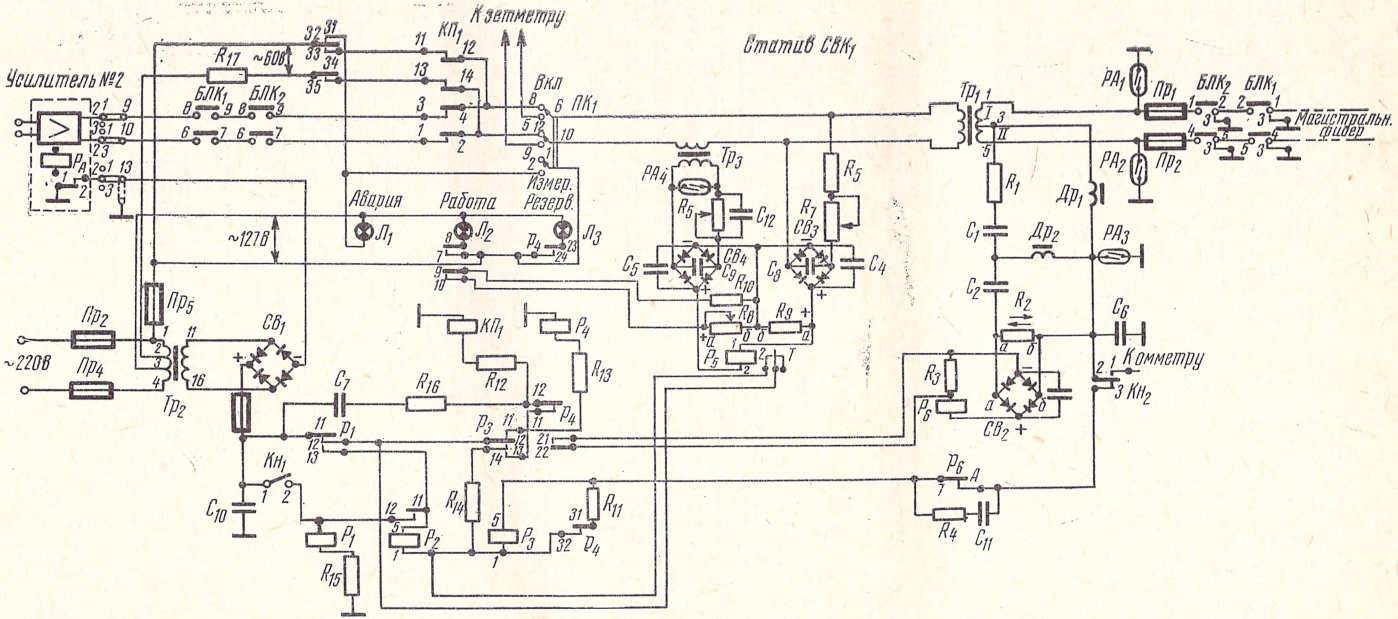


Рис. 10.6. Схема управления защиты и сигнализации магистрального фидера

Система защиты и проверки магистральных фидеров в аппаратуре СВК обеспечивает автоматическое переключение фидера из режима Работа или Резерв в режим Авария при следующих повреждениях: обрыв одного или обоих проводов фидера; заземление одного из проводов фидера или при сопротивлении заземления менее 3 кОм; симметричное полное заземление или замыкание проводов фидера.

Для рассмотрения схем защиты (по технике безопасности) магистральных фидеров познакомимся с принципом построения системы защиты в целом, который поясняется рис. 10.7.

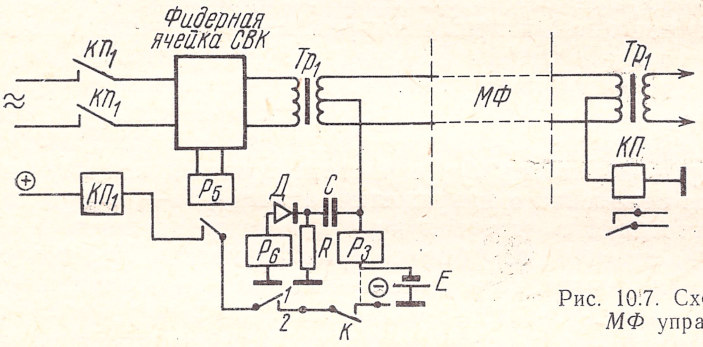


Рис. 10.7. Схема защиты МФ управления

Напряжение звуковой частоты с выхода усилителя подается к фидерной ячейке *СВК* через контактор $КП_1$. В фидерной ячейке имеется реле нагрузки $Р_5$, которое срабатывает при перегрузке и при коротком замыкании фидера. К средней точке линейной обмотки $Тр_1$ подключены два реле $Р_3$ и $Р_6$. Последовательно с $Р_3$ включен источник постоянного тока *Е*. Последовательно с $Р_6$ включен вентиль *В* и емкость *С*, которая исключает отсечку в цепи вентиля от напряжения *Е*. Средняя точка линейной обмотки трансформатора $Тр_1$ в конце МФ заземляется через обмотку *КП*.

Когда магистральный фидер исправен, реле $Р_3$ работает и его контакт *К* замкнут; $Р_6$ при этом не работает, так как при симметрии в фидере переменное напряжение между средней точкой трансформатора и землей отсутствует. Контакты *1—2* должны быть замкнуты.

Как видно из схемы, в этом случае контактор $КП_1$ срабатывает и напряжение нч поступает в фидер. Напряжение нч автоматически снимается, если, во-первых, линия перегрузится или произойдет короткое замыкание, так как при этом сработает реле нагрузки $Р_5$; во-вторых, произойдет обрыв двух проводов, отчего отпустит реле $Р_3$; в-третьих, произойдет обрыв одного провода или заземлится любой из проводов, в результате чего между средней точкой и землей появится переменное напряжение, от которого сработает реле $Р_6$, и разомкнет контакты *1—2*, обесточивая тем самым контактор $КП_1$.

Для того чтобы в момент паузы в передаче действовала непрерывно система защиты, фидер обтекается током малого напряжения, от которого в случае аварии смогут сработать реле P_5 и P_6; фидерная нагрузка на это время на *ТП* автоматически отключается. При любом повреждении фидера выключается источник питания E и на *ТП* реле $КП_1'$ отпускает, что обеспечивает переход *ТП* на работу с резервного фидера.

Рассмотрим, в каких случаях срабатывает реле асимметрии P_6 (см. рис. 10.6). Обмотка этого реле через селеновый выпрямитель $СВ_2$ подключена к сопротивлению R_2. При исправности магистрального фидера через сопротивление R_2 протекают токи двух источников переменного напряжения, равные по величине и противоположные по направлению. Первым источником этого тока является верхняя полуобмотка линейного трансформатора $Тр_1$ вторым — его нижняя полуобмотка. Если предположить, что при подаче переменного напряжения на фидер вывод *1* высоковольтной обмотки трансформатора $Тр_1$ в рассматриваемый полупериод получит плюс переменного напряжения, а вывод *5* — минус, то ток первого источника в этот полупериод потечет по цепи: верхний провод *МФ*, верхняя полуобмотка трансформатора $Тр_1$, конденсатор $С_1$, земля, конденсатор $С_6$, сопротивление R_2, конденсатор $С_2$ и $С_1$, сопротивление R_1, минус источника.

В соответствии с направлением тока первого источника падение напряжения, создаваемое им на сопротивлении R_2 в данный полупериод, будет иметь знаки «плюс» и «минус».

В соответствии с направлением тока второго источника падение напряжения, создаваемое им на сопротивлении R_2, будет иметь противоположную полярность. При исправности магистрального фидера обеспечивается равенство падений напряжений на R_2 от двух источников напряжений, поэтому разность потенциалов между точками *а* и *б* будет равна нулю и, следовательно, обмотка реле асимметрии P_6 питания не получит.

При обрыве одного из проводов фидера картина изменится. Теперь через сопротивление R_2 будет протекать ток только одного из источников, и поэтому падение напряжения, создаваемое током одного источника на сопротивлении R_2, уже не будет компенсироваться напряжением, создаваемым током другого источника.

Напряжение, получаемое на сопротивлении R_2, окажется приложенным к точкам *а* и *б*, и в цепи нагрузки $СВ_2$ потечет ток. Реле P_6, через обмотку которого пройдет этот ток, сработает и разомкнувшимися контактами $А_7$ обесточит пусковую цепь данного магистрального фидера, благодаря чему схема придет в исходное положение.

Аналогичные выключения в пусковой цепи будут иметь место и при заземлении одного из проводов фидера, если величина сопротивления заземления меньше 3 кОм. В этом случае через сопротивление R_2 будут протекать неодинаковые по величине токи за

счет разных величин сопротивления цепи. В точках *а* и *б* создается напряжение, которое заставит сработать реле P_6, которое вновь обесточит пусковую цепь. Рассмотрим случай перегрузки или замыкания фидера. При замыкании, перегрузке, а также симметричном заземлении обоих проводов фидера срабатывает реле P_5, которое обесточивает реле P_2, и схема приходит в исходное положение.

В соответствии с направлением тока в цепи выпрямителя $СВ_3$ падение напряжения, создаваемое им на сопротивлении R_9, будет иметь знаки: плюс в точке *а* и минус в точке *б*. Селеновый выпрямитель $СВ_4$ получает переменное напряжение от вторичной обмотки трансформатора $Тр_3$. Причем чем больше нагружен магистральный фидер, тем больший ток течет по первичной обмотке трансформатора $Тр_3$ и, следовательно, тем больше величина напряжения, индуктируемого в его вторичной обмотке. При этом пропорционально увеличивается и величина напряжения, подаваемого на выпрямитель $СВ_4$, и величина падения напряжения, создаваемого током выпрямителя на его нагрузочном сопротивлении R_8: плюс в точке *а* и минус в точке *б*.

Напряжения, создаваемые на сопротивлениях R_8 и R_9, включены «навстречу» друг другу, и разность потенциалов между точками *а* и *б* этих сопротивлений, а значит, и между концами обмотки реле P_5 всегда будет равна разности напряжений, создаваемых на каждом из сопротивлений: R_8 и R_9. Под воздействием этого реле P_5 сработает, обесточивая пусковое реле P_2, и неисправный фидер отключится от усилителя.

Повторное включение магистрального фидера, система защиты которого сработала «на аварию», рекомендуется производить только после того, как будут проведены эксплуатационные измерения фидера и будет установлено, что он исправен. Для сельских РТУ применяют устройства защиты магистральных фидеров типа ЗУФ-2М и АЗФ.

На станциях с рабочим напряжением 480—960 В устанавливается дополнительное защитное устройство типа ЗУФ-2М, автоматически выключающее питание фидерной цепи в случае повреждения (рис. 10.8).

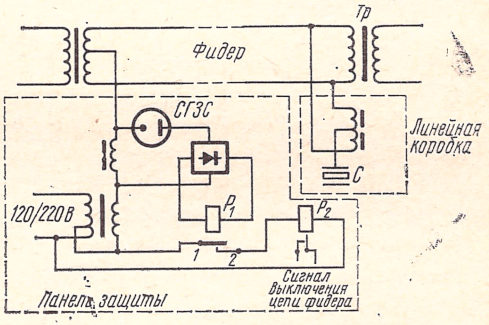


Рис. 10.8. Схема включения ЗУФ-2М

Защитное устройство ЗУФ-2М состоит из панели защиты и линейной коробки. Панель защиты устанавливается в аппаратной радиоузла, а линейная коробка на той опоре, где установлен последний линейный трансформатор. Защита работает следующим

образом: при исправном фидере он обтекается током, реле P_1 находится в рабочем состоянии: контакты его разомкнуты. При повреждении фидера цепь тока обтекания нарушается, и реле замыкает контакты *1—2*, реле P_2 получает питание, срабатывает и выдает сигнал на выключение фидера.

§ 10.5. ВЗАИМОРЕЗЕРВИРОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ФИДЕРОВ

Управление магистральными фидерами осуществляется по искусственным каналам соединительной линии. Для управления первым магистральным фидером используется первый искусственный канал: верхний провод—земля, а для управления вторым магистральным фидером — 2-й искусственный канал: нижний провод—земля. К каждой трансформаторной подстанции подходят два магистральных фидера *(1—2)*. Подача питающих напряжений на *ТП* возможна по любому из них. Переход с одного магистрального фидера на другой может происходить автоматически в случае аварии

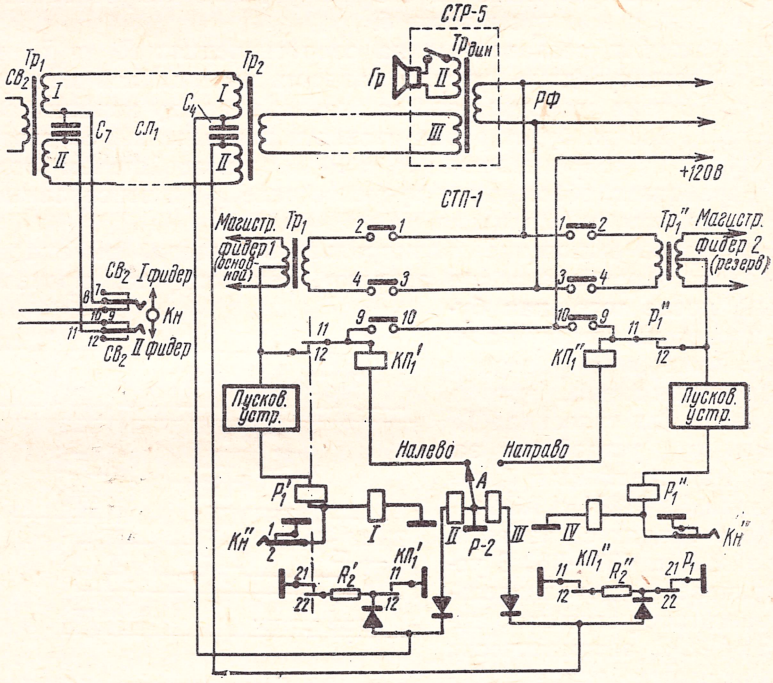


Рис. 10.9. Схема переключения магистральных фидеров

или принудительно под воздействием команды с *ЦУС* оператора. Схема переключения магистральных фидеров показана на рис. 10.9.

Реле P_2, поляризованное с четырьмя обмотками *I, II, III* и *IV*, отрегулировано на «нейтраль», т. е. якорь этого реле находится

в среднем положении. Поэтому в исходном состоянии схемы, когда обмотки реле P_2 обесточены, якорь A за счет воздействия постоянного магнита соответствующей стороны сердечника остается притянутым к тому из контактов (*1* или *2*), к которому он был подключен во время последнего включения схемы. Обмотки *I* и *IV* включены последовательно в пусковые цепи магистральных фидеров *1* и *2*. Обмотки *II* и *III* служат для дистанционного управления.

Принцип переключения следующий. При аварии магистрального фидера пусковая цепь и обмотка *I* реле P_2 обесточиваются, якорь *A* оказывается под воздействием магнитного поля, создаваемого только одной обмоткой *IV*, и соответственно переключается направо. При этом сработает контактор $КП_1$ и подключит распределительные фидера к магистральному фидеру *2*. Дежурный персонал может сам переключить нагрузку с одного магистрального фидера на другой. При нажатии кнопки пуска *Кн* пусковая цепь фидера *1* обтекается током и замкнется на землю, минуя обмотку *I* реле P_2, так как контакты *1—2 Кн* (пуска) замкнуты. Обмотка *I* P_2 обесточится, и якорь *A* под воздействием магнитного поля обмотки *IV* перебросится направо. Схема переключения для фидера *2* аналогичная.

§ 10.6. СИСТЕМА АВАРИЙНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ И КОНТРОЛЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ФИДЕРОВ

На ЦУС о состоянии распределительных фидеров судят по наличию напряжения в начале и в конце фидера, по величине входного сопротивления и сопротивления изоляции фидера, по состоянию аварийной сигнализации.

По линии обратного контроля осуществляется акустический контроль. Для контроля напряжения звуковой частоты в конце распределительного фидера устанавливается устройство контроля радиотрансляционных фидеров КРФ, состоящее из трансформатора *Тр*, выпрямителя *В* и конденсатора фильтра *С* (рис. 10.10). Напряжение, получаемое на выходе выпрямителя *В*, передается по искусственному каналу (провод фидера — земля) соединительной линии на *ЦУС*.

Измеряя вольтметром *И* падение напряжения, создаваемое выпрямлен-

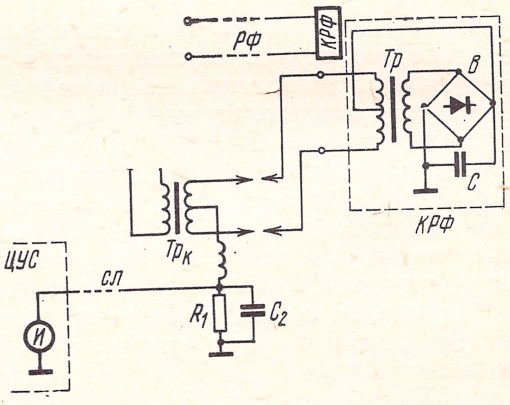


Рис. 10.10. Упрощенная схема дистанционной проверки распределительных фидеров

ным напряжением на конце фидера на сопротивлении R_1, судят о наличии и величине напряжения на конце фидера.

Аварийный сигнал о перегорании линейных предохранителей $Пр_1$, $Пр_2$ на распределительных фидерах передается следующим образом: на гнезде каждого линейного предохранителя установлено по три сигнальных лепестка *(1—2—3)*, изолированных от проводов фидера (рис. 10.11).

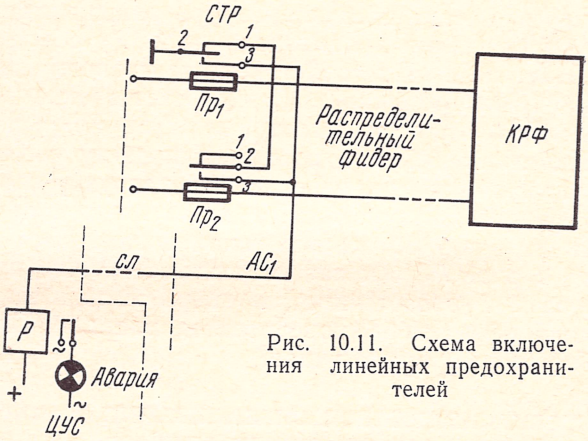


Рис. 10.11. Схема включения линейных предохранителей

Если предохранитель цел, то лепесток *2* замкнут с лепестком *1*. Если предохранитель сгорает, то лепесток *2* переключается с *1* на *3*. При этом на соответствующую шину аварийной сигнализации ($АС_1$) статива *СТР* поступает «земля», а с нее по одному из проводов линии *СЛ* на *ЦУС* к реле аварийной сигнализации *Р*, которое срабатывает, о чем свидетельствует горение лампочки Авария.

Определение номера распределительного фидера, предохранитель которого сгорел, осуществляется путем дистанционной проверки наличия напряжения звуковой частоты поочередно на конце каждого распределительного фидера той *ТП*, с которой поступил сигнал аварии.

Местное включение распределительных фидеров на проверку осуществляется нажатием соответствующей каждому фидеру кнопки $Кн_1$ на схеме рис. 10.12. При этом замыканием контактов *1—2* создается цепь питания реле $РЛ_1$, которое срабатывает и подключает распределительный фидер к контрольному трансформатору $Тр_к$. Замыкание контактов *5—6* кнопки $Кн_1$ приводит к подключению измерительного прибора *V* к РФ. Во избежание ошибочного включения питания на обмотки нескольких реле *РЛ* контакты кнопки *Кн* включены последовательно. Благодаря этому при нажатии очередной кнопки *Кн* цепи последующих кнопок размыкаются.

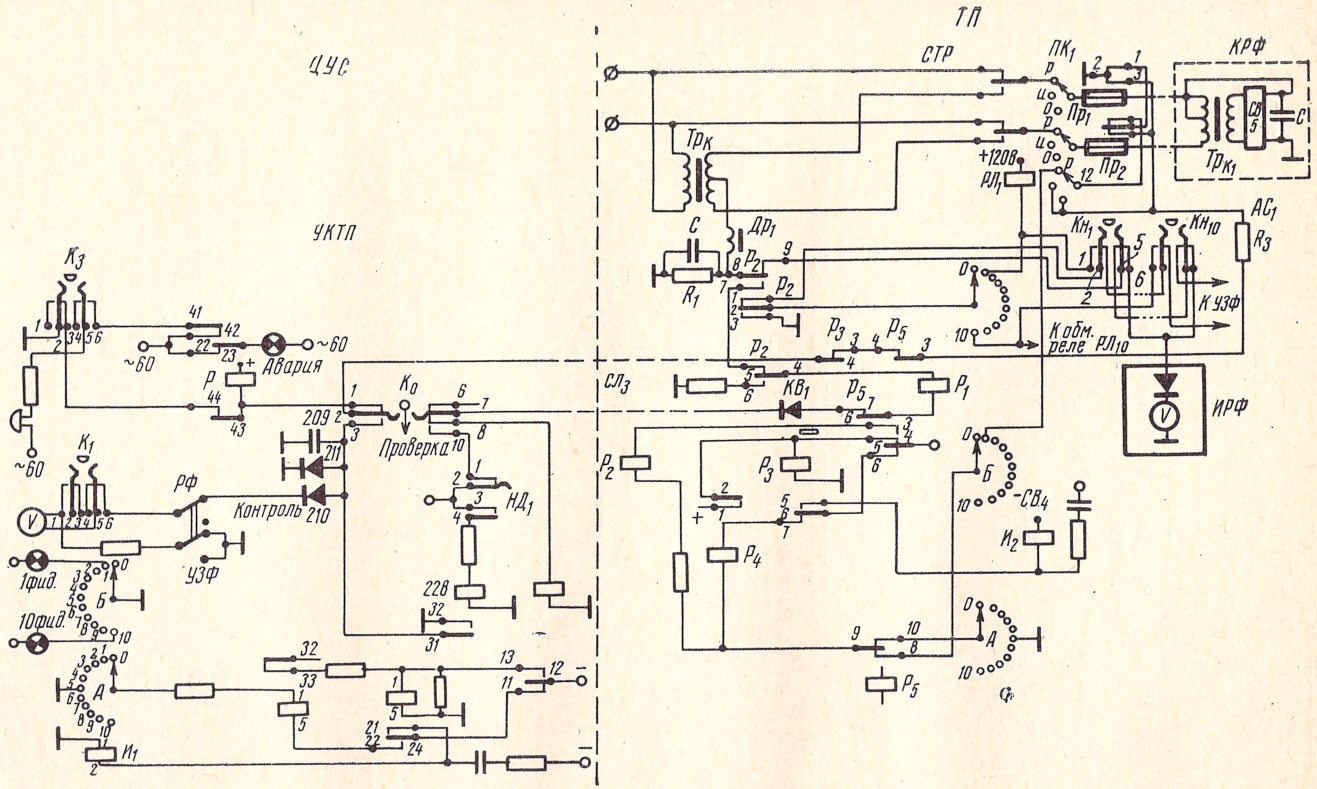


Рис. 10.12. Схема контроля *РФ*

При дистанционной проверке питание реле *РЛ* контролируемого фидера осуществляется с помощью искателя $И_2$, управляемого из *ЦУС* по соединительной линии со статива *УКТП*. При перемещении щеток искателя по контактам поля будут замыкаться цепи питания обмоток реле *РЛ* со второго по десятый и к вторичной обмотке трансформатора $Тр_К$ поочередно будут подключаться со второго по десятый распределительные фидеры.

Для того чтобы щетки искателя $И_2$ сделали один шаг, т. е. передвинулись из исходного положения на соседний контакт, нужно на обмотку искателя подать один импульс питания от источника постоянного тока (батареи или выпрямителя). Посылка соответствующего числа импульсов питания искателя $И_2$ осуществляется с *ЦУС* с помощью номеронабирателя $НД_1$. На *ЦУС* имеется искатель $И_1$, который работает синхронно с искателем $И_2$ и сигнализирует о включении того или иного фидера на проверку.

§ 10.7. УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ АППАРАТУРЫ СТАНЦИЙ, ПОДСТАНЦИЙ ОТ ОПАСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Опасные напряжения могут быть вызваны грозовыми разрядами и соприкосновением проводов радиофикации с проводами ЛЭП (линия электропередачи). Схема защиты аппаратуры станции с рабочим напряжением до 120 В приведена на рис. 10.13*а*. На вы-

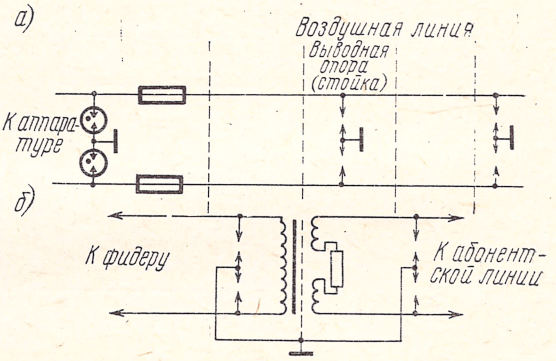


Рис. 10.13. Элементы защиты линий

ходе аппаратуры имеются искровые и газовые разрядники, а также плавкие предохранители, устанавливаемые на отдельных опорах линий *ПВ*. Если на выходе аппаратуры имеется трансформатор, то искровые разрядники устанавливаются на его первичной и вторичной обмотках. Абонентские трансформаторы также защищаются разрядниками и предохранителями (рис. 10.13*б*).

Грозовые разряды могут попадать в провода радиотрансляционной линии, а по ним — в трансформаторы и абонентскую проводку. При значительной величине грозового разряда, если не уста-

новить специальных защитных устройств, он может повредить оборудование, а иногда и вызвать несчастные случаи. Поэтому для безопасности людей и бесперебойности действия радиотрансляционных точек устанавливают грозозащитные устройства, ограничивающие до безопасной величины перенапряжение, появляющееся в радиотрансляционных линиях во время грозы. Во время грозы молнии часто повреждают опоры линий. Нередко удары молний бывают настолько сильны, что столб расщепляется. Чтобы предотвратить повреждение опор молнией, устанавливают молниеотводы.

Молниеотводы представляют собой провод, проложенный вдоль опоры. Верхний конец провода возвышается над опорой, нижний конец заземлен. Как правило, молниеотводы устанавливают на оконечных, контрольных опорах, опорах, на которых установлены трансформаторы, а также угловых, переходных, кабельных и выводных опорах. Молниеотводы устанавливают также на опорах, поставленных взамен ранее поврежденных молнией опор. На абонентских линиях населенных пунктов в грозопоражаемых местах молниеотводы устанавливают, как правило, через одну опору. Кроме того, конструкция линейных трансформаторов предусматривает применение разрядников с небольшим воздушным промежутком, устанавливаемых между двумя выводами обмоток.

Если радиотрансляционная линия находится в зоне влияния линии электропередачи с напряжением свыше 1 кВ, то молниеотводы устраивают с воздушным промежутком. Сопротивление заземления молниеотвода должно быть тем меньше, чем ответственнее опора, так как малое сопротивление заземления гарантирует лучшее стекание в землю грозовых разрядов. Заземление можно выполнить в виде стальных труб или отрезка проволоки, зарываемого в землю. Для защиты абонентской линии от напряжений грозовых разрядов на каждой ее опоре, имеющей молниеотвод, два конца перевязочной проволоки скручивают между собой и отгибают к молниеотводу. Магистральные фидера необходимо обеспечить специальным защитным устройством (реле), которое автоматически выключает питание фидера при обрыве его проводов с тем, чтобы случайное прикосновение к оборванным проводам линии не могло повлечь за собой несчастного случая. Это защитное устройство служит для выключения фидера при обрыве, заземлении или коротком замыкании его проводов. Время срабатывания защиты достаточно мало (до 0,08 с с момента появления повреждения). Это значит, что при повреждении линия будет отключена от усилителя так быстро, что падающий оборванный провод не успеет достигнуть высоты человеческого роста.

§ 10.8. АВТОМАТИКА ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА

Системы автоматики защиты персонала обеспечивают безопасность станционного обслуживающего персонала, предупреждая случаи поражения токами высокого напряжения.

В станционных устройствах автоматика защиты персонала осуществляется блокировочными контактами и разрядниками конденсаторов фильтра. Эти приборы устанавливаются у дверцы шкафа мощного усилителя (рис. 10.14). По правилам техники безопасности дверь должна открываться наружу. Когда дверца шкафа закрыта, ножи *2—2*, укрепленные на ее створке, входят между губками *1—1* и замыкают цепь первичного питания анодного трансформатора выпрямителя. Толкатель *3* удерживает рычаг *4* в поднятом положении, и контакт *5*, соединенный с плюсом высокого напряжения, изолирован. При открывании дверцы ножи *2—2* обрывают цепь питающей сети, а заземленный рычаг *4*, падая на контакт *5*, разряжает конденсаторы фильтра. Небольшое (10÷÷100 Ом) сопротивление *R*, намотанное из достаточно толстой проволоки, ограничивает ток разряда конденсаторов.

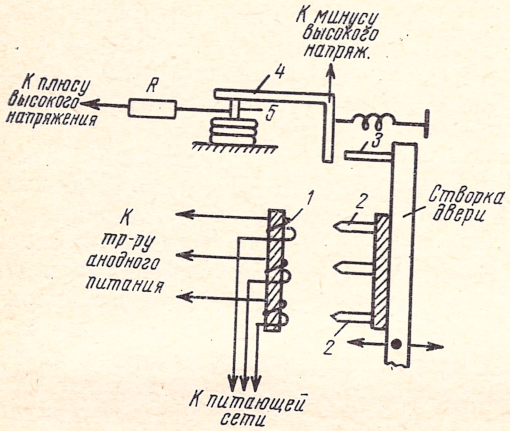


Рис. 10.14. Элементы защиты дверцы шкафа усилителя

В шкафах оконечных блоков, кроме упомянутых защитных приборов, устанавливают блок-контакты, обрывающие цепь вторичной обмотки выходного трансформатора. Это делается на случай попадания на одну из внешних линий постороннего напряжения (например, вследствие сообщения с проводами осветительной сети).

В тех случаях, когда ограждение имеет несколько дверец, каждая из них должна иметь свои блок-контакты, которые соединяются между собой последовательно. Разрядники всех дверей соединяются параллельно.

В усилительных устройствах большой мощности применяется жезловая система автоматики защиты персонала. Цепь первичного электропитания разрывается при этом не блок-контактами у двери (разрываемые мощности велики для этого), а специальным разъединителем с ручным приводом, запираемым особым замком с индивидуальным для каждого образца усилителя ключом-жезлом. Второй замок, рассчитанный под этот же жезл, запирает входную дверь ограждения.

При работе станции жезл вложен в замок привода разъединителя и вынуть его нельзя. После поворота рукоятки привода ножи разъединителя выключают первичное питание выпрямителей усилительного блока и разряжают конденсаторы фильтров. Одновременно освобождается жезл и работник, желающий войти за ограж-

дение, может вынуть жезл из замка разъединителя, вставить его в замок одной из дверей и открыть последнюю.

В этом положении благодаря механическим защелкам в замках привод разъединителя заперт и не может быть повернут в сторону включения, а жезл заперт в замке двери и не может быть вынут до закрывания двери. Лишь выйдя из ограждения, закрыв дверь, вынув жезл и вставив его в замок разъединителя, работник, входивший перед этим за ограждение, получает возможность снова включить питание аппаратуры.

Одновременно с описанной системой механических блокировок и независимо от нее специальные контакты на раме каждой двери обрывают цепи питания обмоток соответствующих контакторов, чем достигается дублирование автоматики защиты персонала. Таким образом, имеется две независимые системы блокировки — механическая и электрическая.

В соответствии с действующими правилами техники безопасности должно быть предусмотрено заземление каркасов всей аппаратуры, повторное заземление нулевого порядка электроввода и укладка резиновых диэлектрических ковриков около аппаратуры

На станции должны быть резиновые перчатки, диэлектрические калоши, углекислота, снежные огнетушители, ящик с песком, инструмент с изолированными ручками.

§ 10.9. УПРАВЛЕНИЕ, КОНТРОЛЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ ФИДЕРОВ УЛИЧНОЙ ЗВУКОФИКАЦИИ

Включение и выключение фидеров уличной звукофикации (*ФУЗ*) осуществляется с *ЦУС* посылкой команд по специально выделенной соединительной линии с помощью ключа K_1 (рис. 10.15). Команду принимает исполнительное реле P_6, имеющее две обмотки *I* и *II*. При посылке с *ЦУС* команды *Вкл. фидер № 1* обтекается током обмотка *I* реле P_6, при посылке с *ЦУС* команды *Выкл* обтекается током обмотка *II* реле P_6. При посылке команды *Вкл* замыкаются последовательные цепи включения реле P_7 и P_8, P_9 и P_{10}. Величина тока при этом достаточна только для срабатывания P_8 и P_{10}. Замыкается цепь питания реле P_6. Реле P_6 срабатывает и подключает своими контактами *7—8, 10—11* фидера уличной звукофикации (фидеры $3Ф_1$ и $3Ф_2$).

Выключение фидеров уличной звукофикации осуществляется посылкой команды, имеющей большую величину тока. При этом срабатывают мало чувствительные реле P_7 и P_9, контакты которых разрывают цепи питания обмотки *I* и замыкают цепи питания обмотки *II* реле P_6. Рабочие контакты реле P_6 обрывают цепи питания *ФУЗ*. Контроль и сигнализация *ФУЗ* осуществляются аналогично контролю и сигнализации на *РФ*.

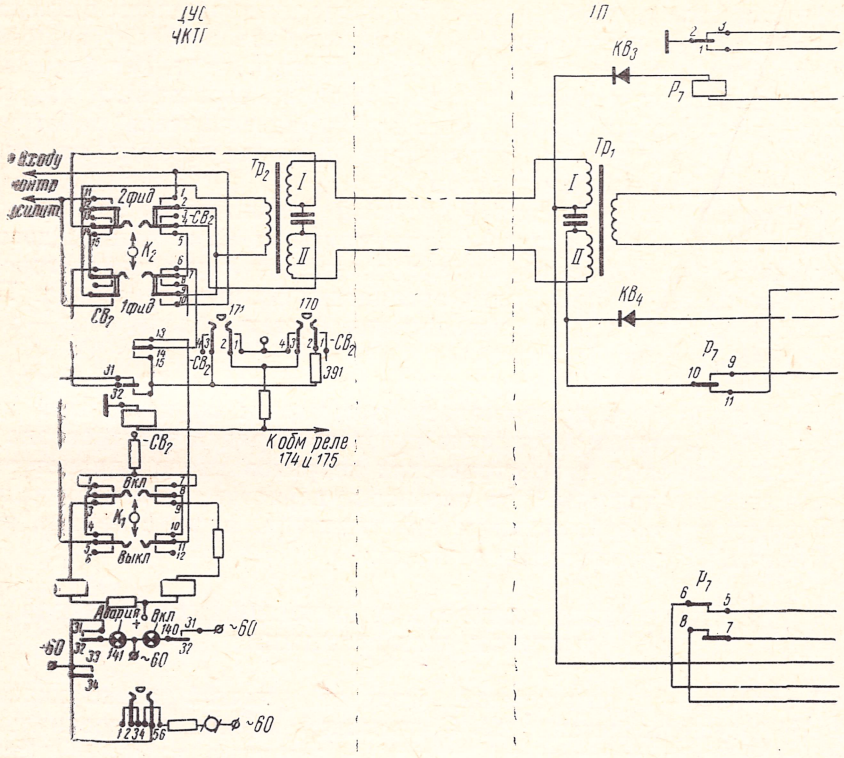
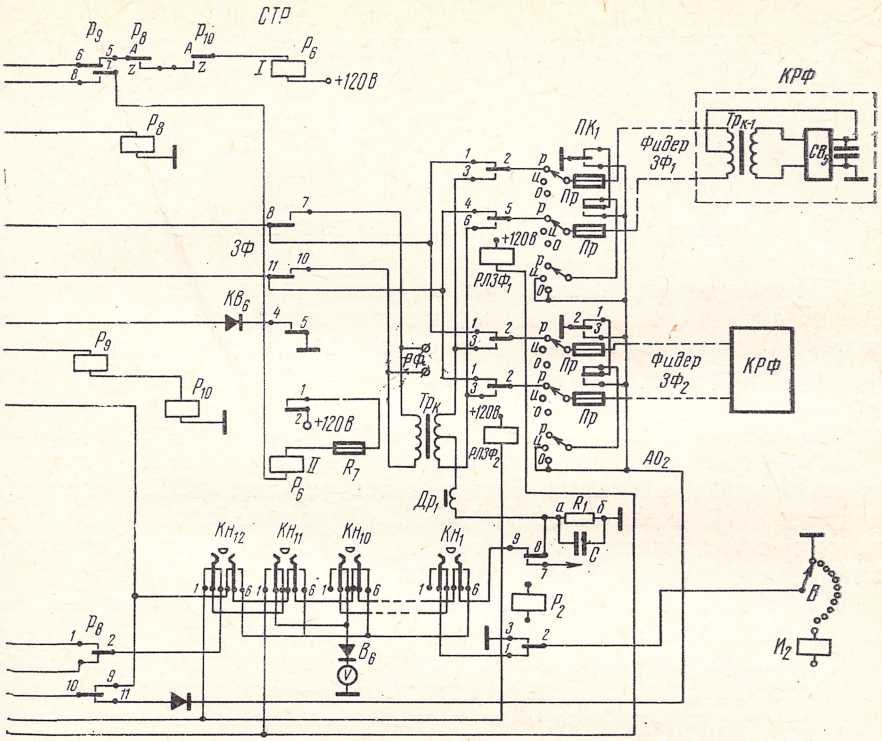


Рис. 10.15. Схема управления

Контрольные вопросы

1. **Зачем** необходимо ступенчатое включение мощных усилителей?
2. **Нарисуйте** схему, показывающую принцип работы сигнализации усилителя, **свидетельствующую** об его исправности.
3. **Расскажите** о схеме автоматического резервирования усилителей: о схеме **сравнения**.



и контроля *ФУЗ*

4. Объясните работу схемы защиты магистральных фидеров.
5. Объясните работу схемы защиты распределительных фидеров.
6. Объясните работу схемы переключения магистральных фидеров.
7. Как осуществляется защита станционных и линейных сооружений?
8. Покажите на схеме прохождение тока включения фидеров уличной звукофикации.

ГЛАВА ОДИННАДЦАТАЯ

РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ ВЕЩАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ

§ 11.1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Динамический диапазон канала радио- и проводного вещания сверху ограничен максимальной неискаженной мощностью усилителей и пиковой мощностью передатчика, а снизу — собственными шумами аппаратуры. В Советском Союзе динамический диапазон радиовещания передается равным 40 дБ.

Многие же естественные источники звучания имеют динамический диапазон значительно бо́льший. Например, оркестр Государственного академического Большого театра Союза ССР развивает динамический диапазон до 75÷85 дБ. Динамический диапазон подобных естественных источников звучания приходится регулировать, сжимать до пределов, приемлемых для каналов вещания.

Любой отрывок вещательной передачи можно представить в виде огибающей амплитудных значений напряжения.

Задача регулирования заключается в том, чтобы эту огибающую амплитудных значений напряжения — уровнеграмму, действующую в канале, ввести в пределы, верхняя граница которых определяется допустимой неискаженной мощностью аппаратуры, а нижняя — уровнем шумов в канале или аппаратуры. Пусть на

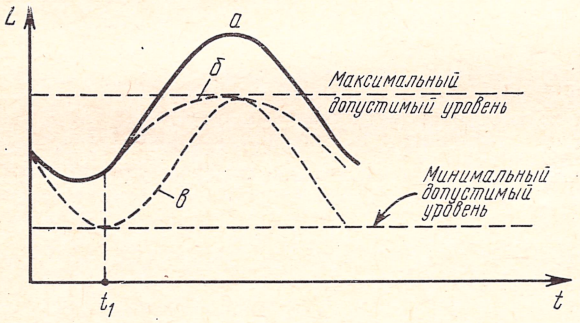


Рис. 11.1. Способы регулировки уровня

рис. 11.1 кривая *а* представляет собой огибающую напряжения передачи, тогда возможны следующие варианты регулирования:

I-й вариант — начиная с момента времени t_1, в канал вводится затухание таким образом, чтобы огибающая напряжений передачи пошла по кривой *б*. Если этого не соблюдать, то можно исказить динамический рисунок передачи, ухудшив ее контрастность.

II-й вариант — затухание в тракт вводится заблаговременно

и постепенно, при этом сохраняется динамический рисунок вещательной передачи (кривая *в*).

Регулирование может осуществляться как вручную, так и автоматически. Если первый вариант регулировки может быть выполнен как автоматический, то второй может быть выполнен только вручную опытным звукооператором, хорошо знающим партитуру произведения. Однако в ряде случаев трудно предупредить быстрые возрастания уровня, и звукооператор запаздывает регулировать уровень, что приводит к перегрузке отдельных элементов вещательного канала, к нелинейным искажениям и даже к авариям. Поэтому, несмотря на то, что ручная регулировка позволяет сохранить контрастность передачи, отдельные максимальные уровни могут пройти незамеченными звукооператором в радиовещательный тракт и вызвать искажения.

Автоматическое регулирование почти исключает прохождение отдельных пиков напряжения. Поэтому наиболее совершенным способом регулирования уровней вещательной передачи следует считать так называемый, полуавтоматический способ регулирования, сочетающий ручную и автоматическую регулировку. Для ручной регулировки применяются ручные регуляторы, а для автоматической — компрессоры, экспандеры (расширители) и ограничители уровня. Регулирование осуществляется в начале тракта в вещательной аппаратной. Регуляторы, установленные в оборудовании ПВ, служат только для установки номинального коэффициента усиления на отдельных участках тракта и всего тракта в целом

§ 11.2. РУЧНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Ручные регуляторы представляют собой элементы с регулируемым затуханием. Это может быть переменное сопротивление, пассивный или активный четырехполюсник. Регулятор должен обеспечивать требуемый диапазон регулировки, т. е. иметь определенный диапазон изменения затуханий, должен осуществлять плавную или ступенчатую регулировку. Входное и выходное сопротивления регулятора должны быть постоянными, независимыми от величины введенного затухания.

Для ручного регулирования наиболее распространены регуляторы на сопротивлениях. На рис. 11.2 показаны схемы наиболее часто применяемых регуляторов. Простейшим регулятором на сопротивлениях является потенциометр (рис. 11.2*а*). Выходное сопротивление со стороны клемм *3—4* меняется в зависимости от положения движка. Минимальное затухание не равно нулю, так как в положении минимального затухания параллельно сопротивлению нагрузки включено сопротивление R_2. Вносимое затухание регулятора: $b = 20 \lg [(R_1 + R_2)/R_2]$, дБ.

Регулятор, изображенный на рис. 11.2*б*, имеет постоянное входное сопротивление при условии, если он нагружен на сопротивление $R_н$, равное волновому сопротивлению регулятора R_0.

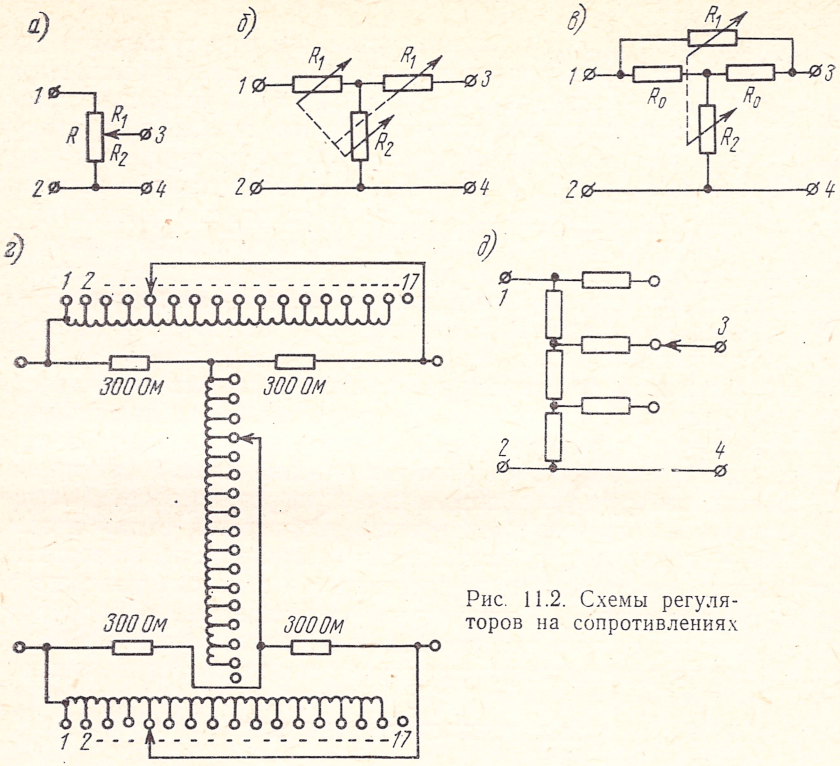


Рис. 11.2. Схемы регуляторов на сопротивлениях

№№ контактов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
b, дБ	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$R_1/2$, Ом	0	75	170	297	474	645	852	1203	1590	1987	2704	3030	4020	5670	7230	9075
R_2, Ом	—	2400	1041	606	371	279	201	150	114	90,9	66,5	51,9	40,5	31,5	24,9	19,8

Бóльшее преимущество имеет схема Т-образного мостового регулятора (рис. 11.2*в*), обладающего постоянством входного сопротивления при условии $R_1R_2=R_0^2$, $R_2=R_0/(l^{b_c}-1)$; $R_1=R_0\,(l^{b_c}-1)$, где b_c — затухание, вносимое регулятором, выраженное в неперах (напомним, что 1 непер = 8,7 децибел).

В этом регуляторе меньшее количество переменных сопротивлений, что особенно заметно при симметричной схеме регулятора (три подвижных контакта вместо пяти).

На рис. 11.2*г* дана схема такого регулятора и таблица величин сопротивлений. Достоинством регулятора (рис. 11.2*д*) являет-

ся наличие лишь одного движка в несимметричном регуляторе и двух в симметричном.

Регулятор выполнен по потенциометрической схеме с дополнительными сопротивлениями и имеет постоянное выходное сопротивление ($R_{вых}$=const) и непостоянное входное сопротивление ($R_{вх}$=const). Применение подобного регулятора целесообразно лишь на выходе цепи с малым внутренним сопротивлением. При этом переменное входное сопротивление не будет сказываться на режиме работы предшествующей цепи.

В технике радио и проводного вещания часто требуется иметь возможность регулировать уровни отдельных источников звучания или уровни, поступающие по отдельным каналам, а также одновременно регулировать уровень в общей цепи, где смешиваются уровни отдельных каналов. Регуляторы, предназначенные для регулировки в отдельных цепях, например в цепи одного из многочисленных студийных микрофонов, называются индивидуальными *(РИ)*, а регуляторы, предназначенные для регулирования уровня в общей цепи, поступающего по отдельным каналам, называются общими регуляторами *(РО)*. Система из индивидуальных регуляторов и общего называется смесительным устройством. Соединение регуляторов в смесительном устройстве (рис. 11.3) может быть последовательным *(а)*, параллельным *(б)*, смешанным *(в)* и мостовым *(г)*.

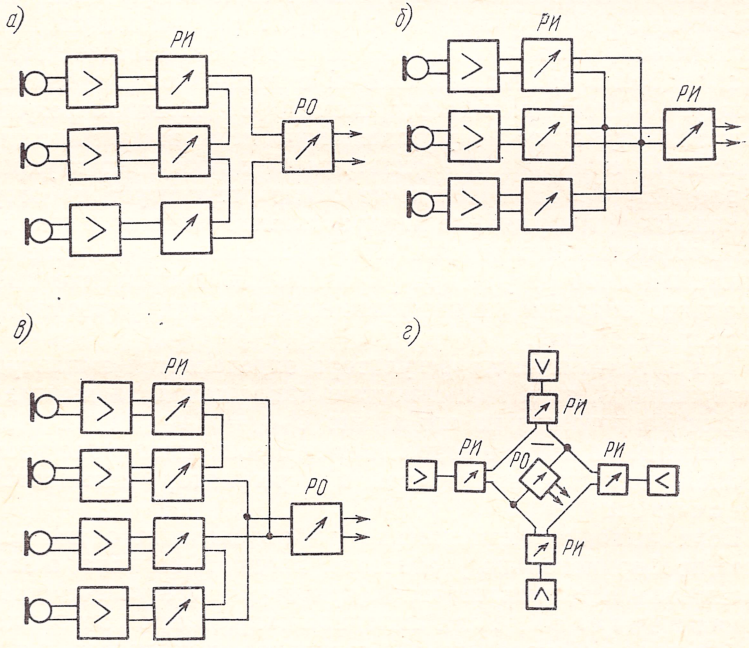


Рис. 11.3. Схемы смесительных устройств

§ 11.3. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Автоматическим регулятором называется устройство, коэффициент передачи которого автоматически меняется в зависимости от уровня сигнала на его входе.

Обобщенная структурная схема автоматического регулятора приведена на рис. 11.4. Управляемый элемент K под действием уп-

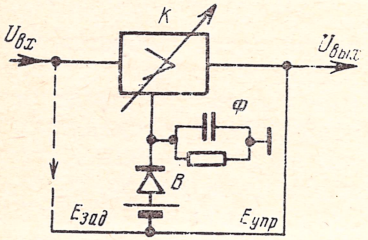


Рис. 11.4. Обобщенная схема автоматического регулятора

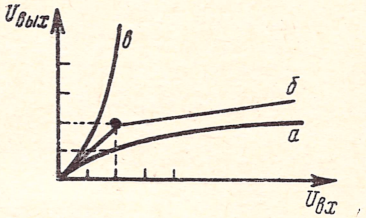


Рис. 11.5. Амплитудные характеристики автоматических регуляторов

равляющего напряжения $E_{упр}$ меняет свой коэффициент передачи. Выпрямитель B и фильтр $Ф$ образуют управляющую цепь. Если управляющая цепь подключена ко входу автоматического регулятора, то схема называется схемой с прямой регулировкой, если к выходу, то схема называется схемой с обратной регулировкой. Сигнал, поступающий в управляющую цепь, выпрямляется выпрямителем B, сглаживается фильтром $Ф$ и поступает к управляемому элементу K. Если сигнал на входе отсутствует, то отсутствует управляющее напряжение и управляемый элемент имеет наибольший коэффициент передачи. При максимальном сигнале на входе автоматического регулятора управляющее напряжение имеет максимальное значение, а коэффициент передачи управляемого элемента наименьший.

Тип автоматического регулятора определяется амплитудной характеристикой, т. е. зависимостью напряжения на выходе регулятора от напряжения на его входе: $U_{вых}=\varphi(U_{вх})$ (рис. 11.5). Если напряжение на выходе возрастает не пропорционально увеличению входного напряжения (кривая $а$), регулятор называется компрессором.

Если выходное напряжение до определенного порога возрастает пропорционально увеличению входного сигнала, а затем пропорциональность нарушается (кривая $б$), регулятор называется ограничителем. Если выходное напряжение растет значительно быстрее входного, такой регулятор называется расширителем.

Компрессор служит для сжатия динамического диапазона и используется для повышения среднего уровня передачи с целью увеличения эффективности и дальности действия вещательных уст-

ройств. В тех случаях, когда передача достаточно широкого динамического диапазона уровней сопряжена с большими трудностями, применяют автоматическое сжатие диапазона с помощью компрессора в начале канала передачи с последующим его расширением в конце канала с помощью расширителя. Это оказывается необходимым при передаче программ по междугородным каналам связи, где минимальные полезные сигналы даже на малых расстояниях становятся соизмеримыми с шумами, а максимальные уровни ограничиваются установленными нормами, превышение которых вызывает недопустимое влияние сигналов вещательного канала на сигналы других каналов связи. При этом компрессор и экспандер должны обладать взаимно связанными показателями: коэффициенты сжатия и расширения этих устройств должны быть такими, чтоб их произведение было постоянным, и динамический диапазон сжатия и расширения устройств был одинаков.

§ 11.4. ОГРАНИЧИТЕЛЬ МАКСИМАЛЬНОГО УРОВНЯ

Ограничители бывают мгновенного действия и компрессионного типа.

Рассмотрим ограничитель мгновенного действия на неоновой лампе (рис. 11.6*а*). Как известно, неоновая лампа обладает порогом зажигания, и ниже этого порога она практически не обладает проводимостью. В момент, когда напряжение на электродах достигает порога зажигания неоновой лампы, она зажигается и при дальнейшем увеличении напряжения ее проводимость резко увеличивается, а падение напряжения на самой лампе остается почти постоянным. Являясь простыми по устройству, такие ограничители все же не находят широкого применения в технике вещания, так как вносят нелинейные искажения в режиме ограничения. В отдельных случаях они применяются лишь в качестве защитных устройств от перенапряжений в цепях мощных усилителей (например, модуляторов передатчиков).

Более совершенным ограничителем мгновенного действия является ограничитель на диодах (рис. 11.6*б*). Если входное напря-

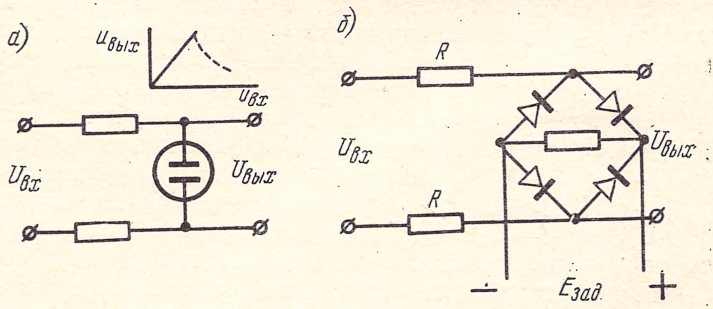


Рис. 11.6. Ограничитель мгновенного действия на:
а) неоновой лампе и *б)* на диодах

жение меньше напряжения задержки, то диоды заперты, если больше, то диоды начинают проводить, увеличивается падение напряжения на сопротивлениях R, и выходное напряжение остается постоянным.

Структурная схема ограничителя максимального уровня компрессионного типа изображена на рис. 11.7. При изменении входно-

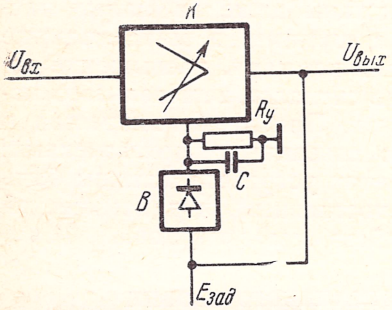


Рис. 11.7. Структурная схема ограничителя уровня компрессионного типа

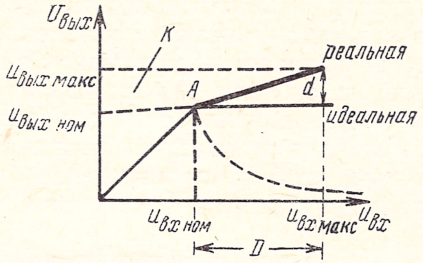


Рис. 11.8. Амплитудная характеристика и характеристика коэффициента ограничителя

го напряжения $U_{вх}$ до некоторого номинального значения, определяемого величиной напряжения задержки $E_{зад}$, коэффициент передачи элемента K остается неизменным. И выходное напряжение $U_{вых}$ изменяется пропорционально $U_{вх}$. При увеличении входного напряжения и превышении им напряжения задержки $E_{зад}$ на выходе выпрямителя B появляется постоянное напряжение, которое изменяет режим работы элемента K, уменьшая его коэффициент передачи, и выходное напряжение остается постоянным или незначительно увеличивается. Амплитудная характеристика ограничителя и график изменения коэффициента передачи K приведены на рис. 11.8. Точка A называется порогом ограничения и характеризуется номинальными величинами $U_{вх\,ном}$ и $U_{вых\,ном}$.

Ограничители максимального уровня должны отвечать определенным качественным показателям. Помимо таких показателей, как воспроизводимый диапазон частот, неравномерность частотной характеристики, коэффициент нелинейных искажений, выходная мощность, уровень шума, ограничитель характеризуются амплитудной и временными характеристиками. Амплитудная характеристика $U_{вых}=\varphi(U_{вх})$ характеризуется диапазоном ограничения $D=20\lg U_{вх\,макс}/U_{вх\,ном}$ и диапазоном сжатия $d=20\lg U_{вых\,макс}/U_{вых\,ном}$. В ограничителях обычно принимают $D=10\,(20\text{ дБ})$ при $d=1{,}12—1{,}25\,(1\div2\text{ дБ})$.

Временные характеристики определяются временем срабатывания $t_{ср}$ и временем восстановления коэффициента передачи $t_{вост}$. Время срабатывания характеризует быстроту изменения выходного напряжения при возрастании напряжения на входе. Известно, что

время установления звука у различных источников колеблется в пределах от 6 до 140 мс. Желательно, чтобы время срабатывания ограничителя было во всяком случае меньше минимального времени установления звуковых колебаний, т. е. меньше 6 мс. Обычно оно берется 1—2 мс.

Время восстановления ограничителя определяется, как время, необходимое для восстановления ограничителем исходного коэффициента усиления. При малом времени восстановления в неустановившемся режиме наблюдаются искажения формы сигнала при спадании выпрямленного напряжения. В установившемся режиме при малом времени восстановления из-за плохой фильтрации в управляющей цепи ограничителя возникает пульсация управляющего напряжения: на напряжение сигнала накладывается переменная составляющая управляющего напряжения. Однако при чрезмерно больших величинах времени восстановления возможно появление искажений динамического рисунка передачи вследствие значительного отставания изменений коэффициента передачи от изменения уровня сигнала.

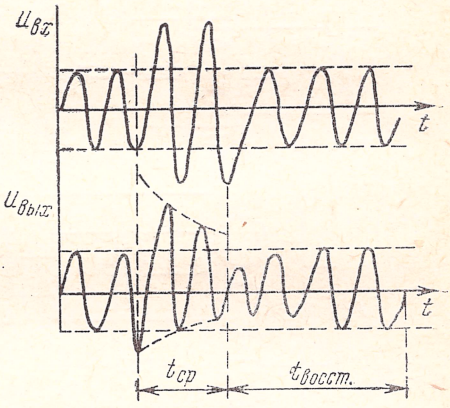


Рис. 11.9. Кривые изменения выходного напряжения ограничителя уровня

Обычно время восстановления выбирают в пределах 1÷2 с. На рис. 11.9 приведены графики, поясняющие работу ограничителя уровня при подаче на его вход синусоидального сигнала, меняющегося по величине с крутым фронтом нарастания и спадания уровня. Из рисунка видно, что ограничение происходит не мгновенно, а за время $t_{ср}$. В этот период коэффициент передачи постепенно уменьшается, пока сигнал на выходе не достигает номинального значения. За время $t_{вост}$ при редком снижении входного напряжения от максимального до номинального сигнал на выходе достигает своего номинального значения.

Время срабатывания определяется в основном временем заряда конденсатора C управляющей цепи, а время восстановления — временем его разряда R.

Расчет времени заряда t_1 и времени разряда t_2 конденсатора производится по формулам:

$$t_1 = 7RC_3;\ t_2 = 3R_yC_3;\ t_{сраб} \approx t_1;\ t_{вост} \approx t_2,$$

где R_y — полное сопротивление разрядной цепи; R — полное сопротивление зарядной цепи, в которую входит сопротивление вентиля и пересчитанное выходное сопротивление усилителя $У_1$.

§ 11.5. СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

На рис. 11.10 приведена упрощенная схема ограничителя прямого действия с обратной регулировкой, примененная в усилителе ТУ-5-4. Такое наименование присвоено данной схеме потому, что регулируемый элемент включен непосредственно в канал усиления. В качестве управляемого элемента используется лампа $Л_1$ ти-

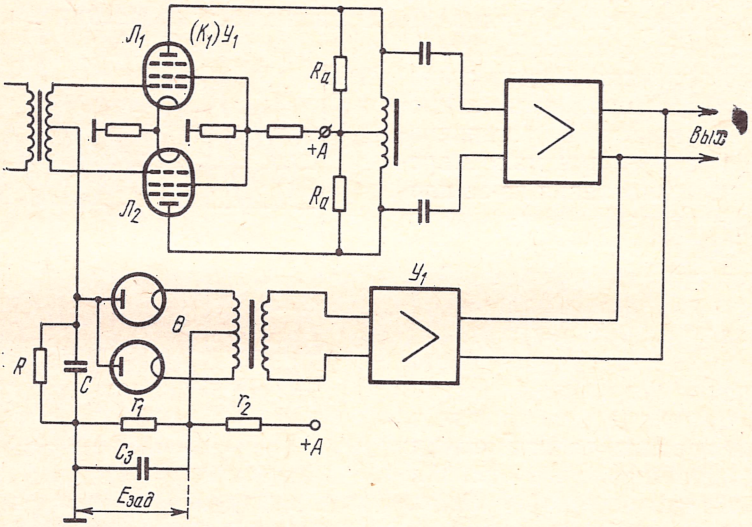


Рис. 11.10. Схема ограничителя прямого действия с обратной регулировкой

па «варимю», крутизна S которой меняется при изменении напряжения смещения на управляющей сетке лампы (рис. 11.11).

Управляющая цепь состоит из усилителя $У_1$ с коэффициентом усиления K_1, двухполупериодного выпрямителя с вакуумным диодом B, конденсатора C и сопротивления разряда R конденсатора. В цепь заряда конденсатора C включено напряжение задержки $E_{зад}$, снимаемое с сопротивления r_1. Сопротивление r_1 является плечом делителя напряжения.

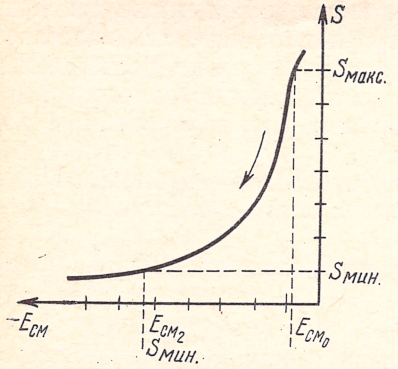


Рис. 11.11. Изменения крутизны регулируемого элемента

Электролитический конденсатор C_3 шунтирует сопротивление r_1, чтобы оно не влияло на время заряда конденсатора C. При увеличении входного напряжения и превышении им напряжения задержки $E_{зад}$ появится смещение на лампе $Л_1$. Смещение на лампах увеличится, кру-

тизна S уменьшится и коэффициент передачи каскада усилителя также уменьшится.

Для схемы справедливы соотношения:

$$U_{\text{вых макс}} = U_{\text{вх макс}} R_a A S_{\text{мин}}; \tag{11.1}$$

$$U_{\text{вых ном}} \parallel U_{\text{вх ном}} R_a A S_{\text{макс}}, \tag{11.2}$$

где A — коэффициент, определяемый параметрами схемы.

Поделив (11.1) на (11.2), получим

$$\frac{U_{\text{вых макс}}}{U_{\text{вых ном}}} = \frac{U_{\text{вх макс}}}{U_{\text{вх ном}}} \frac{S_{\text{мин}}}{S_{\text{макс}}}.$$

Используя приведенные определения для D и d, получим

$$D = d \frac{S_{\text{макс}}}{S_{\text{мин}}}. \tag{11.3}$$

Можно заметить, что

$$U_{\text{вых ном}} = U_{\text{вых ном}} \cdot \sqrt{2} K_1 = E_{\text{зад}}; \tag{11.4}$$

$$U_{\text{вых макс}} = U_{\text{вых макс}} \cdot \sqrt{2} K_1 = E_{\text{зад}} + E_{\text{см}_0}. \tag{11.5}$$

Поделив (11.5) на (11.4) и имея в виду, что $d = \frac{U_{\text{вых макс}}}{U_{\text{вых ном}}}$, получаем

$$E_{\text{зад}} = \frac{E_{\text{см}_0}}{d - 1}. \tag{11.6}$$

Из (11.4) определяем величину коэффициента усиления усилителя $У_1$:

$$K_1 = \frac{E_{\text{зад}}}{U_{\text{вых ном}} \cdot \sqrt{2}}. \tag{11.7}$$

Выражения (11.3), (11.6) и (11.7) являются расчетными соотношениями, из которых видно, что диапазон ограничения тем больше, чем больше приращение крутизны и чем больше диапазон сжатия, а характеристика в области ограничения тем ближе к горизонтальной, чем больше напряжение задержки $E_{\text{зад}}$. В пределе при $d = 1$ $E_{\text{зад}} \to \infty$.

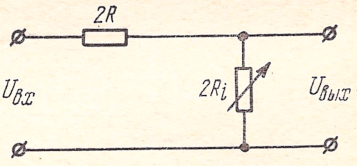


Рис. 11.12. Эквивалентная схема потенциометрического ограничителя

На рис. 11.12 приведена эквивалентная схема потенциометрического ограничителя. Название схемы ограничителя определяется принципом его работы. Как показано на эквивалентной схеме, потенциометр (делитель напряжения) представляет собой четырехполюсник из постоянных сопротивлений $2R_1$ и переменного сопротивления R_i. Изменяя величину R_i, можно изменять коэффициент передачи делителя и при изменении входного напряжения поддерживать постоянным выходное напряжение.

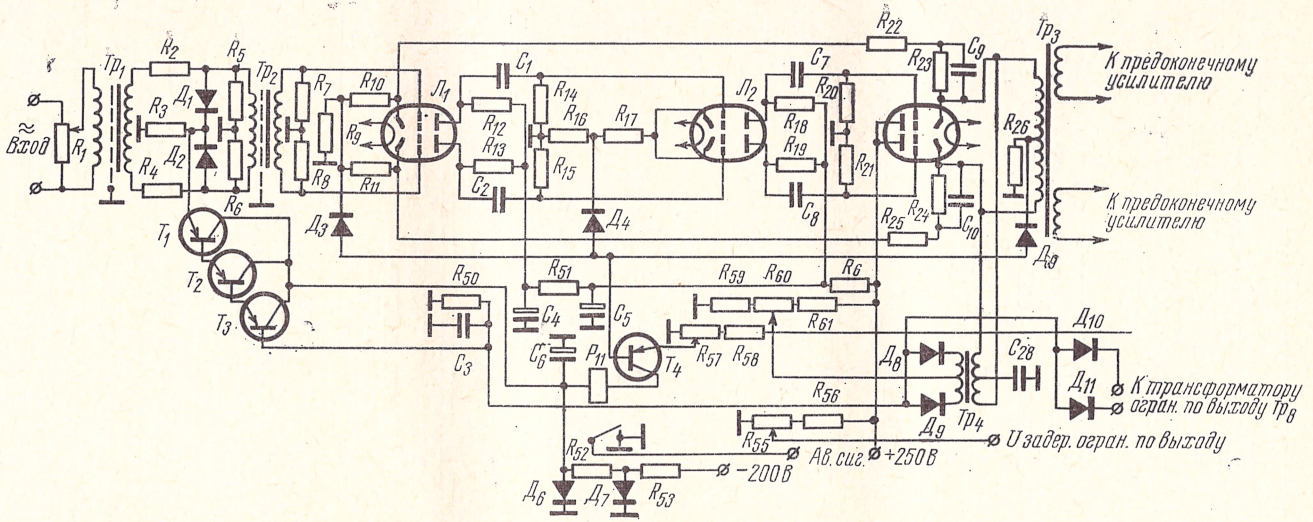


Рис. 11.13. Принципиальная схема потенциометрического усилителя-ограничителя