



**В ПОМОЩЬ РАДИОЛЮБИТЕЛЮ**

**Поляков В. Т.**

# **Техника радиоприема**

## **Простые приемники АМ сигналов**

**Радиовещательные приемники: громкоговорящие  
детекторные, прямого усиления, регенеративные**



**DMK**

**В помощь радиолюбителю**

**Поляков В. Т.**

---

**ТЕХНИКА РАДИОПРИЕМА  
ПРОСТЫЕ ПРИЕМНИКИ АМ СИГНАЛОВ**



**Москва, 2001**

**ББК 32.849.9я92**  
**П54**

**Поляков В. Т.**

**П54** Техника радиоприема: простые приемники АМ сигналов. –  
М.: ДМК Пресс, 2001. – 256 с.: ил. (В помощь радиолюбителю).

**ISBN 5-94074-056-1**

В книге рассказывается о радиовещании и простых радиоприемниках, которые легко собрать даже начинающим. Рассмотрены вопросы оптимизации антенной цепи и простейшего детекторного приемника с целью улучшения его параметров. Показано, как сделать его громкоговорящим и обеспечить высокое качество звучания. Приводится много схем и конструкций простых транзисторных устройств, чрезвычайно экономичных и часто по качеству работы превосходящих промышленные изделия. Даны описания регенеративных и автодинных синхронных приемников с высокой чувствительностью.

Книга предназначена для широкого круга читателей, интересующихся радиотехникой.

**ББК 32.849.9я92**

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

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

**ISBN 5-94074-056-1**

© Поляков В. Т., 2000

© ДМК Пресс, 2001

# СОДЕРЖАНИЕ

---

	Предисловие .....	6
<b>1</b>	<b>На чем основано радиовещание .....</b>	<b>8</b>
	Что такое радиоволны .....	10
	<i>Совсем немного истории</i> .....	10
	<i>Свойства и диапазоны радиоволн</i> .....	13
	Передающие радиоцентры .....	17
	<i>Излучение радиоволн</i> .....	17
	<i>Антенны ДВ радиостанций</i> .....	18
	<i>Антенны СВ радиостанций</i> .....	20
	<i>КВ и УКВ антенны</i> .....	21
	<i>Синхронное радиовещание</i> .....	23
	<i>Радиовещание в московском регионе</i> .....	27
	Распространение радиоволн .....	30
	<i>Распространение поверхностных волн</i> .....	33
	<i>Пространственные волны</i> .....	36
	<i>Что и когда слышно?</i> .....	40
	Принципы радиопередачи и приема .....	42
	<i>Звуковые колебания</i> .....	42
	<i>Амплитудная модуляция</i> .....	44
	<i>Частотная модуляция</i> .....	47
	<i>Радиоприемники и их параметры</i> .....	48
<b>2</b>	<b>Детекторные радиоприемники .....</b>	<b>55</b>
	Устройство и принцип действия .....	56
	<i>Колебательный контур</i> .....	56
	<i>Детектирование</i> .....	61
	<i>Телефоны</i> .....	62
	Радиоприемные антенны ДСВ .....	62
	<i>Типы и ориентация антенн</i> .....	63
	<i>Проволочные антенны</i> .....	64
	<i>Заземление</i> .....	67
	<i>Грозозащита</i> .....	68
	<i>Антенны для городских условий</i> .....	70
	<i>Антенна с магнитной связью</i> .....	71
	Мощность, отдаваемая приемной антенной .....	73
	<i>Элементарная теория приемной антенны</i> .....	73
	<i>Сопротивление излучения</i> <i>и действующая высота антенны</i> .....	75

	<i>Мощность, отдаваемая антенной без потерь</i> .....	77
	<i>Антенная цепь с потерями. КПД антенны</i> .....	78
	<b>Усовершенствование детекторного приемника</b> .....	79
	<i>Согласование антенной цепи</i> .....	79
	<i>Оптимизация антенной цепи и связи с детектором</i> .....	81
	<i>Емкостная связь детектора с антенной цепью</i> .....	83
	<i>Практическая конструкция «универсального» детекторного приемника</i> .....	83
	<i>Варианты приемника с емкостной связью</i> .....	85
	<b>Высококачественные детекторные приемники</b> .....	87
	<i>Двухконтурные приемники</i> .....	87
	<i>Использование высококачественных телефонов</i> .....	88
	<b>Портативные детекторные приемники</b> .....	90
	<i>Первые результаты</i> .....	90
	<i>Портативные антенна и заземление</i> .....	91
	<i>Необычные антенны и нестандартные решения</i> .....	93
<hr/>		
<b>3</b>	<b>Громкоговорящие детекторные приемники</b> .....	97
	<i>Акустические системы</i> .....	98
	<i>Громкость звука, чувствительность и отдача акустических систем</i> .....	98
	<i>Конструкции акустических систем</i> .....	102
	<i>Рупорные акустические системы</i> .....	105
	<b>Практические схемы громкоговорящих детекторных приемников</b> .....	108
	<i>Простейшие варианты</i> .....	108
	<i>Двухполупериодные мостовые детекторы</i> .....	111
	<i>Ключевые детекторы</i> .....	114
	<i>Двухполупериодные детекторы на комплементарных транзисторах</i> .....	117
	<b>Питание приемника «свободной энергией»</b> .....	118
	<i>Открывающиеся возможности</i> .....	119
	<i>Питание полем мощных станций</i> .....	122
	<i>Более полное использование энергии несущей</i> .....	123
	<i>Приемники с мостовыми усилителями</i> .....	125
	<b>Радиотрансляция</b> .....	132
	<i>Концепции и организация трансляционной сети</i> .....	132
	<i>Громкоговорящий детекторный приемник – альтернатива радиоточке</i> .....	134
	<i>Беспроводные радиоузлы</i> .....	135

---

<b>4</b>	<b>Приемники прямого усиления</b> .....	137
	Антенны транзисторных приемников .....	138
	<i>Мистика коротких антенн</i> .....	138
	<i>Магнитные антенны</i> .....	144
	<i>Рамочная средневолновая антенна</i> .....	146
	Экономичные приемники .....	150
	<i>Экономичный приемник прямого усиления</i> .....	151
	<i>Карманный приемник прямого усиления</i> .....	155
	<i>Чувствительный амплитудный детектор</i> .....	158
	<i>Приемник на биполярных транзисторах с АРУ</i> .....	161
	<i>Приемники с УРЧ на полевом транзисторе</i> .....	164
	Усовершенствованные приемники прямого усиления .....	166
	<i>Приемник-радиоточка</i> .....	166
	<i>Двухконтурный преселектор</i> .....	172
	<i>Средневолновый приемник прямого усиления</i> <i>с резонансным УРЧ</i> .....	181
	<i>Транзисторный громкоговорящий приемник</i> <i>с повышенной чувствительностью</i> .....	188
	<i>Приемники на микросхемах</i> .....	195
<hr/>		
<b>5</b>	<b>Регенераторы, автодины и синхродины</b> .....	199
	Регенеративные приемники .....	200
	<i>Принципы регенерации</i> .....	200
	<i>Три практические схемы СВ регенераторов</i> .....	206
	<i>Q-умножители</i> .....	209
	<i>КВ регенераторы</i> .....	217
	Автодинный прием .....	221
	<i>О любопытных явлениях у порога генерации</i> .....	221
	<i>Захват частоты</i> .....	222
	<i>Простое устройство, позволяющее</i> <i>наблюдать описанные явления</i> .....	224
	Автодинный синхронный приемник .....	228
	<i>Синхродин СВ диапазона</i> .....	229
	<i>Синхродины КВ диапазона</i> .....	236
<hr/>		
	<b>Литература</b> .....	239
<hr/>		
	<b>Заключение</b> .....	242
<hr/>		
	<b>Предметный указатель</b> .....	243

# ПРЕДИСЛОВИЕ

По определению «Политехнического словаря» радиотехника – наука об электромагнитных колебаниях и волнах радиодиапазона (до 6 ТГц), методах их генерации, усиления, излучения и приема, а также отрасль техники, использующая эти колебания и волны для радиосвязи и радиовещания. Путь в радиотехнику традиционно начинался с постройки детекторного, затем и более сложных ламповых или транзисторных радиовещательных приемников.

Само название «радиотехника» теперь встречается реже, его заменили слова «электроника», «радиоэлектроника» и т.д. Все меньше радиолюбителей занимаются конструированием именно радиоприемников: внимание отвлекается на различные электронные игрушки, устройства автоматики, компьютеры и вычислительную технику. Часто приводят довод: какой смысл самому конструировать радиоприемник, если его можно купить на любом углу и достаточно дешево?

Все это, конечно, так, да не совсем. После покупки какого-нибудь китайско-малайского ширпотреба (350 Вт выходной мощности, суперчувствительность и суперселективность, супербасы – и все это при питании от двух пальчиковых батареек) трудно избежать разочарования на другой день. О причинах не совсем удовлетворительной работы промышленных и «фирменных» приемников расскажем ниже; кстати, ширпотреб распространен и среди дорогой аппаратуры, так что найти хороший готовый приемник очень и очень непросто.

Вероятно, из-за подорожания элементов питания и аккумуляторов, а может быть, и по другим причинам в последние годы возрос интерес к экономичным приемникам, потребляющим мало энергии или вообще не имеющим батареек, а питающимся энергией поля радиостанций. Теперь настолько возросло количество радиостанций и увеличились излучаемые ими мощности, что реальным стал даже громкоговорящий прием на детекторный радиоприемник без источника питания. Подобных устройств не найдешь в продаже, их можно сделать только самостоятельно. Как – описано в этой книге.

Хороший прием и экономичность – вот цели, заставляющие взяться за самостоятельное изготовление приемника. Наконец, третий и, может быть, решающий фактор в пользу самодельных приемников – качество звука. Даже по объективным, физическим причинам нельзя ожидать хорошего звука из пластмассового корпуса

размером с мыльницу, пусть и красиво оформленного. В книге подробно обсуждается, как получить хороший звук, почти не затрачивая средств, но используя мастерство, смекалку и разумные соображения.

Итак, двигателем прогресса явится желание лучшего. Но не оно одно. Вряд ли вам сразу удастся построить аппарат, полностью удовлетворяющий вашим требованиям. Однако в процессе работы появится ни с чем не сравнимое чувство радости от творческой деятельности, познания, самовоспитания и самосовершенствования. Это нельзя описать – надо почувствовать. Возникнет и спортивный азарт, и стремление к дальнейшим достижениям. Увлечение постройкой радиоприемников и радионаблюдениями в эфире ничуть не хуже (а во многих отношениях и лучше, и полезнее), чем многое другое.

Эта книга создавалась около двух десятилетий, хотя мысль о ее издании появилась совсем недавно. Изредка в недолгие часы досуга автор отводил душу, включив паяльник, разложив на столе магнитную антенну, несколько транзисторов и коробочек с деталями. Сборка простого приемника не отнимала много труда и времени, но удовлетворение от сделанной, на первый взгляд, несерьезной работы заставляло возвращаться к ней вновь и вновь: выявлялись лучшие варианты, находились оптимальные решения – и получались на удивление неплохие результаты.

Дальше – больше: заинтересовавшись в последние годы питанием приемников «свободной энергией», автор перенес часть экспериментов на дачу, в парки, леса и поля. Человек в наушниках сейчас в общем-то не удивляет прохожих, даже если у него над головой поднята палка с привязанным к ней проводом антенны. Оказалось, что даже детекторные приемники, где все, вроде бы, просто, ясно и давно известно, могут быть усовершенствованы!

Реально создание портативных, громкоговорящих, с УКВ диапазоном и, вероятно, многих других детекторных приемников. Теперь можно сказать определенно, что интерес к их конструированию и удовольствие от этого процесса сейчас ничуть не меньше, чем полвека назад, когда автор в отроческом возрасте стал приобщаться к радиолюбительству, и уж ничуть не меньше, чем в зрелые годы, когда приходилось заниматься куда как более «серьезными» темами. Шестое чувство, воспитанное советским строем, «чувство глубокого удовлетворения», появлялось сразу вслед за звуком из наушников, принятым из эфира изделием, которое собрано собственными руками.

Трудно предположить, что простые приемники ныне непопулярны, – опытами автора интересовались все: и радиолюбители, и люди, далекие от радиотехники. Ну а возможность задаром (не тратясь даже на батарейки) и эффективно «радиофицировать» свой дачный участок привлекает практически всех садоводов и огородников. А раз так – просто нельзя не поделиться накопленным опытом.

Некоторые описания удачных схем и конструкций опубликованы, но в разных местах и в разное время (см. библиографический список в конце книги), поэтому мысль собрать весь этот материал, последовательно изложив в едином ключе, показалась не лишеной смысла. Одновременно приводится немного элементарной теории, позволяющей лучше разобраться в радиотехнике. Тем же читателям, которые начинают с нуля, кроме настоящей будут полезны книги [1, 2].

# 1

## НА ЧЕМ ОСНОВАНО РАДИОВЕЩАНИЕ

Что такое радиоволны	10
Передающие радиоцентры	17
Распространение радиоволн	30
Принципы радиопередачи и приема	42

2	Детекторные радиоприемники	55
3	Громкоговорящие детекторные приемники	97
4	Приемники прямого усиления	137
5	Регенераторы, автодины и синхродины	199

Слушая последние известия или музыку, мы не задумываемся, откуда к нам поступает эта информация, чем она переносится, как принимается. Конечно, мы слышали и знаем, что есть, как теперь называют, АМ диапазоны и ЧМ (FM) диапазоны, что радиовещательные сигналы переносятся радиоволнами, что для их приема нужна антенна и специальное устройство – радиоприемник, который и превращает переносимый радиоволнами сигнал в звук.

Хорошая практика состоит в том, чтобы, приступая к какой-либо деятельности (в нашем случае это самостоятельная разработка радиоприемника), как следует изучить происходящие явления и точно знать, с чем предстоит иметь дело. Вот этим мы сейчас и займемся.

## **1.1. ЧТО ТАКОЕ РАДИОВОЛНЫ**

Радиоволны открыты в историческом масштабе времени совсем недавно, немногим более ста лет тому назад, поэтому, прежде чем рассказать об их свойствах, напомним, как все начиналось. Как сказал индийский философ, кто не помнит прошлого, обречен пережить его снова.

### **1.1.1. Совсем немного истории**

В первой половине XIX в. замечательный английский исследователь-самоучка Майкл Фарадей (1791–1867), открывший и описавший многие законы электричества и магнетизма, высказал гениальную догадку, что электромагнитные взаимодействия распространяются на расстояние не мгновенно, а с некоторой, пусть и очень большой, скоростью. Отсюда следовал вывод, что эти взаимодействия, или поля, могут существовать независимо от источника, их породившего. Так было положено начало открытию электромагнитных волн.

Любопытно, что свои слишком смелые для того времени соображения Фарадей не опубликовал, а, запечатав в конверт, передал в Королевское Общество (аналог нашей Академии наук) с просьбой вскрыть через 100 лет. Лишь в 1930-х гг. мы узнали о его предвидении, когда радиоволны уже широко использовались и для связи, и для радиовещания.

Что же произошло за эти 100 лет? Другой английский ученый Джеймс Кларк Максвелл (1831–1879) составил систему уравнений, носящих теперь его имя, которые обобщают известные опытные законы электричества. Эти уравнения до сих пор служат основой

электродинамики – науки, имеющей дело с переменными во времени и пространстве электрическими и магнитными полями.

Из уравнений Максвелла следовало, что могут существовать независимые от источников быстропеременные электромагнитные поля, переносящие энергию и распространяющиеся в вакууме со скоростью  $c = 3 \times 10^8$  м/с или 300 тыс. км/с. Эта скорость удивительно точно совпала со скоростью света, что позволило предположить, что свет – это тоже электромагнитные волны, хотя и очень малой длины (около 0,5 мкм)

Практически электромагнитные волны удалось получить только через 20 лет, в 1886 г., немецкому ученому и экспериментатору Генриху Герцу (1857–1894). Он осуществил их передачу и прием, а также исследовал отражение и преломление. У Герца было много последователей, его опыты по получению электромагнитных волн с помощью диполя, искрового разрядника и катушки Румкорфа (индукционной катушки, создающей импульсы высокого напряжения) повторялись во многих лабораториях и университетах Европы и Америки.

Знаменитый изобретатель в области электротехники Никола Тесла (1856–1943) сконструировал в 1891 г. резонансный трансформатор, позволяющий получать очень высокие напряжения высокой частоты, и высказал мысль о возможности передачи электромагнитной энергии вдоль поверхности земли без проводов. Построенная им в 1893 г. установка для передачи высокочастотной энергии без проводов содержала передающий и приемный резонансные трансформаторы, оснащенные высоко поднятыми антеннами. А. С. Попов назвал опыты Тесла «сигнализацией при помощи быстрых электрических колебаний». Практического применения с целью передачи энергии эта установка не получила, вероятно, из-за очень низкого КПД. Но идея передачи сигналов с помощью электромагнитных колебаний уже носилась в воздухе.

Ряд исследователей стремились укоротить длину волны генерируемых колебаний, уменьшая размеры разрядника. Среди них надо отметить английского ученого О. Лоджа, нашего соотечественника П. Н. Лебедева, профессора Болонского университета А. Риги. Другие ученые совершенствовали приемник, ведь сначала электромагнитные волны регистрировались наблюдением микроскопических искр в зазоре приемного вибратора, а для их возникновения нужна была очень большая напряженность поля.

Француз Э. Бранли изобрел когерер, прототип современного детектора. Это была трубочка с выводами, заполненная металлическими опилками. Из-за слоя окисла на них сопротивление было довольно большим, но под воздействием электромагнитной волны между частичками металла происходили микроскопические разряды, образовывались проводящие «мостики» и сопротивление когерера резко уменьшалось. Для восстановления способности приема трубочку надо было встряхивать. В 1890 г. Бранли описал свой прибор, назвав его «радиокондуктором».

Название «когерер» принадлежит Лоджу, построившему на его основе приемник с батареей и гальванометром, включенным в цепь когерера. Для встряхивания опилок в когерере служил часовой механизм с молоточком. Приемник Лоджа к 1894 г. обнаруживал электромагнитное излучение искрового вибратора Герца на расстоянии около 40 м.

А. С. Попову удалось создать значительно более чувствительный приемник электромагнитных колебаний на основе когерера, который и был продемонстрирован на заседании Русского физико-химического общества 7 мая 1895 г. с указанием на практическую возможность использования электромагнитных колебаний для передачи сигналов. Эта дата и считается днем рождения радио. Несколько позже аналогичный приемник был изготовлен молодым итальянцем Гульельмо Маркони, который запатентовал это устройство в Англии в июне 1896 г. Вся дальнейшая деятельность Г. Маркони была связана с усовершенствованием приборов для телеграфирования без проводов.

Основные изобретения, сделанные и нашедшие применение до конца века: проволочные антенны на передающей и приемной станциях (Попов, 1895), настроенные в резонанс антенные цепи (Лодж, 1897), высокочастотный резонансный трансформатор, или «джиггер», в приемнике (Маркони, 1898), телефонная трубка для регистрации сигналов на слух (Рыбкин и Троицкий, 1899), новые типы «самовосстанавливающихся» когереров (ртутных, магнитных, электролитических, окисных), по своим свойствам уже приближающиеся к полупроводниковым детекторам.

Благодаря этим усовершенствованиям дальность радиосвязи быстро возросла с сотен метров (в первых опытах) до сотен километров. Первая в истории трансатлантическая передача радиосигнала на расстояние в 1800 миль между станциями в Полдью (Англия) и на полуострове Ньюфаундленд (Канада) была осуществлена Маркони

и Флемингом уже в 1901 г. Были построены большие антенны, мощная и чувствительная (по тем временам) аппаратура, но передать и принять удалось всего лишь телеграфные посылки из трех точек – букву S. До начала регулярной коммерческой трансатлантической связи было еще далеко, но существование и практическая польза электромагнитных волн теперь уже ни у кого не вызывали сомнений.

Первую радиовещательную передачу провел проф. Р. А. Фессенден 24 декабря 1906 г. из местечка Бранд-Рок, штат Массачусетс, США. Она была музыкальной (при возможном в то время качестве!), исполнялись произведения Генделя. На радиостанции использовался электромашинный генератор незатухающих колебаний, отдающий мощность 60 кВт на частоте 50 кГц. Антенна подвешивалась на мачте высотой 128 м. Передатчик имел весьма неплохие параметры даже по современным представлениям, но радиолампы еще не были изобретены, и приемники существовали только детекторные! К тому времени уже появились первые кристаллические детекторы – прообраз современных полупроводниковых диодов, а прием на телефонные трубки (наушники) был давно известен. Но, увлекшись историей, мы забыли о цели рассказа – радиоволнах.

### 1.1.2. Свойства и диапазоны радиоволн

Структура электромагнитной волны показана на рис. 1.1. Она содержит два переменных во времени и в пространстве (колеблющихся) поля: электрическое  $E$ , направленное по оси  $y$ , и магнитное  $H$ , направленное по оси  $z$ . Оба они перпендикулярны друг другу и направлению распространения, то есть электромагнитная волна поперечная. Поля не могут существовать независимо: колебания электрического поля порождают магнитное, а колебания магнитного – электрическое. Только так, поддерживая друг друга, они и распространяются в пространстве, «оторвавшись» от источника (передающей антенны).

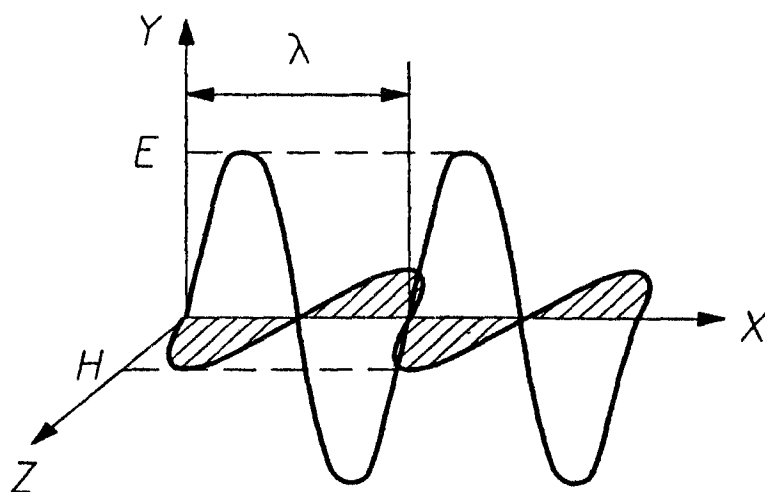


Рис. 1.1. Структура электромагнитной волны

Волна распространяется вдоль оси  $x$ , и путь, проходимый волной за один период колебаний  $T$ , называется длиной волны  $\lambda = cT$ . Период обратно пропорционален частоте колебаний  $f$ :  $T = 1 / f$ . Отсюда выводится важная формула, связывающая частоту колебаний и длину волны:  $\lambda = c / f$ . Практически удобно брать частоту в мегагерцах; тогда длина волны в метрах  $\lambda, \text{ м} = 300 / f, \text{ МГц}$ .

Электромагнитные волны называются по-разному в соответствии с частотой или длиной волны (табл. 1.1):

Таблица 1.1 Длины электромагнитных волн

Радиоволны	Инфракрасные	Видимый свет	Ультрафиолетовые	Рентгеновские	Гамма
$> 0,1 \text{ мм}$	$100-0,7 \text{ мкм}$	$0,7-0,3 \text{ мкм}$	$0,3-0,01 \text{ мкм}$	$10^{-8}-10^{-11} \text{ м}$	$< 10^{-11} \text{ м}$

Как видим, радиоволны относятся к самой длинноволновой части электромагнитного спектра. В свою очередь, они делятся на километровые, гектометровые, декаметровые, метровые и так до миллиметровых и субмиллиметровых. На практике такое десятичное деление в соответствии с ГОСТ и системой единиц СИ применяется редко, в обиходе другое: длинные волны (ДВ), средние волны (СВ), короткие волны (КВ) и ультракороткие волны (УКВ). Так же называются и диапазоны радиоприемников.

Для радиовещания выделены специальные участки в диапазонах ДСКВ и УКВ, в разных странах они несколько различаются [6, 7], поэтому приведем частоты, рекомендованные Международным союзом электросвязи и используемые в Европе и у нас (табл. 1.2).

Раньше часто пользовались обозначениями длин волн, и они сохранились в названиях коротковолновых радиовещательных диапазонов. Но для радиостанций теперь указывают только частоту, а не длину волны. Связано это с широким применением цифровых шкал и синтезаторов частоты в приемниках, но есть и важная общефизическая причина. Частота может быть определена точно, опираясь на государственный эталон времени и частоты (атомный стандарт), в то время как длина волны зависит еще и от скорости распространения волн, которая в вакууме лишь приблизительно равна  $3 \times 10^8 \text{ м/с}$  и уменьшается при распространении волны в более плотных средах (в атмосфере у поверхности Земли коэффициент укорочения равный показателю преломления, составляет 1,0003).

Кроме частоты колебаний радиоволна характеризуется поляризацией – направлением вектора электрического поля  $E$  в пространстве

Таблица 1 2 Радиовещательные диапазоны

Диапазон	Поддиапазон	Частоты в МГц
ДВ	—	0,15–0,285
СВ	—	0,525–1,605
КВ	75 м	3,950–4,000
	60 м	4,750–5,060
	49 м	5,950–6,200
	41 м	7,100–7,300
	31 м	9,500–9,775
	25 м	11,700–11,975
	19 м	15,100–15,450
	16 м	17,700–17,900
	13 м	21,450–21,750
	11 м	25,600–26,100
УКВ-1 (OIRT)	Отечественный	65,8–73
УКВ-2 (CCIR)	Западный	87,5–108

На рис. 1.1 показана вертикально поляризованная волна, однако вектор  $E$  может быть и горизонтальным, и наклонным. На УКВ, например, широко используются горизонтально поляризованные волны.

Радиоволны в однородной среде распространяются прямолинейно. Нарисуем несколько лучей (рис. 1.2а), распространяющихся параллельно друг другу. Если во всех лучах соединить точки, колеблющиеся в одинаковой фазе, получится поверхность, называемая

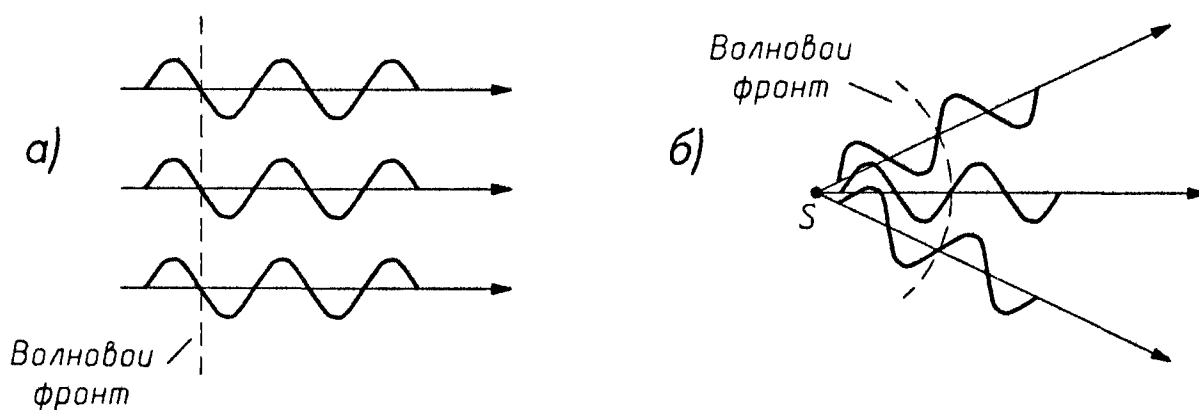


Рис 1 2 Фронт электромагнитной волны а – плоская волна, б – сферическая волна

волновым фронтом. Для плоской волны это плоскость, перпендикулярная оси  $x$ . Когда же волны расходятся из одной точки во все стороны, как показано на рис. 1.2б, волновой фронт имеет форму сферы, и тогда говорят о сферической волне. Поскольку на больших расстояниях от источника радиус кривизны поверхности велик, сферическую волну можно приближенно считать плоской.

Амплитуды колебаний характеризует напряженность электрического поля  $E$  и напряженность магнитного поля  $H$ . Напряженности полей могут быть любыми – они зависят от мощности источника. Куда же девается эта мощность? Она уносится электромагнитной волной! Поток мощности, переносимый волной через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения, называется вектором Пойнтинга:  $\Pi = E \times H$ . Обратите внимание на размерность: если  $E$  измеряется в вольтах на метр, а  $H$  – в амперах на метр, то для  $\Pi$  получаем ватты на квадратный метр. Например, плотность потока мощности электромагнитного излучения Солнца у поверхности земли в наших широтах составляет в среднем  $600 \text{ Вт/м}^2$ , правда, бо́льшая его часть приходится не на радиодиапазон, а на оптический и инфракрасный. Такого же порядка может быть плотность потока мощности в радиодиапазоне, создаваемая антеннами мощных радиовещательных станций.

Поскольку электрическое поле порождает магнитное и наоборот, между амплитудами полей должна быть прямо пропорциональная зависимость. Так оно и есть – уравнения Максвелла дают простую связь:  $E = W \times H$ , где  $W$  – волновое сопротивление пространства. Это соотношение полностью эквивалентно закону Ома в электротехнике. Размерность волнового сопротивления – омы, и для вакуума оно составляет  $120\pi$ , или  $377 \text{ Ом}$ . Примерно таково его значение и в атмосфере Земли. С учетом последней формулы плотность потока мощности можно связать с напряженностью электрического поля:  $\Pi = E^2/120\pi$ . Напряженностью магнитного поля пользуются редко.

Обратимся снова к рис. 1.2б. Пусть в точке  $S$  передатчик излучает мощность  $P$  равномерно по всем направлениям. Тогда на расстоянии  $D$  эта мощность распределится по площади сферы, равной  $4\pi D^2$ , и плотность потока мощности будет равна  $\Pi = P / 4\pi D^2$ . Легко найти и напряженность поля:  $E = (30P)^{1/2} / D$ . Мы получили простую формулу для расчета напряженности поля передатчика с всенаправленной антенной. Здесь использованы единицы СИ – ватт, метр,

вольт/метр. Удобнее мощность взять в киловаттах, расстояние – в километрах, а напряженность поля – в милливольтгах на метр. Тогда формула будет выглядеть так:  $E, \text{ мВ/м} = 173 (P, \text{ кВт})^{1/2} / D, \text{ км}$ .

## 1.2. ПЕРЕДАЮЩИЕ РАДИОЦЕНТРЫ

Единственный радиопередатчик, одиноко стоящий в чистом поле, теперь уже редкость. Чаще радиопередатчики разных программ и разных диапазонов объединяют в один мощный радиоцентр, поэтому мы так и назвали этот раздел. Но сначала посмотрим, как излучаются радиоволны.

### 1.2.1. Излучение радиоволн

Исторически первым излучателем электромагнитных волн был диполь Герца, показанный на рис. 1.3. Он состоит из двух стержней с шарами или дисками на концах, обладающих некоторой емкостью. В то же время стержни, как и любой проводник, обладают индуктивностью. Следовательно, диполь представляет собой последовательный колебательный контур и имеет некоторую резонансную частоту. Если генератор, подключенный в точках  $xx$ , настроить на ту же частоту, то генератор «увидит» нулевое реактивное сопротивление и отдаст в диполь максимальный ток.

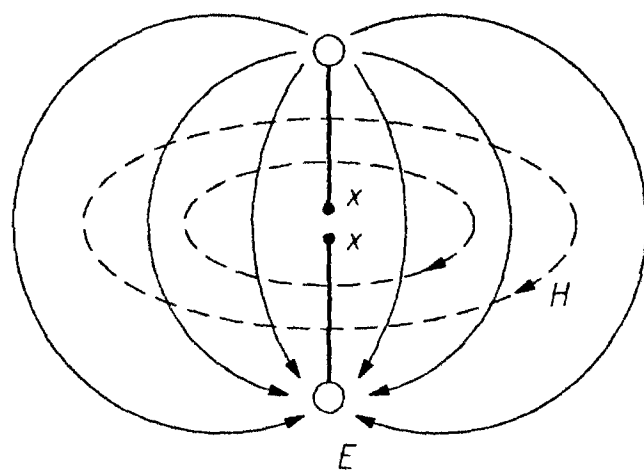


Рис 1.3 Диполь Герца

Ток, текущий по стержням, будет перезаряжать концевые емкости шаров или дисков, одновременно создавая вихревое магнитное поле (на рис. 1.3 оно показано штриховыми линиями). Заряды на концах диполя создадут электрическое поле (сплошные линии), и в пространство будут излучаться электромагнитные волны. Лучше всего это происходит в направлениях, перпендикулярных оси диполя, а вдоль нее они не излучаются совсем.

Если отложить на графике (рис. 1.4) относительную напряженность поля  $E(\phi)$ , создаваемого диполем, в зависимости от угла между осью диполя и направлением на приемник, получится диаграмма направленности. Она описывается очень простой функцией  $E(\phi) = \sin \phi$ . В любом сечении, плоскость которого проходит через диполь,

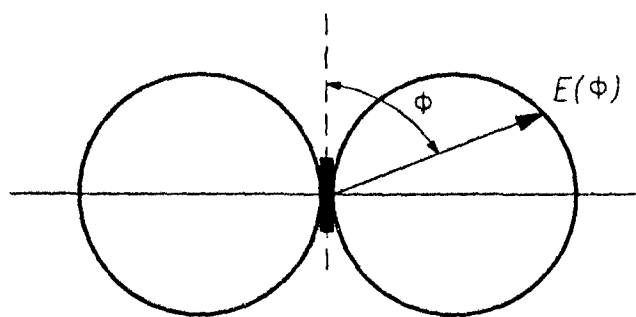


Рис. 1 4 Диаграмма направленности диполя

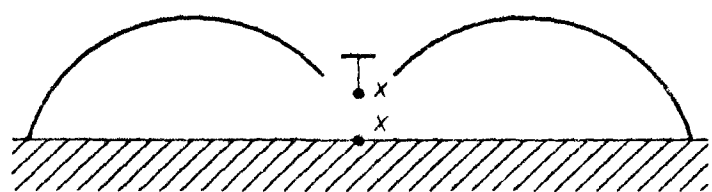


Рис 1 5 Диаграмма направленности диполя над проводящей плоскостью

диаграмма напоминает восьмерку, а в пространстве похожа на тороид, или «бублик» без отверстия в середине.

Любопытно, что, если перпендикулярно диполю поместить проводящую плоскость, проходящую через его середину, структура поля несколько не изменится, поскольку силовые линии электрического поля будут перпендикулярны плоскости и она не повлияет на них. Теперь нижнюю половинку диполя можно вообще убрать, а генератор подключить между верхней поло-

виной диполя и плоскостью, как показано на рис. 1.5. Напряженность поля вблизи проводящей плоскости даже возрастет, поскольку энергия передатчика теперь будет излучаться только в верхнее полупространство.

Именно так устроены длинноволновые передающие антенны-мачты с верхней емкостной нагрузкой, причем проводящей поверхностью служит земля: на низких радиочастотах она обладает неплохими проводящими свойствами. Еще лучшим проводником оказывается морская вода. Для таких антенн необходимо хорошее заземление. Верхнюю емкость антенны трудно выполнить в виде шара, да и не нужно: не хуже работают «диски», выполненные из ряда радиальных проводников (как спицы у колеса), или системы горизонтальных проводников – так называемое полотно антенны.

Коэффициент в формуле для расчета напряженности поля несколько изменится – ведь антенна уже не всенаправленная, а излучает преимущественно на горизонт, поэтому поле в направлении на горизонт увеличится:  $E, \text{ мВ/м} = 300 (P, \text{ кВт})^{1/2} / D, \text{ км}$ .

### 1.2.2. Антенны ДВ радиостанций

В первые годы развития радиовещания увлекались длинными и сверхдлинными волнами: считалось, что чем длиннее волна, тем дальше она распространяется вдоль поверхности земли. А поскольку для эффективного излучения размеры антенны должны быть сравнимы с длиной волны, строились гигантские антенные сооружения. В качестве примера на рис. 1.6 схематически изображена деревянная (!)

антенна-башня высотой 140 м, построенная в начале 1930-х гг. в г. Бреславле. На вершине башни на изоляторах был закреплен емкостный «зонтик», от которого вертикально вниз спускался излучающий провод.

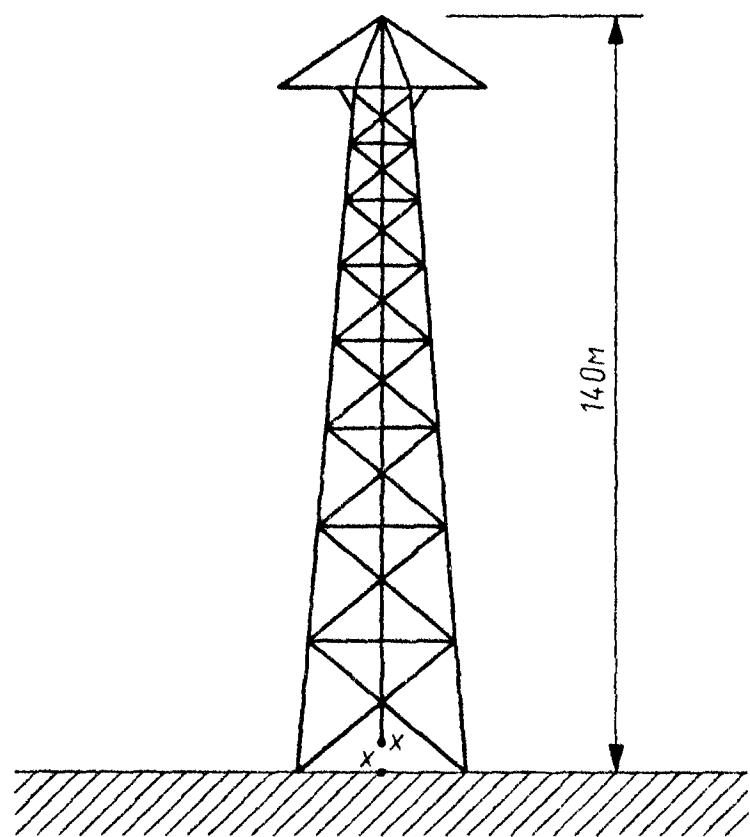


Рис. 1.6. Деревянная антенна-башня в г. Бреславле

Самая мощная радиостанция тех лет (им. Коминтерна) была построена под Москвой, вблизи Ногинска, и имела горизонтальное полотно антенны, подвешенное на высоте около 200 м на четырех опорах с тремя снижениемми (рис. 1.7). Внизу, под снижениями, располагались павильоны с устройствами настройки и согласования антенны. Собственная (резонансная) длина волны антенны составила 1970 м. При излучаемой мощности 500 кВт радиоцентр обслуживал всю европейскую часть Советского Союза. Несколько модернизированная, антенна работает по сей день.

Антенны-мачты излучают вертикально поляризованные волны, которые у поверхности земли имеют структуру, показанную на рис. 1.1. Собственно, только такие волны и могут распространяться вдоль поверхности земли, так как вектор  $E$  обязательно должен быть перпендикулярен проводящей поверхности, поэтому на ДСВ используют исключительно вертикальную поляризацию. Диаграмма направленности антенны-мачты тоже весьма благоприятна для радиосвязи

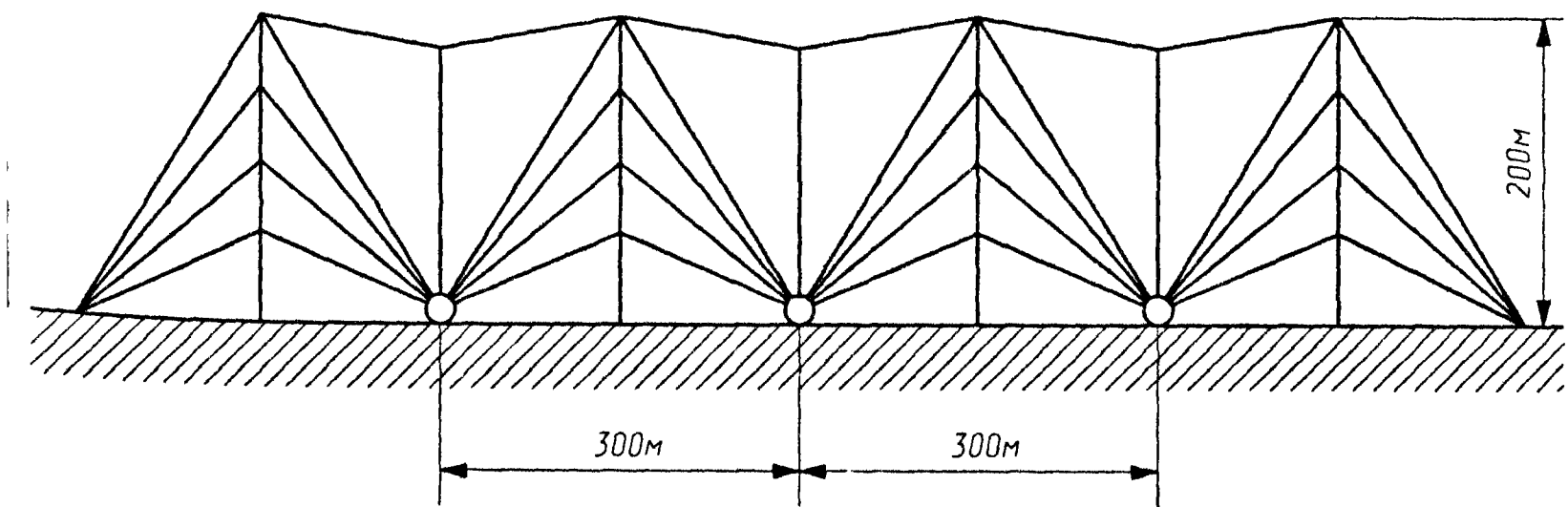


Рис. 1.7. Антенна ДВ радиостанции им Коминтерна

и радиовещания, поскольку максимум излучения направлен на горизонт (рис. 1.5).

Общее правило антенной техники таково: чтобы антенна хорошо излучала, ее размеры должны быть сравнимы с длиной волны. Невозможно, например, излучать километровые волны проволочкой длиной в несколько метров. Вот потому-то длинноволновые антенны и имеют такие гигантские размеры.

### 1.2.3. Антенны СВ радиостанций

В диапазоне СВ длина волны уменьшается до сотен метров и, казалось бы, высота антенн тоже должна уменьшиться. Но не тут-то было! Увеличение высоты антенны-мачты или антенны-башни прижимает

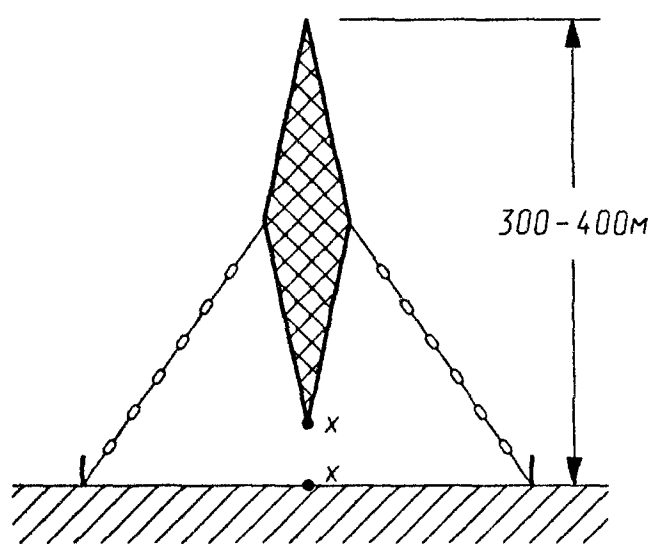


Рис. 1.8 Средневолновая антенна-мачта

главный лепесток диаграммы направленности к поверхности Земли и увеличивает напряженность поля у приемников радиослушателей при той же излучаемой мощности, поэтому строительство высоких антенн оказалось экономически оправданным. Высота их достигает половины длины волны и более, то есть 300–400 м. На рис. 1.8 схематически показана конструкция СВ антенны-мачты, установленной на растяжках, такие антенны построены, например, в Будапеште и Вене.

Особую популярность приобрела вертикальная антенна-мачта высотой  $5\lambda/8$ , описанная С. Баллантайном еще в 1924 г. Распределение тока по высоте антенны показано на рис. 1.9а. При возбуждении мачты высокочастотными колебаниями в ней устанавливается стоячая волна, содержащая основной полуволновый участок и еще один, у основания, с противоположным направлением тока. В результате формируется диаграмма направленности (рис. 1.9б), имеющая главный, прижатый к земле, лепесток и нуль излучения под углом порядка  $40^\circ$  к горизонту. Антенна приобретает антифединговые свойства, рассказ о которых немного ниже.

Передающие антенны принято характеризовать коэффициентом эффективности, равным напряженности поля в мВ/м на расстоянии 1 км от антенны при подводимой мощности 1 кВт. В диапазоне ДВ коэффициент эффективности антенн не превосходит 300 (см. формулу

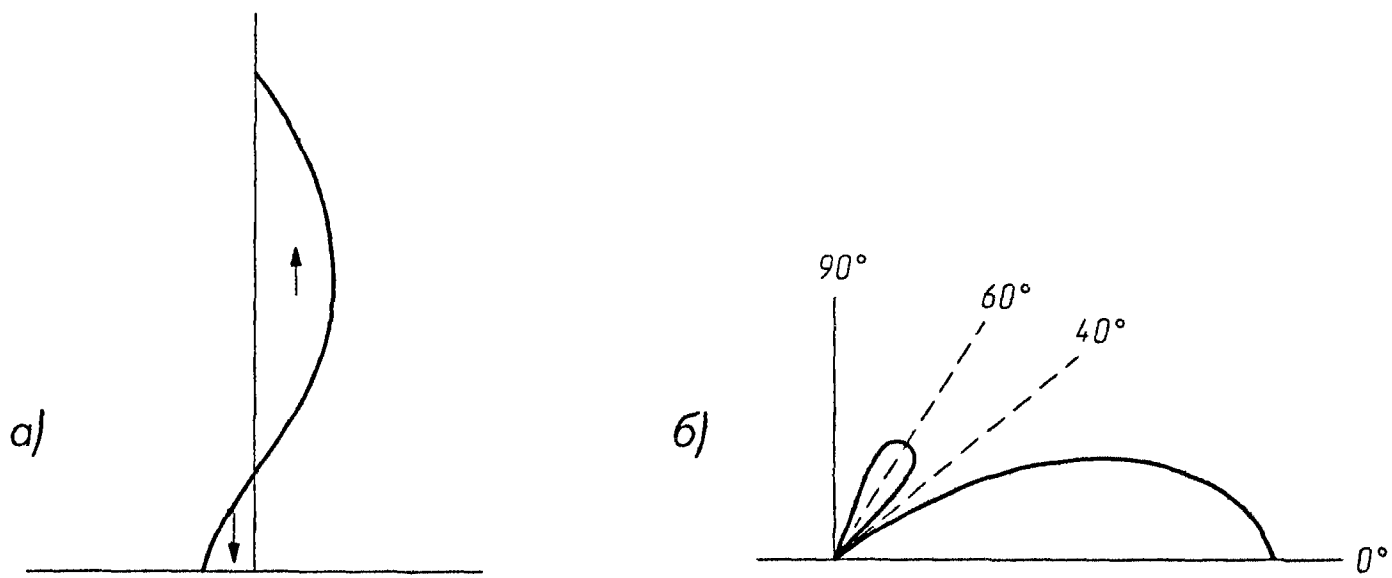


Рис 1.9 Антенна Баллантайна а – распределение тока, б – диаграмма направленности

для напряженности поля), а для лучших средневолновых антенн при высоте мачты  $0,58\lambda$  достигает 480. Чтобы вычислить напряженность поля при других мощностях и расстояниях, надо этот коэффициент умножить на квадратный корень из мощности и разделить на расстояние. Поясним примером: СВ радиостанция областного центра имеет мощность 40 кВт при эффективности антенны 435 мВ/м. Нужно найти поле на расстоянии 30 км. Умножив 435 на корень из 40 и разделив на 30, получаем 91 мВ/м.

#### 1.2.4. КВ и УКВ антенны

По мере укорочения длины волны и соответствующего повышения частоты поверхность Земли постепенно теряет проводящие свойства и вблизи нее могут распространяться волны уже с любой поляризацией. Это относится к диапазонам КВ и в еще большей степени к УКВ. Антенны этих диапазонов также уменьшаются в размерах. Излучателем в них служит полуволновый вибратор – тот же диполь Герца, но без емкостных нагрузок на концах. Резонансная длина вибратора составляет  $0,45-0,47\lambda$ , в зависимости от диаметра провода. Диаграмма направленности полуволнового диполя (рис. 1.10а) чуть уже, чем у диполя Герца, и лишь приближенно описывается функцией  $\cos \varphi$  (угол в антенной технике принято отсчитывать от направления максимума диаграммы).

Для получения направленного излучения диполи располагают в несколько рядов и этажей и запитывают синфазно (рис. 1.10б). Позади диполей подвешивают металлическую сетку-рефлектор. Подобные синфазные антенны широко используются на КВ радиопередатках,

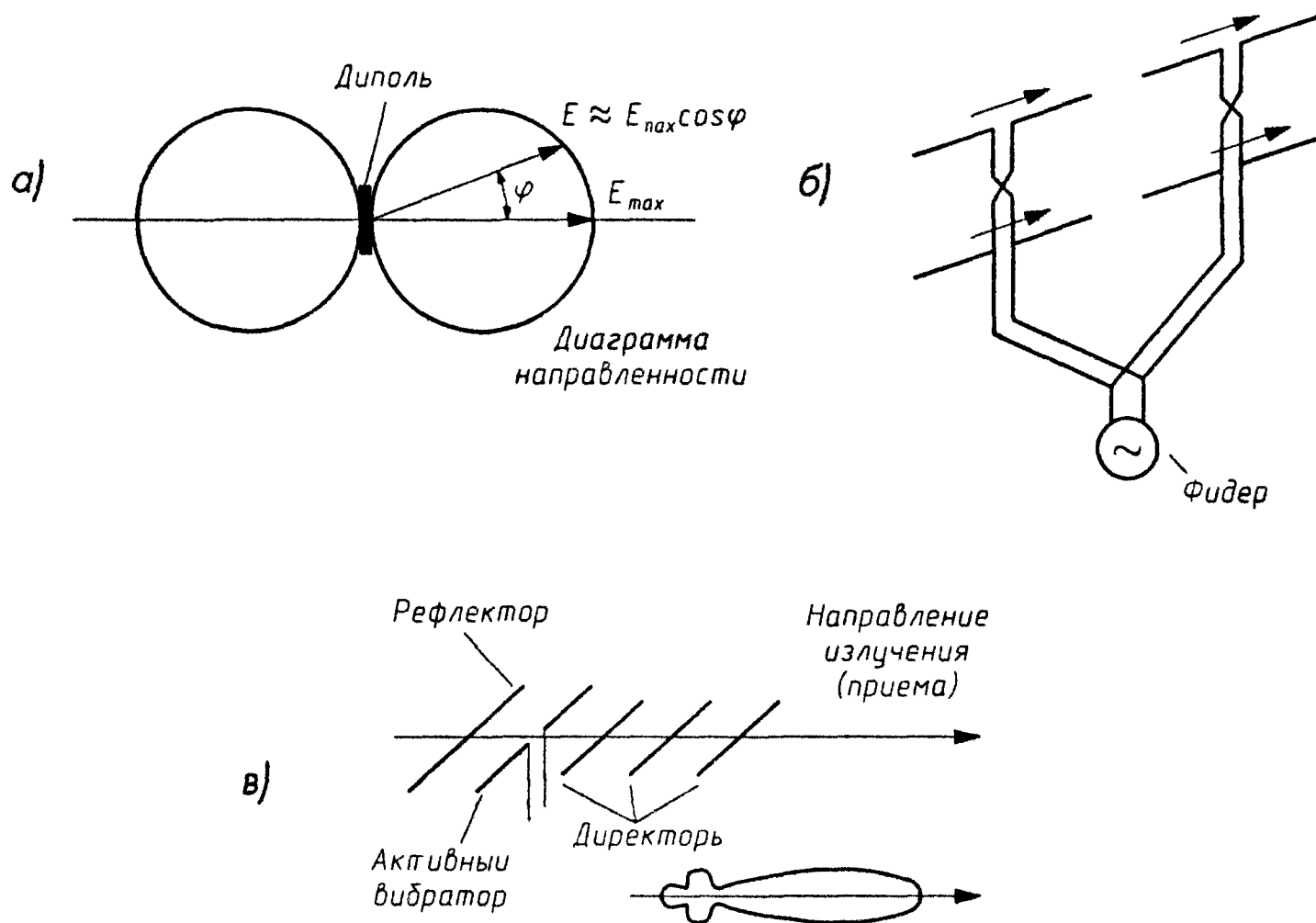


Рис 1 10 КВ и УКВ направленные антенны а – полуволновый диполь, б – синфазная антенна, в – волновой канал (Уда-Яги)

обеспечивающих направленное вещание, например, на зарубежные страны. Поскольку вещание ведется ионосферной волной, максимум излучения направляется на  $10-20^\circ$  выше горизонта, при этом антенное полотно можно и не поднимать высоко над поверхностью земли

Направленные антенны дают значительный выигрыш и при приеме. Самой распространенной приемной антенной на УКВ стал волновой канал, называемый еще по именам японских изобретателей антенной Уда-Яги. Он содержит активный вибратор – полуволновый диполь, соединенный с фидером (кабелем питания), и несколько пассивных диполей. Рефлектор делается чуть длиннее полуволны, а директоры – несколько короче. Пассивные вибраторы возбуждаются полем активного и формируют узкую диаграмму направленности, показанную на рис. 1.10в. Таков, например, принцип работы большинства коллективных телевизионных антенн.

УКВ плохо огибают сферическую поверхность Земли и совсем не отражаются ионосферой, поэтому для расширения зоны действия УКВ передатчиков их опять располагают на высоких мачтах и башнях; пример тому – Останкинская телебашня в Москве, радиус зоны «прямой видимости» с которой достигает 100 км. Чтобы сконцентрировать

излучаемую мощность в направлении на горизонт, передающие диполи располагаются на мачте в несколько этажей горизонтально или вертикально, в соответствии с требуемой поляризацией излучения.

На УКВ резко выражены зоны «тени» позади препятствий, поле также сильно ослабляется внутри зданий. В качестве примера на рис. 1.11 приведена снятая радиолюбителями карта напряженности поля (в мкВ/м) вблизи и внутри небольшого здания. Обратите внимание: если снаружи здания напряженность поля составляет 2 мВ/м, то в некоторых местах внутри здания она уменьшается в 200 раз – до 10 мкВ/м.

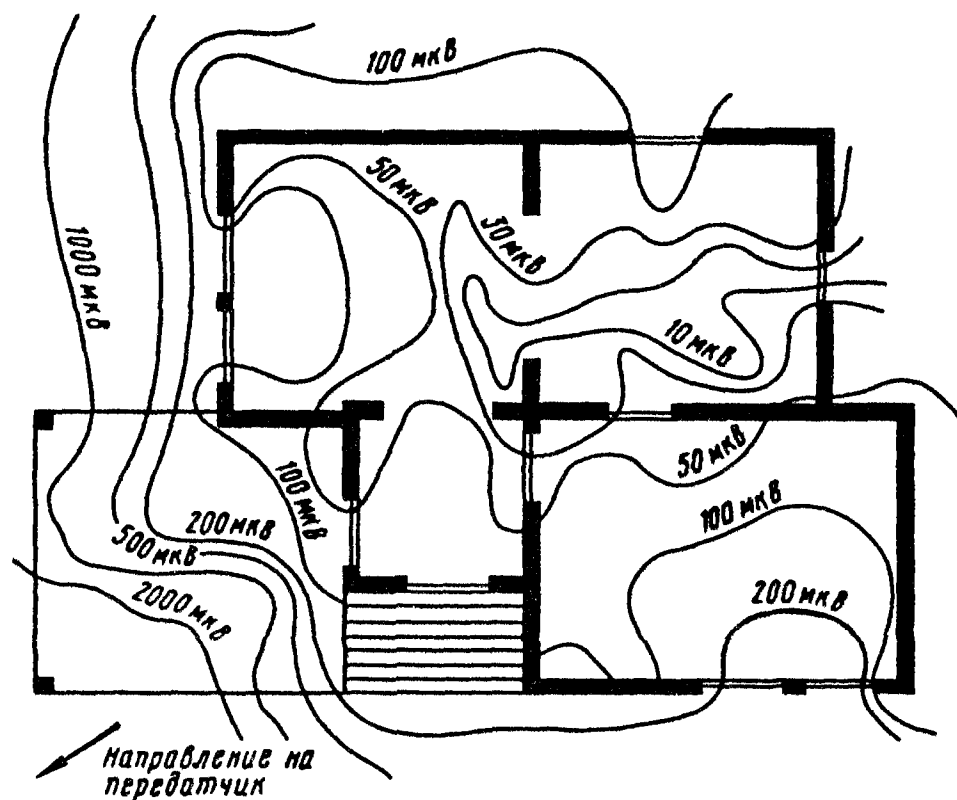


Рис 1 11 Пример распределения напряженности поля в здании

По этим причинам напряженность поля УКВ радиостанций трудно прогнозируется и в большой степени зависит от местных условий. Составить более или менее достоверную карту распределения поля на УКВ можно, пожалуй, только экспериментально. Пользоваться для расчета напряженности вышеприведенными формулами следует также с большой осторожностью, поскольку обычно поле оказывается меньше рассчитанного.

### 1.2.5. Синхронное радиовещание

Снова вернемся на ДСВ. Там поле гораздо стабильнее, из-за большой длины волны оно как бы «не замечает» мелких препятствий

вроде зданий, небольших холмов и т.д. Благодаря вертикальной поляризации и проводящим свойствам земли напряженность поля на верхних этажах практически такая же, как на нижних. Внутри зданий из диэлектрических строительных материалов (дерево, кирпич) поле ДСВ станций проникает очень хорошо. Гораздо хуже обстоит дело с железобетонными постройками: сетка металлической арматуры оказывается хорошим экраном. Напряженность электрического поля внутри такого здания намного слабее, чем снаружи; магнитное же поле экранируется значительно меньше.

Рассказывая о радиоцентрах, нельзя не упомянуть одну интересную концепцию [8, 9]. В эпоху «радиостроя» до Второй мировой войны увлекались сверхмощными передатчиками и огромными антеннами, чтобы расширить зону обслуживания одним передатчиком. После войны эта концепция была пересмотрена. Оказалось, что проще и экономически выгоднее разместить на обслуживаемой территории несколько равноудаленных передатчиков меньшей мощности и с меньшим радиусом действия (рис. 1.12). Чтобы не создавать

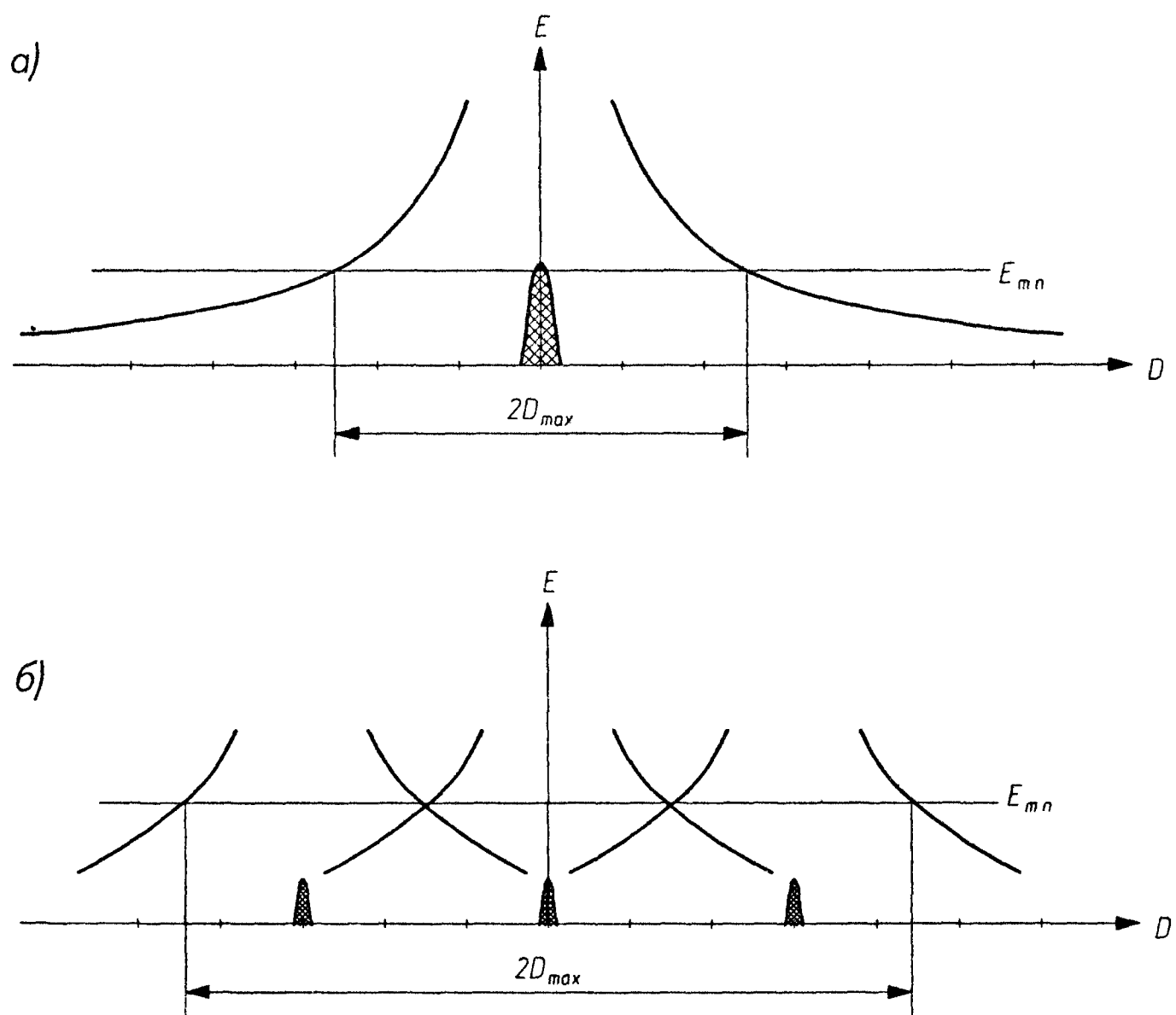


Рис 1.12 Графики напряженности поля а – одной мощной радиостанции, б – сети синхронных радиостанций

взаимных помех, передатчики должны излучать строго на одной частоте и передавать одну программу, то есть должны работать синхронно.

Считается, что для удовлетворительного приема напряженность поля радиостанции должна превосходить некоторое значение  $E_{\min}$ . Оно и определяет дальность действия станции  $D_{\max}$ . На рис. 1.12а показан график зависимости напряженности поля от расстояния и диаметр зоны обслуживания  $2D_{\max}$  для одной мощной станции. Серия менее мощных станций (рис. 1.12б) имеет большую зону обслуживания при той же минимальной напряженности поля. Математически доказывается, что для обслуживания определенной территории требуется одинаковая суммарная мощность передатчиков, независимо от их числа и расположения. Но в синхронной сети передатчики могут располагаться вблизи густонаселенных мест, обеспечивая больший процент населения лучшим качеством вещания.

Концепция имеет и военно-стратегический аспект. Радиостанции служат прекрасными радиомаяками для навигации самолетов и кораблей. В начале Второй мировой войны японцы разбомбили американский тихоокеанский флот в Пирл-Харборе, пользуясь для наведения бомбардировщиков сигналами радиостанции в Гонолулу. В случае сети синхронных станций радиоволны приходят с разных направлений, волновой фронт искажается и радионавигационные приборы не действуют. В США синхронные сети запрещены законом, чтобы не мешать конкуренции частных радиостанций, но после войны долгое время действовал план Конэлрад (контроль электромагнитной радиации), по которому в случае угрозы нападения все станции страны объединяются в синхронную сеть, передающую одну программу, например обращение президента.

Опасность интерференции волн от разных станций синхронной сети, вследствие которой напряженность поля может упасть до нуля, возникает лишь в местах, где напряженности поля двух станций одинаковы (точки пересечения кривых на рис. 1.12б). Однако там возникает стоячая волна в результате сложения двух бегущих навстречу волн  $E, H, P$  и  $E', H', P'$ , как схематически показано на рис. 1.13. В стоячей волне минимум суммарной напряженности электрического поля  $E_s$  соответствует максимуму магнитного  $H_s$ , и наоборот. Поэтому там, где невозможен прием на электрическую антенну, хорошие результаты даст магнитная. Однако площадь зон интерференции мала, к тому же попадает в малонаселенные районы.

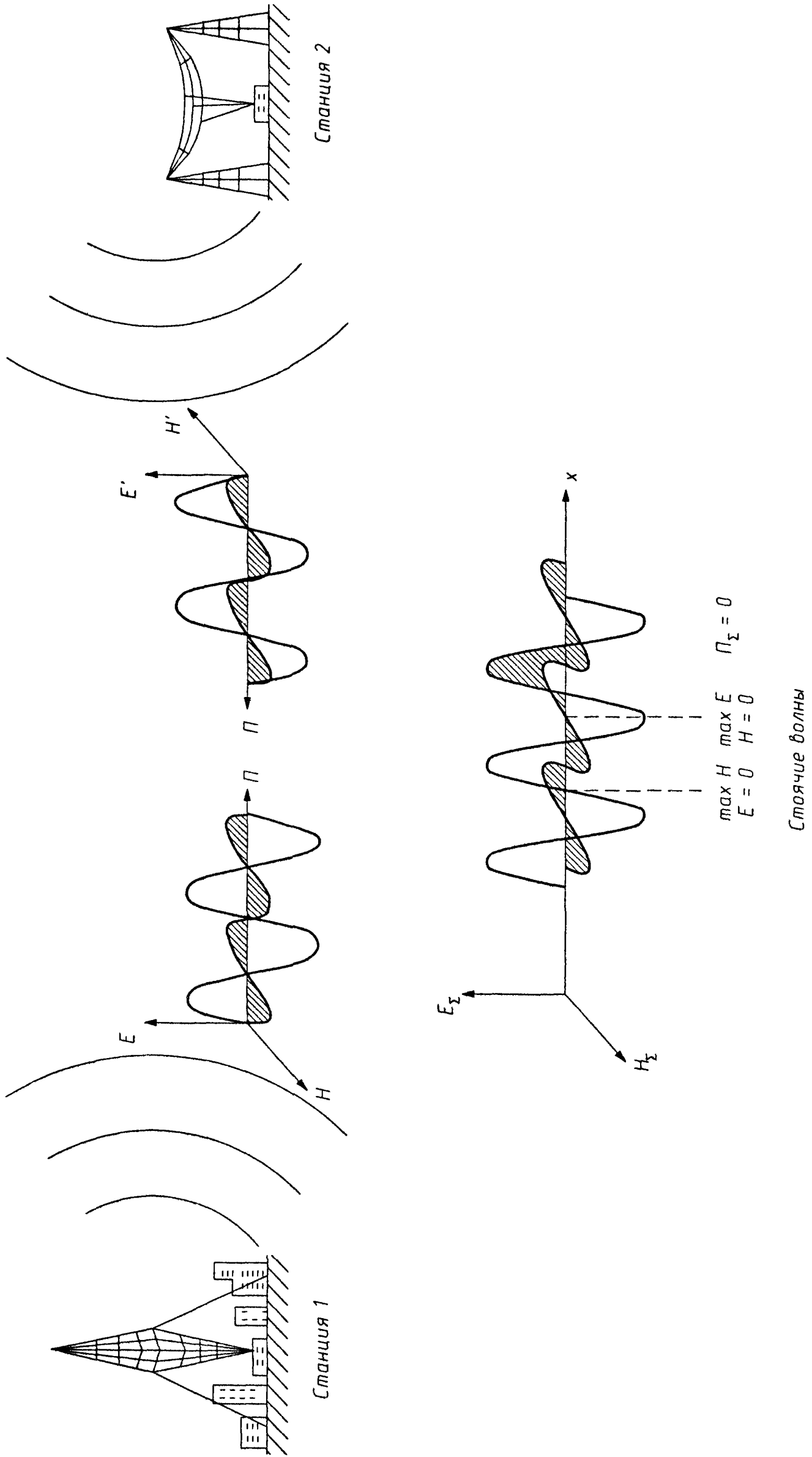


Рис. 1.13. Интерференция волн синхронных радиостанций

Сейчас синхронное радиовещание охватывает более половины действующих радиовещательных передатчиков в большинстве стран Европы, а в Англии – 90%. Синхронизация передатчиков осуществляется путем излучения в эфир эталонной частоты, полученной от государственного атомного стандарта частоты и времени, приема ее на радиоцентре и «привязки» к ней частоты и фазы радиовещательного передатчика. На европейской части нашей страны эталонный сигнал можно услышать на частоте 66,(6) кГц. Он излучается из пос. Менделеево, что под Москвой. Для Сибири и Дальнего Востока работает эталонный передатчик на частоте 50 кГц в Иркутске.

Эталонные сигналы имеют относительную нестабильность частоты, не превосходящую  $10^{-12}$ , поэтому «уход», например, электронных часов, синхронизированных таким сигналом, составит менее секунды за десять тысяч лет. В качестве вторичных эталонов с успехом можно использовать и несущие частоты ДСВ радиостанций, работающих в синхронных сетях.

### 1.2.6. Радиовещание в московском регионе

В последние годы у нас в стране резко возросло число радиостанций, ведущих вещание в диапазонах ДСВ и на УКВ. В такой ситуации радиолюбителям и просто радиослушателям полезно знать, какие радиостанции принимаются в том или ином диапазоне. Как ни странно, в открытой печати эти сведения не слишком афишируют, а уж место расположения и мощность радиостанций легче узнать по зарубежным справочникам [52, 53]. Разумеется, каждый, кто имеет хороший радиоприемник, способен решить эту задачу сам.

Автор может лишь поделиться информацией, полученной при непосредственном прослушивании эфира, и случайными сведениями из различных источников (табл. 1.3). Конечно, к моменту выхода книги они могут и устареть, и несколько измениться. Тем не менее для московского региона они дают общее представление об обстановке в эфире.

Карта расположения московских УКВ передатчиков показана на рис. 1.14, цифрами на ней обозначены: 1 – Октябрьское поле (МРВС, ул. Демьяна Бедного, 24), 2 – Останкино (ГЦРТ, ул. Акад. Королева, 15), 3 – Шаболовка (ГЦРТ, ул. Шаболовка, 37), 4 – НИИР (ул. Казакова, 16), 5 – Балашиха (ГПР-1, радиоцентр, г. Балашиха).

Таблица 13 Радиостанции московского региона

	Частота	Название	Месторасположение	Мощность, кВт
<b>ДСВ, кГц</b>	153	«Юность»	–	–
	171	«Радио-1»	Ногинск	500
	198	«Маяк»	–	–
	261	«Радио России»	Талдом	2000
	549	«Маяк»	Чкаловская	100
	612	«Моя волна»	–	–
	693	«Немецкая волна»	–	–
	792	«Ракурс»	–	–
	810	«Медицина для вас»	–	–
	846	«Подмосковье»	–	–
	873	«Радио России»	–	–
	918	«Открытое радио»	Балашиха	–
	1152	«Орфей»	–	–
	1260	BBC (англ )	–	–
	1305	«Возрождение»	–	–
	1440	RFI (франц )	–	–
	1485	«Радио Центр»	–	–
	<b>УКВ, М</b>	66,44	«Радио России»	Останкино
66,86		«Радио Максимум»	Октябрьское поле	1
67,22		«Маяк»	Останкино	15
68,00		«Авторadio»	Останкино	1
68,84		«Юность»	Останкино	15
69,26		«Русское радио»	НИИР	5
69,80		«Европа +»	Останкино	5
70,19		«Ностальжи»	Балашиха	1
71,30		«М-радио»	Останкино	10
72,14		«Орфей»	Останкино	5
72,92		«Радио Ретро»	Останкино	5

Таблица 13 Радиостанции московского региона (окончание)

Частота		Название	Месторасположение	Мощность, кВт
УКВ, МГц	73,40	«На 7 холмах»	Октябрьское поле	1
	73,82	«Эхо Москвы»	Октябрьское поле	10
УКВ, МГц	90,3	«Автордио»	—	—
	91,2	«Эхо Москвы»	—	—
	91,4	«Говорит Москва»	—	—
	100,1	«Серебряный дождь»	Октябрьское поле	5
	100,5	«Ностальжи»	Балашиха	10
	101,2	«Радио-101»	Шаболовка	5
	101,7	«Наше радио»	Октябрьское поле	1
	102,1	«Радио Классика»	Балашиха	5
	102,5	«Открытое радио»	Балашиха	1
	103,0	«Радио Рокс»	Балашиха	10
	103,4	«Радио Спорт»	—	—
	103,7	«Радио Максимум»	Шаболовка	1
	104,2	«Радио Надежда»	Балашиха	1
	104,7	«На 7 холмах»	Октябрьское поле	1
УКВ, МГц	105,2	«Деловая волна»	НИИР	—
	105,7	«Русское радио»	НИИР	1
	106,2	«Европа +»	Шаболовка	10
	107,4	«Хит-FM»	Б Лубянка	10
	107,8	«Милицейская волна»	Балашиха	1,5

Для трех ДСВ радиостанций, расположение которых известно, на рис. 1.15–1.17 построены изолинии равной напряженности поля. Как видим, в Москве и значительной части Московской области эти станции создают большую напряженность поля порядка 100 мВ/м (0,1 В/м), которой, как мы увидим далее, вполне достаточно для громкоговорящего детекторного приема. В ряде мест Москвы напряженность поля УКВ передатчиков намного выше. На ул. Казакова, например, она достигает 7 В/м, в районах жилой застройки у Останкино и на

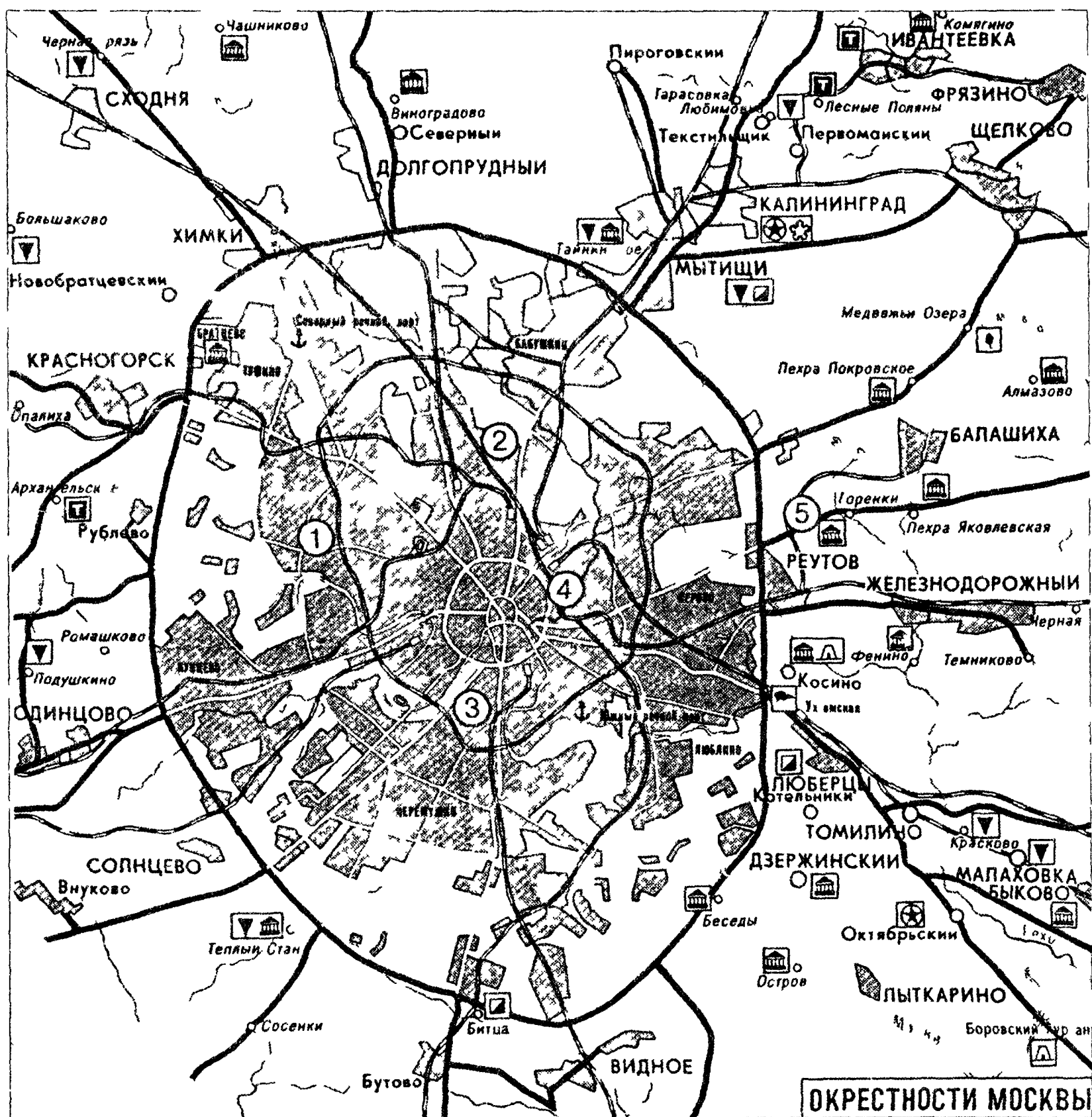


Рис 114 Расположение московских УКВ радиостанций

ВВЦ – 3–4 В/м Посмотрим теперь, как же далеко распространяются радиоволны

### 1.3. РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

Каждый раз, включая радиоприемник, мы словно надеемся на чудо, так же, как порою ждем чуда от почтового ящика – вдруг в нем что-то необыкновенное! Но такое случается редко. Тогда вы беретесь за ручку настройки и пускаетесь в путешествие по эфиру в поисках приключения, ведь какое же путешествие без приключений! Поверьте, что даже маленький и простенький приемник (неважно,

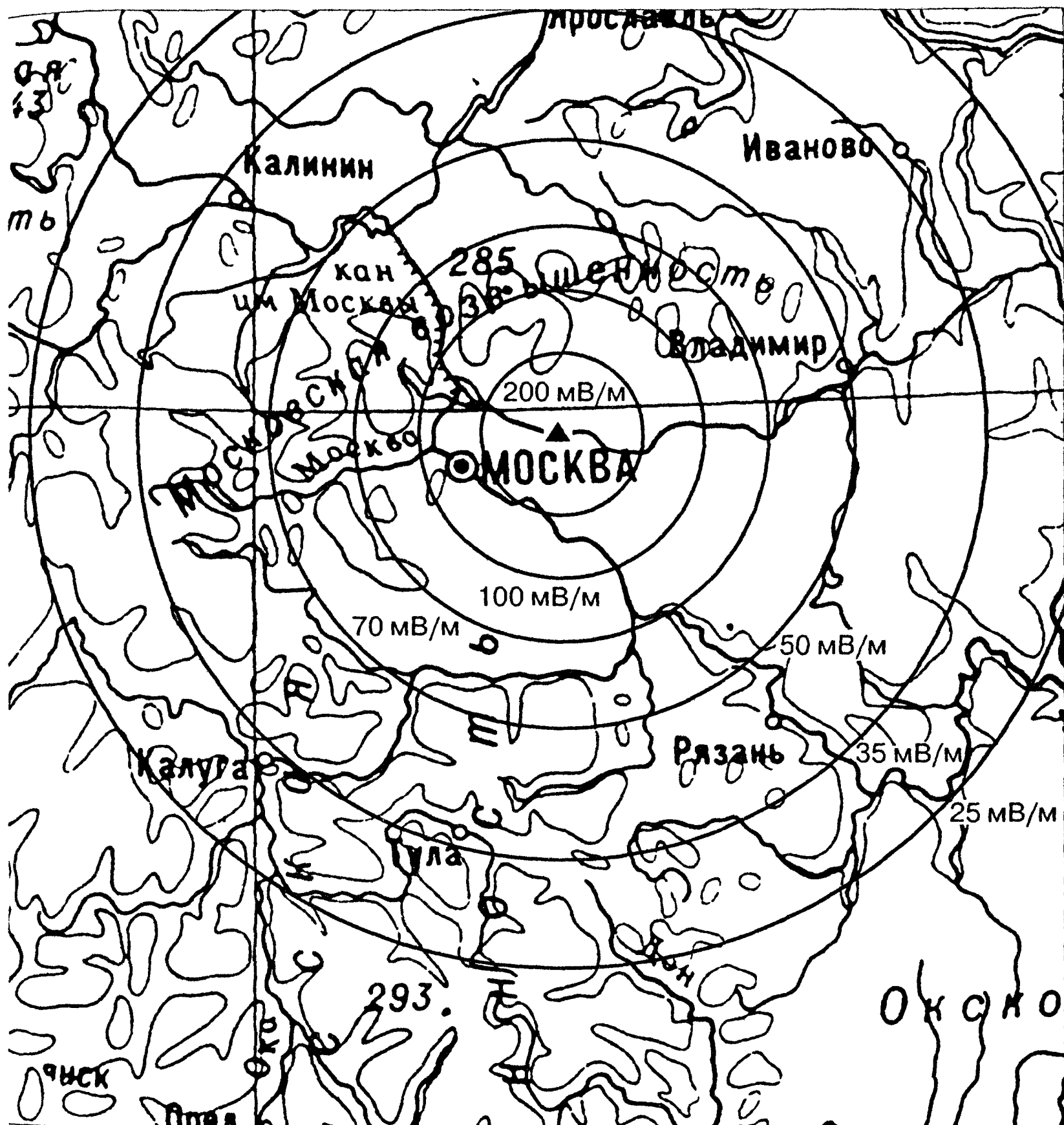


Рис 1 15 Карта поля ДВ радиостанции в Ногинске (500 кВт)

портативный, стационарный или автомобильный) может открыть ма-  
 нящий и таинственный мир странствий, интересных и совсем не опас-  
 ных, результатом которых будет расширение вашего кругозора

Однако не зная броду не суйся в воду отправившись в путь, вы  
 рискуете заблудиться в трех соснах сразу же за калиткой. Если будете  
 вращать ручку настройки в неурочное время в неподходящем диапазо-  
 не, так ничего и не услышите. Для обычного путешествия нужны кар-  
 та, компас (еще лучше – спутниковый карманный приемник-нави-  
 гатор, такие уже выпущены и почти доступны по цене), немного

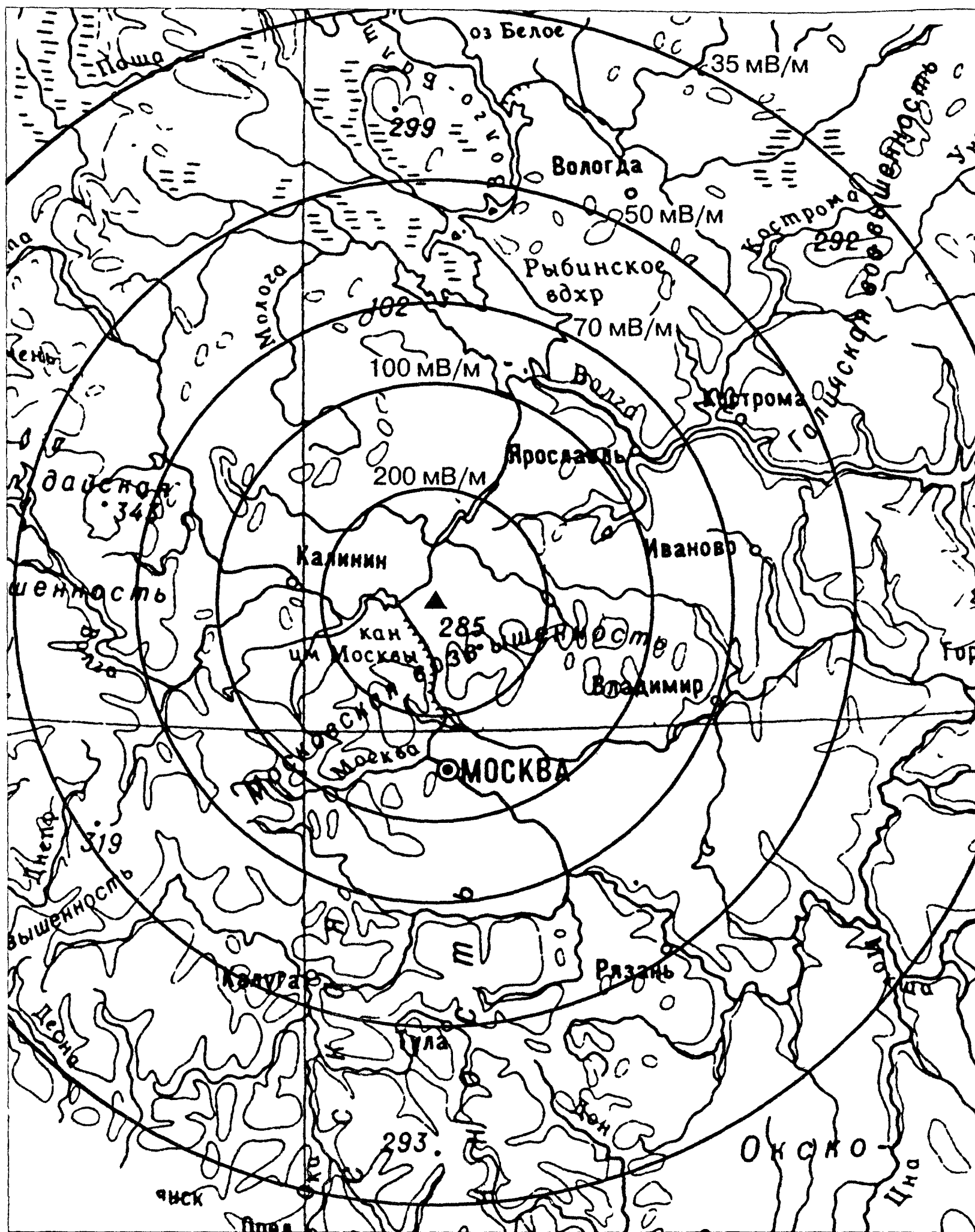


Рис 1 16 Карта поля ДВ радиостанции в Талдоме (2 МВт)

туристического снаряжения и элементарные навыки Для стран- ствий по эфиру нужно все то же самое: снаряжение (радиоприем- ник), карта и компас (справочник по радиостанциям мира), а так- же знания. Как бесполезно ночью искать иголку в стоге сена, так

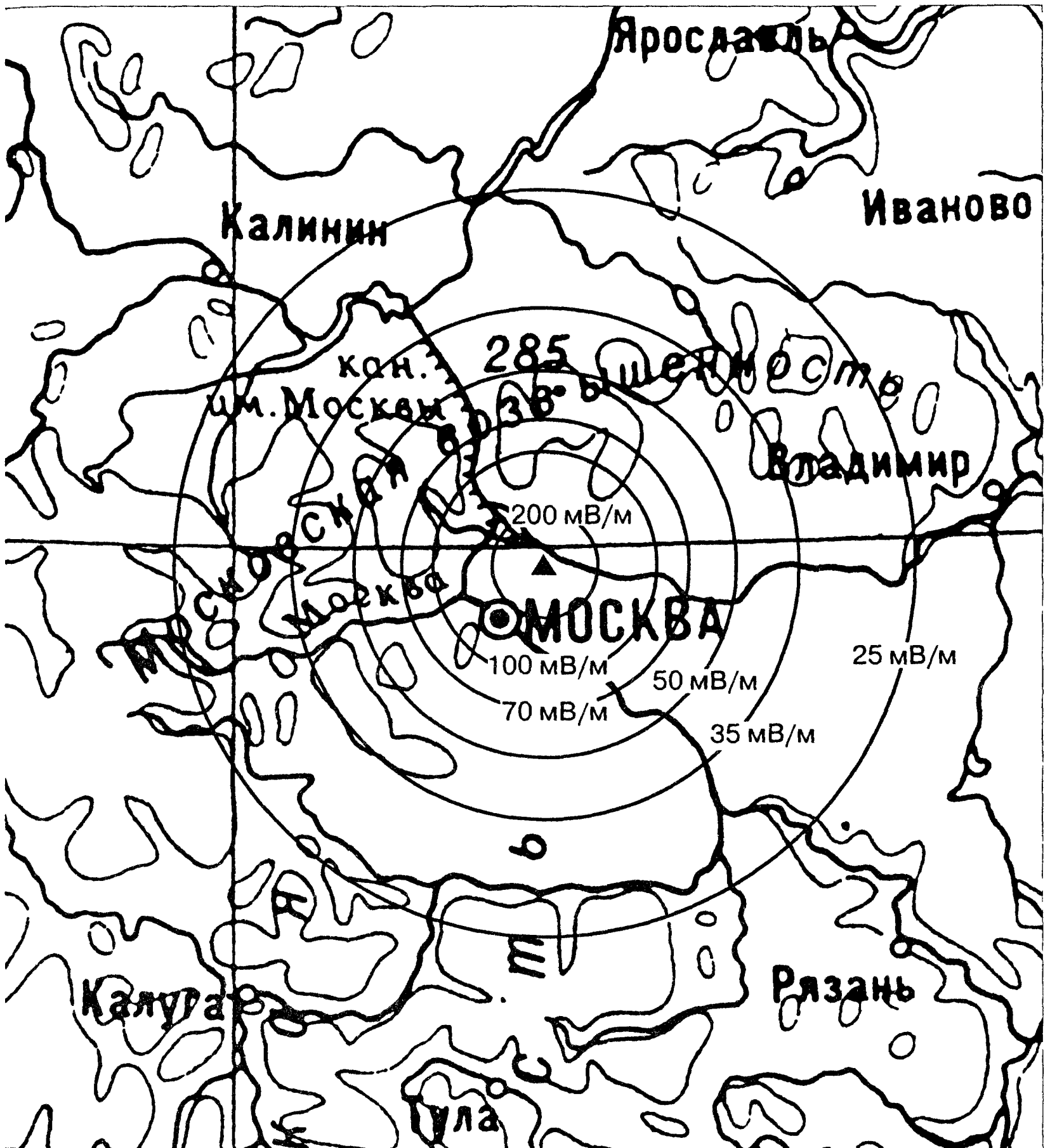


Рис 1 17 Карта поля СВ радиостанции в Чкаловской (100 кВт)

бесполезно днем, находясь в России, ловить американские радиостанции на средних волнах, хотя найти их можно, в отличие от иголки, и ночью, и днем. Итак, берясь за ручку настройки, полезно хотя бы немного знать о распространении радиоволн.

### 1.3.1. Распространение поверхностных волн

Радиоволны, также как и световые и другие электромагнитные волны, распространяются прямолинейно. Они стремятся к этому и на

Земле, но Земля-то, как справедливо заметили еще средневековые ученые, круглая, и дальше горизонта на ней ничего не видно! Какой же смелостью надо было обладать Колумбу, а затем Магеллану, чтобы экспериментально, собственным путешествием (а Магеллану и ценою жизни) доказать сферичность Земли! Трудно сравнивать с ними Гульельмо Маркони, поскольку рисковал он не жизнью, а деньгами. Но изрядной смелостью обладал и он, когда не прошло и десятилетия после первых успешных опытов Генриха Герца, Николы Тесла, Оливера Лоджа и Александра Попова по передаче и приему радиоволн, а Маркони уже поставил целью послать радиосигналы через Атлантический океан. Успех был достигнут, но его требовалось объяснить!

В те годы уже было экспериментально, методом проб и ошибок, установлено: чем длиннее волны, тем дальше они распространяются. Это поверхностные волны, не удаляющиеся от земли. Первую трансатлантическую связь провели на сверхдлинных волнах. Отсюда и гигантские антенны, ведь длина волны первых примитивных радиопередатчиков прямо зависела от размеров антенны. Кроме того, чтобы антенна эффективно излучала, ее длина должна составлять хотя бы около  $1/4-1/8$  длины волны. Тогда же было предложено объяснить зависимость дальности распространения от длины волны явлением дифракции.

Упрощенно говоря, дифракция радиоволн – это огибание волной препятствия, а препятствием является высота шарового сегмента Земли, разделяющего приемную и передающую радиостанции (рис. 1.18). Препятствие огибают только такие волны, длина которых сравнима с размером препятствия. От Санкт-Петербурга до Москвы, как известно, 600 км. Несложный геометрический расчет дает высоту

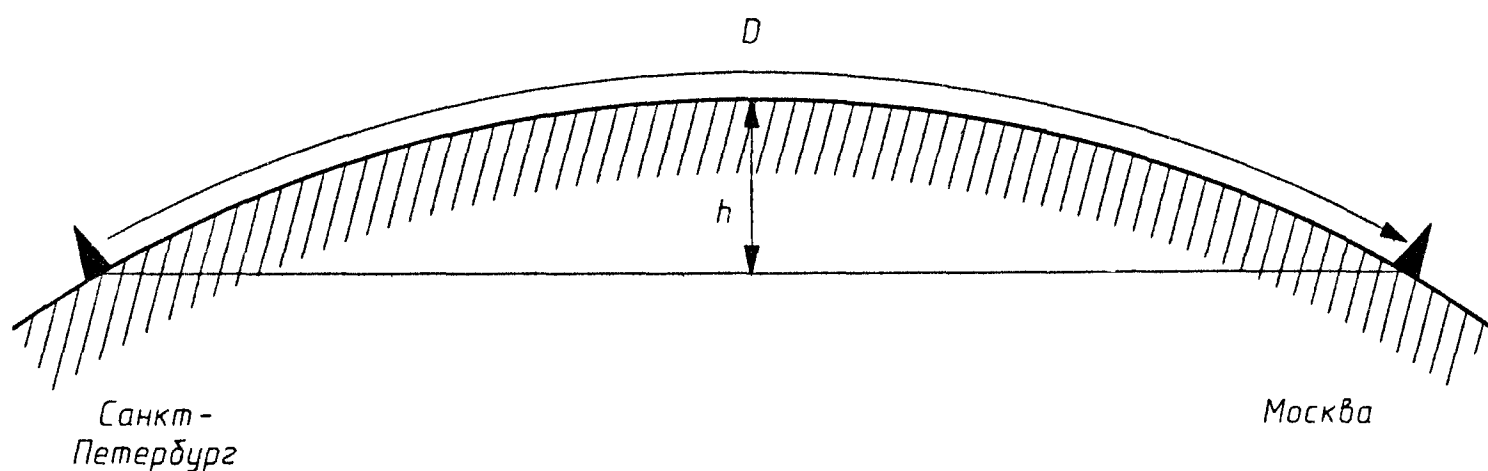


Рис 1 18 Дифракция радиоволн

шарового сегмента  $h$  около 7 км, следовательно, длинные, километровые волны распространяются на такие расстояния, а метровые или декаметровые – нет. Дифракцией можно объяснить распространение волн на 600 км, но как быть с распространением через Атлантику? Обнаружили и другое явление, требовавшее объяснения.

Радиостанций становилось все больше, и они стали создавать помехи друг другу. Здесь, забегаая вперед, надо заметить, что при передаче информационных сигналов, в том числе и радиовещательной программы, станция занимает в эфире не одну частоту, а целую полосу частот, шириной до 20 кГц. В справочниках указывают центральную частоту этой полосы, называемую несущей частотой, или просто несущей. Именно эту частоту и генерирует высокочастотный, или, как его называют, задающий генератор передатчика. Затем его колебания усиливаются и модулируются колебаниями звуковых частот.

Договорились установить разнос частот ДСВ радиостанций в 9 кГц – это соглашение соблюдается и поныне. Теперь легко сосчитать, что на длинных волнах, в участке, отведенном для радиовещания (от 150 до 285 кГц), можно разместить всего полтора десятка радиостанций. Стали строить средневолновые радиостанции – в этом диапазоне около 120 частотных каналов, но и дальность распространения меньше, поскольку длина волны короче (вспомните про дифракцию). Поэтому один и тот же частотный канал стали отводить нескольким, достаточно удаленным друг от друга радиостанциям. В дневное время они не создавали помех друг другу. Иное дело ночью – дальность распространения длинных и средних волн намного возрастала, и становились слышны радиостанции, удаленные на несколько тысяч километров. Резко возрастали и взаимные помехи. Отчего?

Ученые уже имели рабочую гипотезу. Ее высказали в 1902 г. независимо друг от друга А. Кеннели и О. Хевисайд. Оливер Хевисайд, чрезвычайно много сделавший для развития электро- и радиотехники, был чудаковатым английским джентльменом – чопорным и безукоризненно одетым, когда появлялся на людях (чего он, впрочем, не любил, зато любил работать по ночам, в жарко натопленной комнате с плотно занавешенными окнами). Ходит легенда, что, когда его избрали действительным членом Королевского Общества и пригласили на торжественную церемонию (черные мантии, головные уборы с четырехугольным верхом), он не нашел гиней – а такой

символический взнос надо было уплатить – и просто не пошел на заседание! К чести Общества надо сказать, что Хевисайд все-таки был избран не действительным, но почетным членом; при этом не потребовалось ни его присутствия, ни гиней. Так в чем же состояла гипотеза? Сначала небольшое отступление.

### 1.3.2. Пространственные волны

Пока шла война за распределение частот на длинных и средних волнах, короткими никто не интересовался: они считались просто непригодными для дальней связи и за ненужностью были отданы радиолюбителям. А такие уже были в начале 20-х гг., ведь и радиосвязь, и наблюдение за сигналами станций – это очень интересно! От коротковолновиков стали поступать сенсационные сообщения: с помощью простейших передатчиков мощностью в несколько ватт и примитивных приемников устанавливались связи на десятки тысяч километров!

Такой феномен уже совсем нельзя объяснить дифракцией. Тут-то и вспомнили гипотезу Кеннели–Хевисайда: верхние слои атмосферы должны быть ионизированы солнечным излучением. Ионизированный газ (ионосфера) содержит много свободных электронов и может проводить электрический ток, а значит, должен отражать радиоволны. Скорые на подъем американцы построили импульсный передатчик, и в 1924 г. инженеры Брейт и Тьюв получили отражение от ионосферы при вертикальном зондировании и измерили время запаздывания отраженного импульса, а по нему вычислили высоту отражающего слоя.

Ионосфера долгое время называлась слоем Хевисайда. Позднее Эпплтон, анализируя отраженные сигналы, обнаружил, что отражающих слоев несколько. Ему же мы обязаны и названиями слоев. В своих расчетах он обозначил вектор напряженности электрического поля, как это обычно и делается, буквой E. Когда же понадобилось обозначить поле другого отражения, он выбрал следующую букву алфавита – F. Убедившись, что отражения идут от разных слоев, он решил, что и названия им готовы – E и F, при этом имея в виду, что в дальнейшем могут быть открыты и другие слои, для которых пригодятся и предыдущие, и последующие буквы алфавита.

Это предвидение вполне оправдалось. Теперь известно, что в летний полдень можно наблюдать по крайней мере четыре четко различимых слоя. Самый нижний D, находящийся на высоте около

70 км, существует только днем. Слой E на высоте 90–120 км существует круглосуточно, лишь ночью в нем уменьшается электронная концентрация (Солнце-то, причина ионизации, не светит!) и увеличивается высота. То же, но в меньшей степени, происходит и со слоем F, но он расположен значительно выше – 200–250 км. Днем он распадается на два слоя – F1 и F2.

Ионизированные слои ионосферы отражают далеко не все радиоволны. Чем ниже частота, тем сильнее поглощение радиоволн в ионосфере, оно пропорционально  $1/f^2$  и может быть столь значительным, что отраженный сигнал вообще не удастся обнаружить. Значит, чем выше частота (короче длина волны), тем отражение лучше? Именно по этой причине радиолюбителям удавались и удаются сверхдальние радиосвязи на КВ. Но до определенного предела! Для каждого слоя существует критическая частота  $f_{кр}$ , до которой он отражает вертикально посланные радиоволны (рис. 1.19).

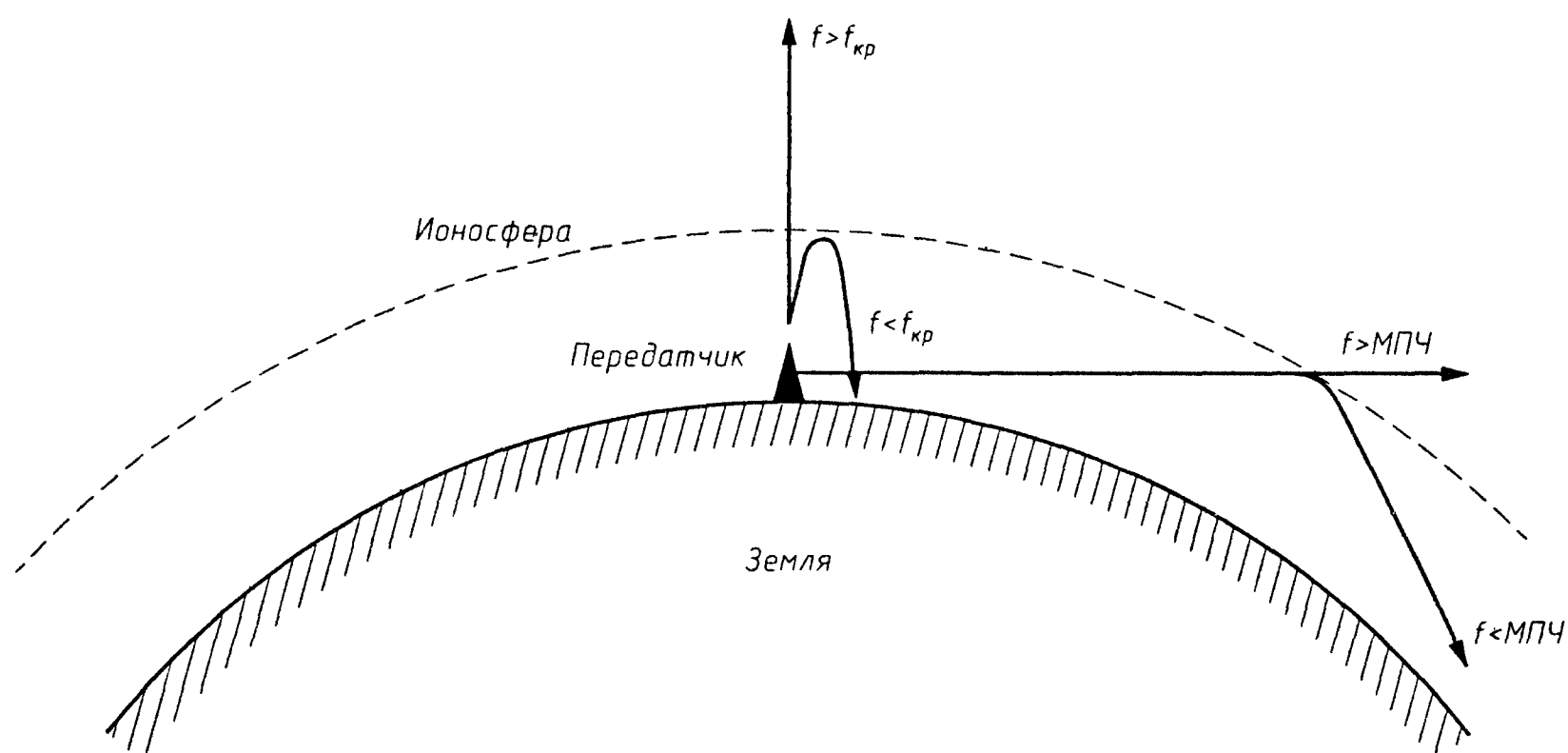


Рис 1 19 Отражение радиоволн от ионосферы

При пологом падении волны на слой отражаются волны и с большими частотами, но опять же до некоторого предела. Если радиопередатчик посылает волну касательно к поверхности Земли, то есть к горизонту, то можно определить МПЧ – максимально применимую частоту, выше которой ионизированный слой становится прозрачным, перестает отражать, и радиоволны беспрепятственно уходят в космос.

Ультракороткие волны, например, ионосферой не отражаются: их частоты лежат выше МПЧ. Поэтому-то на УКВ московские радиостанции (любимой многими FM) слышны только в самой Москве и области, да и то далеко не всей. УКВ распространяются только в пределах прямой видимости, ну и еще совсем чуть-чуть за горизонт. Чтобы расширить зону действия УКВ радиостанций, их антенны помещают на высоченных мачтах (вспомните Останкинскую). Телецентры вещают тоже на УКВ, и для них все это так же верно.

МПЧ сильно зависит от времени суток, времени года и солнечной активности. В период «возмущенного» состояния Солнца с его поверхности извергаются потоки заряженных частиц, возрастает и поток ультрафиолетового излучения. На эти вспышки реагирует все живое на Земле: изменяется биологическая активность клеток, наблюдаются обострения заболеваний, вспышки эпидемий, активизируются общественные процессы (войны, революции и т.д.). Открыл эту взаимосвязь наш соотечественник – профессор Л. А. Чижевский. Не зря же медики говорят, что во время вспышек на Солнце загорать вредно. Увеличение солнечной активности приводит к возрастанию концентрации электронов в ионосфере Земли и к повышению МПЧ.

Максимумы солнечной активности соответствуют 11-летнему циклу – последний был в 1992 г., а следующий попадает на 2003-й. Любопытно, что во время сильного максимума 1958–59 гг. МПЧ иногда достигала частот первого телевизионного канала – и у нас в Подмосковье видели (и сфотографировали) изображения, передаваемые итальянскими телецентрами, а в Голландии чуть было не поднялась паника, когда с экранов телевизоров картинка местного телецентра вдруг была вытеснена изображением Кремля! Но такие случаи редки и длятся обычно недолго. Гораздо чаще МПЧ «гуляет» где-то в середине коротковолнового диапазона, сильно понижаясь ночью и зимой и возрастая в летние дни.

Итак, мы подошли к выводу: дальние радиостанции лучше всего слушать на частотах, несколько ниже МПЧ, когда отражение от ионосферы есть, а поглощение минимально. Каждый слой ионосферы имеет свое значение МПЧ, для слоя D, например, оно не превосходит 100–150 кГц, поэтому данный слой хорошо отражает только сверхдлинные волны. Вот, оказывается, чем объясняется успех трансатлантической связи Маркони и Флеминга!

Слой E хорошо отражает радиоволны с частотами до нескольких мегагерц, так что длинные и средние волны могли бы от него

отражаться. Они это и делают, но только ночью. Поэтому ночью так много дальних станций в СВ диапазоне. У нас слышно практически всю Европу. Дальность распространения СВ «одним скачком» определяется радиусом Земли и высотой слоя E (около 120 км), она составляет 2,5–3 тыс. км. А днем волне, чтобы отразиться от слоя E и вернуться снова на землю, надо дважды пройти через слой D, при этом она сильно поглощается и к радиослушателю практически ничего уже не приходит. Поэтому на СВ днем слышны только местные станции.

Короткие волны отражаются преимущественно слоем F, хотя возможны отражения и от более густых «облаков» ионизированного газа в слое E. Их называют спорадическим слоем E, или E<sub>s</sub>. Слой F значительно выше, и дальность распространения одним скачком достигает 5000 км. Но бывает распространение и несколькими скачками, когда радиоволна несколько раз переотражается поверхностью Земли и ионосферой. Более того, встречаются и рикошетирующие отражения, когда волна несколько раз переотражается ионосферой и лишь потом возвращается к Земле на очень большом расстоянии от передатчика.

На коротких волнах удавались радиосвязи и с антиподами, и часто слышали «кругосветное эхо», когда к передатчику приходит его собственный сигнал, обойдя вокруг Земли. Легко сосчитать время задержки эха, зная длину окружности Земли и скорость распространения радиоволн: оно составляет около 1/8 с. Неоднократно, начиная с 20-х гг., регистрировалось и эхо со значительно большей задержкой, доходящей до десятков секунд и даже минут! Его назвали LDE (Long delay echo) – эхо с большой задержкой. Сейчас его обнаружить значительно труднее: КВ эфир перенаселен всевозможными радиостанциями, да и уровень индустриальных помех все растет. Никакого вразумительного объяснения LDE наука пока не предложила.

Чтобы отразиться от слоя F, у которого МПЧ выше, волне надо дважды пройти сквозь слой E, а днем еще и через слой D, и при этом неизбежно поглощение. Оно тем больше, чем ниже частота и чем длиннее волна, поэтому, кроме максимально применимой частоты (МПЧ), иногда вводят еще и термин «наинизшая применимая частота», или НПЧ, для обозначения частоты, ниже которой дальнейшее распространение радиоволн уже практически невозможно из-за поглощения. Таким образом, для дальнего радиоприема годятся не все короткие

волны, а лишь определенный диапазон между НПЧ и МПЧ; чем частота ближе к МПЧ, тем дальше и с меньшими потерями распространяются радиоволны.

### 1.3.3. Что и когда слышно?

На длинных волнах, имея приемник с хорошей чувствительностью и селективностью, в любое время суток у вас есть шанс услышать радиостанции, удаленные на тысячу-другую километров. Ночью он значительно увеличивается и дальность приема возрастает. В Москве, например, днем вы имеете возможность послушать, кроме мощных московских станций, еще и Киев, Санкт-Петербург и Самару. Ночью же проходят с приличной громкостью Бухарест, Варшава, а попозже и Лондон.

На средних волнах примерно то же самое, но в несколько меньших масштабах. Днем земной волной, за счет дифракции, проходят станции, удаленные на несколько сотен километров. А поскольку мощные средневолновые радиостанции располагаются, как правило, на больших расстояниях, то становится проблематичным принять из одного места и Москву, и Санкт-Петербург, и Киев. Хорошо тем, кто путешествует в автомобиле. Они могут наблюдать, как по мере удаления ослабевает сигнал радиостанции того города, где они уже побывали. Зато появляются сигналы местных станций именно из тех мест, куда они едут!

Ночью средневолновый диапазон оживает. Собственно, уже с раннего вечера начинают появляться сигналы дальних станций. Сначала слабо – прием затрудняют замирания, или фединги (периодические изменения силы сигнала), и шумы, – а ближе к ночи все громче и яснее. Фединги особенно сильны в зоне, куда одновременно приходят поверхностная и ионосферная волны, интерферирующие друг с другом. Для их ослабления и применяются антифединговые антенны, уменьшающие уровень ионосферной волны на границе зоны действия поверхностной волны.

Поздним вечером на средних волнах гремит уже вся Европа: станций масса, порой они создают помехи друг другу, а иногда на одной частоте слышно несколько станций. К утру прохождение заканчивается, эфир пустеет, и днем снова проходят только местные радиостанции. Так и живет он своей жизнью, отличающейся от нашей, но с теми же ритмами.

Рассказ о радиоволнах был бы неполным без упоминания о помехах. Они существовали всегда – проблема только в том, чтобы их

уровень был намного ниже уровня принимаемого радиовещательного сигнала, тогда помехи будут незаметны. Качество радиоприема характеризуется отношением сигнал/шум или сигнал/помеха на выходе радиоприемника. Чем выше отношение сигнал/шум, тем лучше прием.

По происхождению все помехи делят на естественные и искусственные, по характеру – на «гладкие» и импульсные. К естественным относится тепловое излучение Земли и атмосферы: оно относительно невелико и носит характер ровного монотонного шума, очень похожего на шум дождя или горящего примуса. Точно такой же характер имеет и собственный шум входных каскадов радиоприемника. Тепловые шумы регистрируются только очень чувствительными приемниками с большим усилением и в основном на УКВ, где они часто оказываются преобладающими.

На ДСВ больше мешают атмосферные шумы нетеплового происхождения. Они создаются электрическими разрядами. Самые сильные разряды – это молнии, почти мгновенно образующие канал ионизированного газа (проводника), по которому текут токи в тысячи ампер (тут вам и антенна и радиопередатчик). На небольших расстояниях помеха от электрического разряда носит импульсный характер, проявляющийся в радиоприемнике в виде короткого щелчка или сухого треска.

Однако при сильной электризации атмосферы могут наблюдаться «тихие» и «коронные» разряды, создающие сплошной шум или шипение. Помехи, так же как и сигналы радиостанций, могут распространяться на огромные расстояния. Импульсы помех при этом размываются, из щелчков превращаясь в шум, свист переменного тона (так называемые «свистящие атмосферерики»), гудение, вой и т.п. Дальние помехи, уже неразличимые по происхождению, приходят в основном из тропических районов с сильной грозовой деятельностью (одновременно на Земле бушует несколько сотен гроз), от обширных атмосферных фронтов, циклонов и т.д.

Уровень атмосферных помех уменьшается с повышением частоты. На ДСВ напряженность поля помех ночью (при хорошем дальнем прохождении) имеет порядок 50 мкВ/м, значительно уменьшаясь днем. Если напряженность поля принимаемой радиостанции составляет, скажем, 50 мВ/м, то отношение сигнал/шум составит 1000, или 60 дБ, что соответствует отличному качеству радиовещания.

Бичом ДСВ оказались теперь не естественные, а искусственные, бытовые и промышленные помехи. Каждый выключатель, каждый

ненадежный и искрящий контакт в электропроводке, каждый коллекторный электрод генерируют серии затухающих колебаний с широчайшим спектром частот от ДВ до УКВ, а провода сети служат отличной антенной. Телевизоры и мониторы компьютеров содержат генераторы строчной развертки, являющиеся по сути импульсными радиопередатчиками мощностью порядка 50 Вт с широчайшим спектром излучения. Включите вечером в городе обычный приемник на ДВ или СВ – кроме треска и помех, ничего не слышно!

Уровень промышленных помех зависит от местных условий. Иногда одна опора высоковольтной ЛЭП с плохими изоляторами может создать в вашем приемнике больше помех, чем все грозы земного шара! Надо сказать правду: часто новые диапазоны волн (УКВ, ДМВ, СВЧ) осваиваются не столько потому, что они чем-то лучше, сколько из-за того, что старые (ДСВ) сами же якобы цивилизованные люди полностью «замусорили» помехами. В отношении помехоустойчивости самодельные приемники с низкой чувствительностью (детекторные с наружной антенной, вынесенной из зоны действия помех, прямого усиления и т.д.) оказываются гораздо лучше современных высокочувствительных фабричных.

## **1.4. ПРИНЦИПЫ РАДИОПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА**

Мы уже поговорили об электромагнитных волнах, знаем, как они распространяются и излучаются с помощью антенн. Но как передать посредством радиоволн человеческую речь или музыку? Для этого надо сначала уточнить, что представляют собой звуки. Это тоже колебания, но не электромагнитные, а акустические, то есть колебания давления воздуха, распространяющиеся в виде волн. Для их существования обязательно нужна какая-либо среда. Скорость звуковых волн неизмеримо меньше, чем электромагнитных, в воздухе она составляет всего 330 м/с, поэтому мы слышим раскат грома, например, значительно позже, чем сверкнула молния.

### **1.4.1. Звуковые колебания**

Для передачи по радио звуковые колебания надо превратить в электрические – это делает микрофон. Простейший микрофон из телефонной трубки – угольный – изменяет свое сопротивление под действием звукового давления на мембрану. Если его включить последовательно с батареей и нагрузкой, резистором или линией, то напряжение и ток в нагрузке будут изменяться в такт со звуковым давлением. Угольный микрофон создает довольно мощные электрические звуковые

колебания, в этом его достоинство, но качество получается невысоким. Более совершенные микрофоны используют закон электромагнитной индукции (динамические) или пьезоэффект (кристаллические, электретные).

Амплитуда колебаний соответствует громкости звука, а частота — высоте тона. Лишь некоторые звуки дают близкие к синусоидальным колебания (например, свист, чистая музыкальная нота). Большинство же звуков дают сложные колебания, которые тем не менее можно представить в виде суммы более простых, синусоидальных колебаний, но с разными частотами. Тогда говорят о спектре колебания. Спектр человеческого голоса содержит частоты от примерно 300 Гц до 3–4 кГц. Для хорошего воспроизведения музыки нужен спектр звуковых частот от 50 Гц до 10–12 кГц. Вообще же человеческое ухо способно слышать в диапазоне от 16 Гц до 16 кГц, и чем ближе к этим значениям границы полосы частот всего тракта передачи, тем естественнее звучание.

Очень интересно присоединить микрофон ко входу электронного осциллографа и понаблюдать за осциллограммами произносимых звуков. Сделайте это, если представится возможность. Посмотрите также звуковой сигнал из трансляционной сети или на выходе радиоприемника, магнитофона, плеера. Вы увидите, что звуковые колебания чаще всего далеки от синусоидальных и носят импульсный, взрывной характер, когда отдельные всплески сигнала перемежаются продолжительными периодами колебаний с малой амплитудой и паузами (рис. 1.20).

Пик-фактор, или отношение максимальной амплитуды к средней, даже для достаточно искаженного (ограниченного по амплитуде) сигнала в телефонной трубке составляет не менее трех, а для неискаженного музыкального сигнала достигает десятков и даже сотен. Поскольку тракт радиопередачи надо рассчитывать на максимальный сигнал, ограничение его амплитуды перед передачей в той или иной степени используют почти всегда.

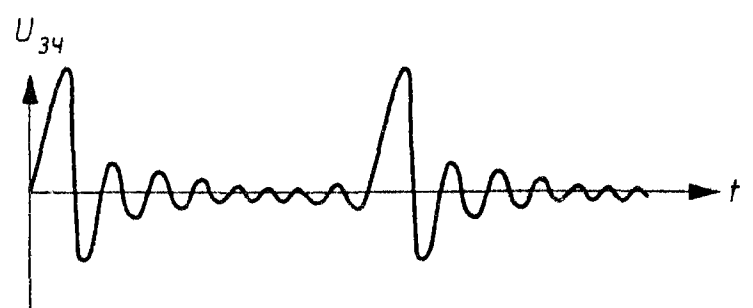


Рис 1.20 Типичная осциллограмма реального звукового сигнала

Электрические колебания можно усиливать, ведь усилители не изменяют ни форму, ни спектральный состав колебаний, увеличивая

лишь их амплитуду или мощность. Они так и называются – усилители звуковых частот (УЗЧ). Звуковые колебания передаются по проводам (вспомните трансляционные линии и абонентские громкоговорители, которыми еще многие пользуются), записываются на магнитную ленту, грампластинку или компакт-диск, но их нельзя передать в эфир в виде радиоволн: волны получились бы чрезвычайно длинными и создание антенн для них практически нереально.

### 1.4.2. Амплитудная модуляция

Для передачи звука в эфир необходимо высокочастотное несущее колебание, или просто несущая, на которую с помощью процесса модуляции накладываются звуковые, низкочастотные колебания. Несущая вырабатывается задающим генератором, работающим на отведенной для радиостанции частоте (рис. 1.21) и имеющим очень высокую стабильность. Его синусоидальные колебания 1 поступают на модулятор, где взаимодействуют со звуковыми колебаниями 2, образуя модулированный сигнал 3. Последний подается на усилитель мощности, а с его выхода – на антенну радиостанции. Очень часто амплитудную модуляцию (АМ) осуществляют непосредственно в усилителе мощности, изменяя напряжение питания в такт со звуковыми колебаниями.

Очевидно, что при отрицательной полуволне звукового напряжения амплитуда может упасть только до нуля, а при положительной полуволне – возрасти не более чем в два раза (иначе будет перемодуляция и искажения). Это соответствует коэффициенту модуляции (отношению амплитуды колебаний звуковой частоты к амплитуде несущей)  $m = 1$ . Такая ситуация возможна только на пиках звукового сигнала, в среднем же модуляция получается мелкой, а  $m \ll 1$ . При испытаниях, контроле и настройке передатчиков с помощью синусоидального звукового сигнала устанавливают  $m = 0,3$ .

Разберем теперь спектры сигналов при амплитудной модуляции. Говорят, что радиостанция работает на какой-то определенной частоте, например 549 кГц («Маяк» в диапазоне СВ). Но только ли одну эту частоту занимает сигнал радиостанции? Оказывается, нет. Радиостанция занимает некоторую полосу частот вокруг указываемой в справочниках и волновых расписаниях. Для более подробного рассмотрения данного вопроса допустим, что модуляция производится чистым тоном, то есть звуковым сигналом с одной единственной частотой  $F$ .

В этом разделе нам удобнее будет пользоваться не циклическими частотами  $f$  и  $F$ , соответствующими числу колебаний в секунду,

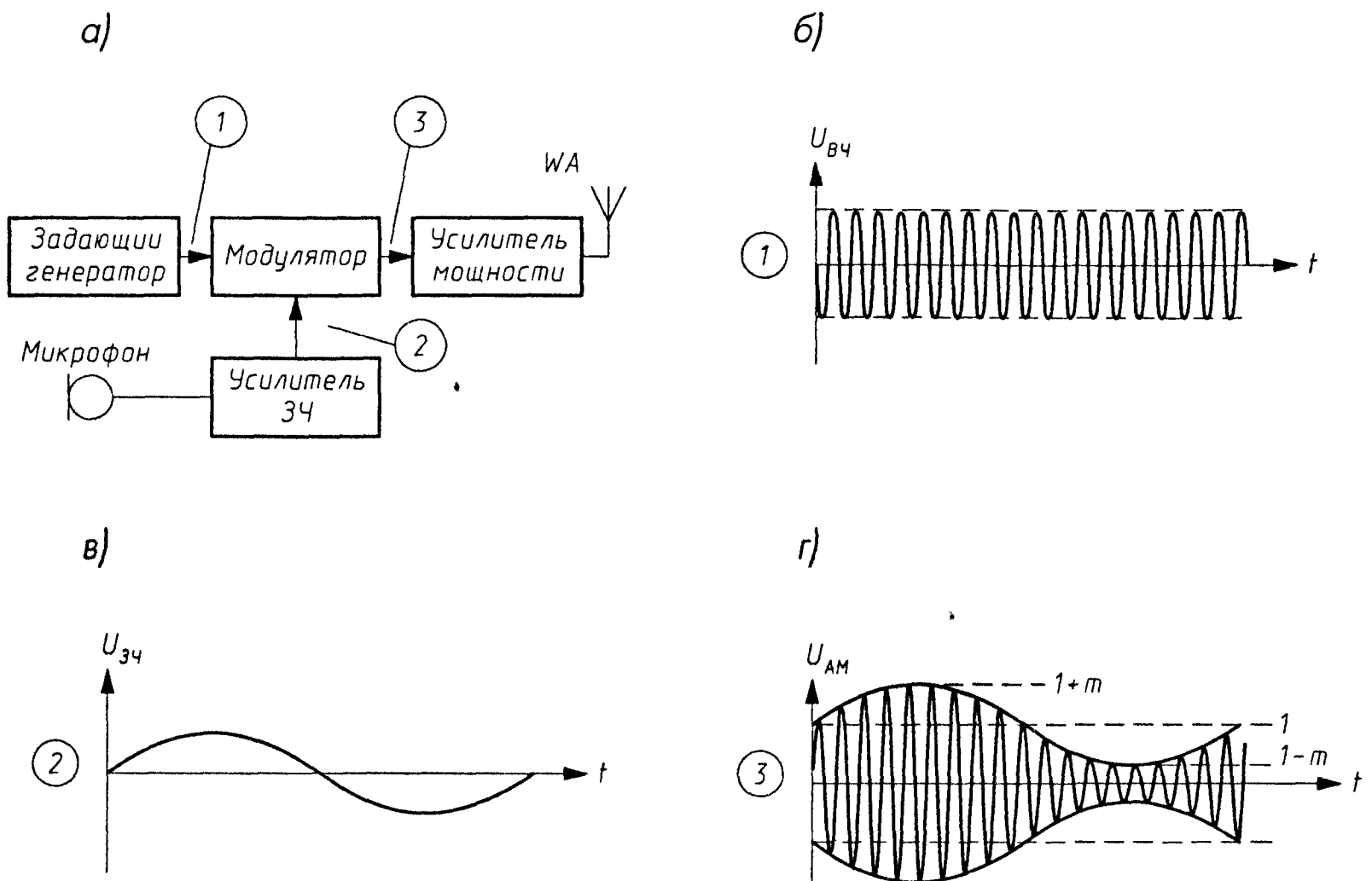


Рис. 1.21. Амплитудная модуляция: а – структурная схема передатчика, б – колебания несущей, в – колебания звуковых частот, г – модулированные колебания

а угловыми частотами  $\omega$  и  $\Omega$ , связанными с циклическими простыми соотношениями:  $\omega = 2\pi f$  и  $\Omega = 2\pi F$ . Модулированный АМ сигнал записывается в виде:  $s(t) = (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega t$ , где  $m$  – коэффициент модуляции,  $m < 1$ . Это выражение в точности описывает форму сигнала 3 на рис. 1.21. Но его можно представить и в другой форме, раскрыв скобки и воспользовавшись известными тригонометрическими формулами для произведения двух косинусов:

$$s(t) = \cos \omega t + (m/2) \cos (\omega + \Omega) t + (m/2) \cos (\omega - \Omega) t.$$

Теперь мы видим, что излучается не один сигнал, а целых три, в соответствии с тремя слагаемыми этого выражения.

Спектральная диаграмма излучаемого сигнала показана на рис. 1.22. Слева на ней в виде вертикальной линии показана звуковая частота  $F$ , в середине – несущая частота  $f_0$ , соответствующая первому слагаемому, а по бокам от нее еще две частоты, соответствующие остальным слагаемым, на частотах  $f_0 + F$  и  $f_0 - F$ . Их так и называют: боковые частоты, верхняя и нижняя. Боковых частот нет в отсутствии модуляции, когда  $m = 0$ , но они возрастают до половины уровня несущей (который для простоты рассуждений принят единичным) при полной модуляции,

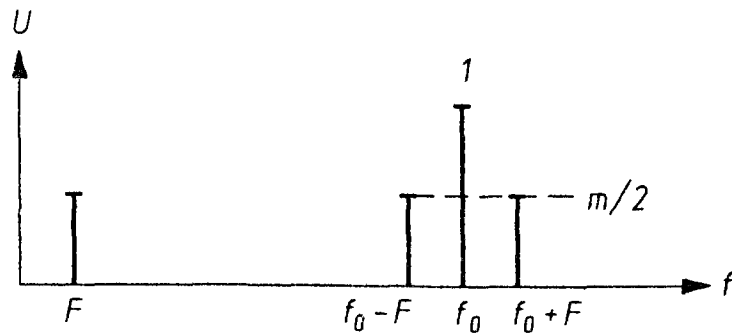


Рис. 1.22. Спектр АМ сигнала при модуляции чистым тоном

когда  $m = 1$ . Мощность же каждой из боковых частот пропорциональна квадрату их амплитуды и изменяется при возрастании коэффициента модуляции от нуля до четверти от мощности несущей.

Что же получится, если модулировать несущую не чистым тоном, а некоторым спектром звуковых частот, соответствующим речи или музыке? Каждый компонент звукового спектра образует свою пару боковых частот, и получается сложный спектр модулированного сигнала, содержащий несущую, верхнюю и нижнюю боковые полосы, как показано на рис. 1.23. Верхняя боковая полоса (ВБП) в точности соответствует спектру звуковых частот (ЗЧ), но смещена по оси частот вверх на интервал, соответствующий значению несущей. Нижняя боковая полоса (НБП) также точно отображает спектр звуковых частот, но инвертирована, то есть зеркально отражает верхнюю боковую полосу относительно несущей. По-прежнему боковые полосы исчезают при отсутствии модуляции и их суммарная мощность возрастает до половины мощности несущей на пиках модуляции.

Теперь мы, наконец, можем с определенностью ответить на вопрос о том, какую полосу частот занимает сигнал радиостанции. В справочниках указывают частоту несущей  $f_0$ , расположенной в середине спектра АМ сигнала, а полная ширина полосы сигнала соответствует удвоенной верхней модулирующей частоте  $F_B$ . В соответствии с отечественными ГОСТ верхняя модулирующая частота принята равной 10 кГц, следовательно ширина спектра частот сигнала радиостанции составляет 20 кГц.

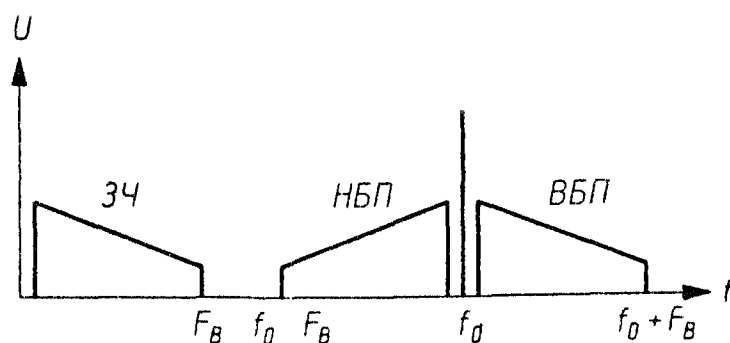


Рис. 1.23. Спектр АМ сигнала при модуляции реальным звуковым сигналом

### 1.4.3. Частотная модуляция

АМ используют только в диапазонах ДСКВ. На УКВ применяется другой вид – частотная модуляция, или ЧМ. То же в иностранной литературе и в названиях импортных приемников обозначается как FM (Frequency Modulation). При ЧМ в такт со звуковым сигналом изменяется частота излучаемых колебаний, а амплитуда их остается неизменной, как показано на рис. 1.24. Девиация, или максимальное отклонение частоты при модуляции,  $\Delta f$  установлена равной 50 кГц стандартом OIRT, по которому работают станции нижнего радиовещательного диапазона УКВ-1, и 75 кГц – стандартом CCIR для верхнего диапазона УКВ-2. Полоса модулирующих звуковых частот составляет 30 Гц – 15 кГц.

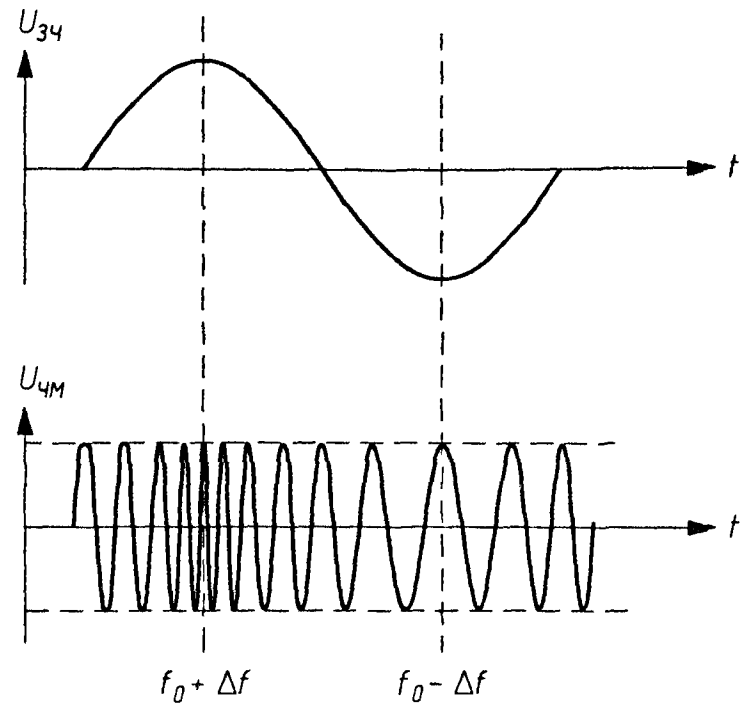


Рис 1.24 Частотная модуляция

Использовать ЧМ для радиовещания предложил известный американский радиоинженер, изобретатель и радиолобитель-коротковолновик Эдвин Армстронг еще в 30-х гг. (не путать с другой «сильной рукой» – знаменитым джазовым певцом и трубачом Луи Армстронгом). Опытные передачи на УКВ начались в Нью-Йорке в 1939 г., антенны передатчика были установлены на крыше самого высокого тогда сооружения – небоскреба «Эмпайр Стейт Билдинг». В нашей стране радиовещание на УКВ стало развиваться с 50-х гг. для обеспечения населения крупных городов высококачественными программами.

Использовать ЧМ для радиовещания предложил известный американский радиоинженер, изобретатель и радиолобитель-коротковолновик Эдвин Армстронг еще в 30-х гг. (не путать с другой «сильной рукой» – знаменитым джазовым певцом и трубачом Луи Армстронгом). Опытные передачи на УКВ начались в Нью-Йорке в 1939 г., антенны передатчика были установлены на крыше самого высокого тогда сооружения – небоскреба «Эмпайр Стейт Билдинг». В нашей стране радиовещание на УКВ стало развиваться с 50-х гг. для обеспечения населения крупных городов высококачественными программами.

Спектр сигнала при ЧМ очень широк, его полосу оценивают как  $2(\Delta f + F_B)$ , что составляет 130–180 кГц. При модуляции чистым тоном с частотой  $F$  спектр радиосигнала содержит массу боковых частот  $f_0 \pm nF_B$ , где  $n = 1, 2, 3...$  (рис. 1.25). При модуляции реальным звуковым сигналом спектр еще сложнее. Такие широкополосные сигналы можно разместить только на УКВ, поскольку, ввиду перегруженности низкочастотных диапазонов, там просто «не хватит места». В диапазоне же, например, 88–108 МГц можно теоретически разместить до 100 каналов ЧМ вещания. Практически их

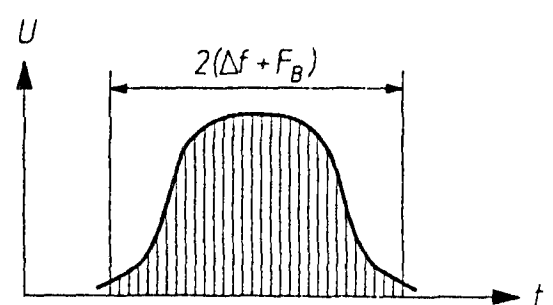


Рис 1.25 Спектр ЧМ сигнала

меньше, и между соседними частотными каналами в одном населенном пункте стараются выдержать интервал не менее 400–500 кГц, учитывая несовершенство приемников.

Высокое качество радиовещания с ЧМ объясняется не только широкой полосой звуковых частот. При демодуляции (детектировании) ЧМ сигнала происходит как бы обмен ширины спектра радиосигнала на отношение сигнал/шум на звуковой частоте. Помехи естественного и искусственного происхождения в УКВ диапазоне относительно невелики и хорошо подавляются приемником ЧМ сигналов. Все вместе взятое и обеспечивает высококачественный прием.

#### 1.4.4. Радиоприемники и их параметры

Рассмотрим теперь структурную схему приемника АМ сигналов (рис. 1.26). Сигнал, принятый антенной, поступает в радиотракт, который выполняет две задачи: селекцию сигнала нужной радиостанции от всех остальных, мешающих, и его усиление. Качество выполне-

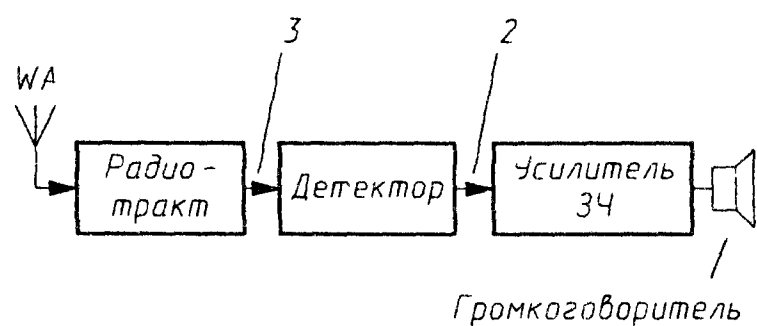


Рис. 1.26. Приемник прямого усиления

ния первой задачи характеризуется *селективностью* приемника, а второй – *чувствительностью*. Селективность обеспечивают колебательные контуры, настроенные на частоту сигнала. Лучшие результаты получаются при объединении нескольких контуров в фильтр.

Отфильтрованный и усиленный радиочастотный (РЧ) сигнал, имеющий точно такую же форму, как и на осциллограмме 3 на рис. 1.21, подается на детектор огибающей, который выделяет напряжение звуковой частоты (ЗЧ). Оно усиливается в УЗЧ и подается на громкоговоритель.

Название «приемник прямого усиления» было присвоено данному устройству потому, что усиление принятого сигнала производится прямо на его частоте. Аналогичное название в англоязычной литературе – TRF (Tuned Radio Frequency) – отражает другую особенность приемника: для настройки на разные радиостанции все имеющиеся колебательные контуры приемника надо одновременно перестраивать по частоте. Под эту структурную схему, если исключить из нее усилители, подходит и детекторный приемник. Приемник прямого усиления имеет ряд неопределимых достоинств: простота, отсутствие интерференционных свистов и ложных настроек, высокое отношение сигнал/шум, малые искажения сигнала.

Простейший одноконтурный приемник прямого усиления содержит колебательный контур, связанный с антенной, широкополосный ненастраиваемый (апериодический) усилитель, выполненный на одном или нескольких транзисторах, детектор и УЗЧ. Чувствительность его бывает высокой, а вот селективность оставляет желать лучшего.

Мы еще будем подробно рассказывать о свойствах и возможностях колебательного контура, а также о фильтрах – системах из нескольких колебательных контуров. Их способность выделять полезный сигнал из массы мешающих намного выше. Расчеты показывают, что для выделения слабого полезного сигнала из массы посторонних сигналов и помех при дальнем приеме нужно как минимум 5–10 контуров. Сделать их все перестраиваемыми по частоте в приемнике прямого усиления очень сложно – ведь настройки контуров в любой точке диапазона должны точно совпадать! Есть и другие трудности, связанные с неравномерностью усиления УРЧ по диапазону, с изменением его полосы пропускания, с опасностью самовозбуждения и т.д.

По этим причинам во всех промышленно выпускаемых радиоприемниках используют супергетеродинную схему радиотракта, показанную на рис. 1.27а. Главной ее особенностью является преобразователь частоты, установленный на входе. Элементы настройки приемника (обычно КПЕ) есть только в преобразователе. Его задача – привести все частоты принимаемых радиостанций к единой,

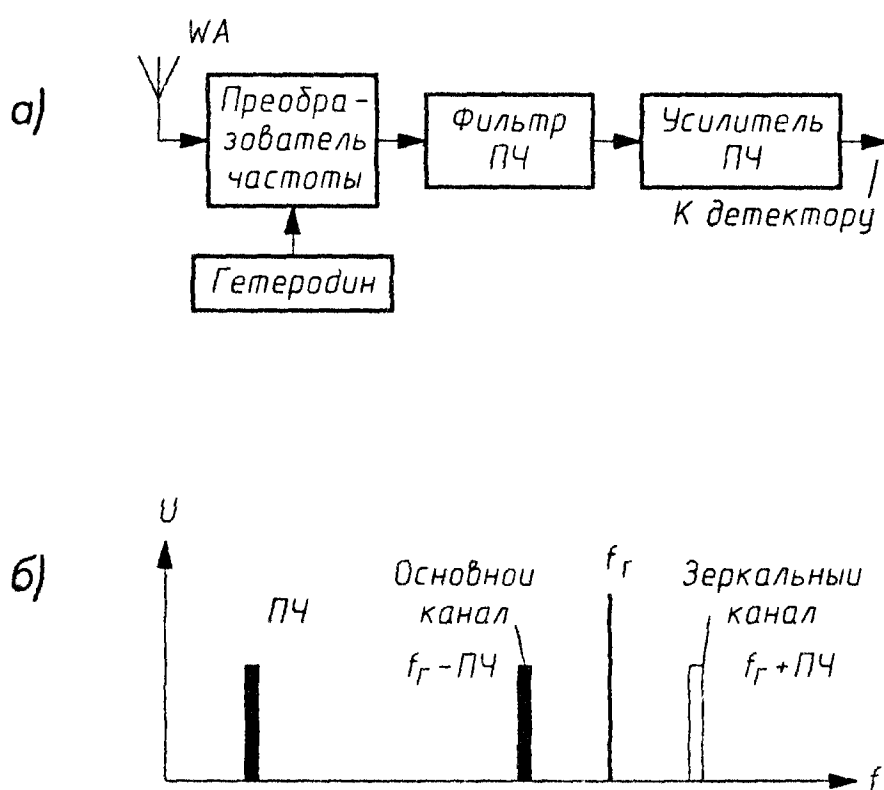


Рис. 1.27. Супергетеродин: а – структурная схема, б – спектр сигналов

стандартизированной промежуточной частоте (ПЧ). Для АМ приемников значение ПЧ выбрано равным 465 кГц в отечественных и 455 кГц в импортных приемниках. ПЧ лежит как раз в неиспользуемом для радиовещания промежутке между диапазонами ДВ и СВ.

Для преобразования частоты нужен гетеродин – встроенный в приемник маломощный генератор, частота которого отличается на значение ПЧ от принимаемой, обычно в большую сторону. Другой элемент преобразователя – смеситель, на который поступают принимаемый сигнал и сигнал местного гетеродина. Преобразование частот происходит по закону:  $ПЧ = f_{\text{гетеродина}} - f_{\text{сигнала}}$ . В самых простых приемниках функции смесителя и гетеродина объединяют и весь преобразователь часто выполняют на одном транзисторе. В приемниках же с высокими параметрами обязательно используют отдельный гетеродин.

Приведя сигналы любой станции к единой ПЧ, мы можем очень хорошо отфильтровать сигнал многоконтурным фильтром – ФПЧ, ведь все его контуры будут иметь фиксированную настройку. Более того, сейчас промышленность хорошо освоила выпуск пьезокерамических фильтров, в которых контуры заменены резонаторами из пьезокерамики. Например, фильтр типа ФП1П имеет семь резонаторов и занимает объем менее 1 см<sup>3</sup>! Полоса пропускания этого фильтра 6–10 кГц, а ослабление сигналов при расстройке на 10 кГц достигает 50 дБ (300 раз по напряжению). Высокая селективность супергетеродина сохраняется на любой частоте, независимо от диапазона. Отфильтрованный сигнал ПЧ усиливается в УПЧ и затем детектируется. На фиксированной ПЧ легче получить стабильное и высокое усиление, поэтому и чувствительность супергетеродина, как правило, выше, чем у приемников прямого усиления.

Наряду с большими достоинствами у супергетеродина есть и недостатки. Главный из них – наличие побочного канала приема на частоте  $f_{\text{гет}} + ПЧ$ . Этот канал приема называют зеркальным, поскольку он симметрично с основным расположен относительно частоты гетеродина, см. рис. 1.27б. Ослабить прием по зеркальному каналу может только входной контур или фильтр, поэтому в супергетеродине перестраивать по частоте приходится как минимум два контура – входной и гетеродинный. Особенно трудно подавить зеркальный канал на КВ, где селективности одиночного входного контура совершенно недостаточно.

Кроме зеркальной, в супергетеродине возможно появление и других ложных настроек и побочных каналов приема, для которых выполняется условие  $m f_{\text{сиг}} \pm n f_{\text{гет}} = ПЧ$ , где  $m$  и  $n$  – целые числа.

Эффект вызван преобразованием частоты на гармониках сигнала и гетеродина и проявляется обычно при сильных сигналах. Если по основному и какому-либо побочному каналу в супергетеродин проникают два сигнала или гармоника одного сигнала близка по частоте к гармонике гетеродина, может наблюдаться интерференционный свист. Эти свисты изменяющегося тона хорошо знакомы радиослушателям, пользующимся фабричными приемниками, они даже воспроизводились пародистами с эстрады.

Выпускаемые промышленностью УКВ приемники выполнены исключительно по супергетеродинным схемам. Их радиочастотная часть содержит УРЧ, смеситель и гетеродин. Для подавления зеркального канала используют 2–3 и более контуров, настроенных на частоту сигнала. Контуров перестраиваются по частоте чаще всего с помощью варикапов – полупроводниковых диодов с емкостью, управляемой напряжением. В высококачественных приемниках используют полевые транзисторы, в более дешевых – биполярные или одну микросхему, включающую УРЧ, смеситель и гетеродин.

Значение ПЧ ЧМ приемников стандартизовано – 10,7 МГц. Селективность по соседнему каналу обеспечивает пьезокерамический фильтр ПЧ с полосой пропускания 180–220 кГц. После УПЧ и перед частотным детектором в ЧМ приемнике обычно устанавливают амплитудный ограничитель, «срезающий» любые изменения амплитуды, и тем самым, во-первых, несколько улучшающий отношение сигнал/шум и ослабляющий импульсные помехи и, во-вторых, приводящий сигналы всех станций к единому уровню, а следовательно, и к единой громкости. В современных приемниках УПЧ, ограничитель и частотный детектор выполняются в виде одной микросхемы.

Возвращаясь к параметрам приемников, расскажем немного о том, как и в каких единицах они измеряются. Различают две разновидности чувствительности: ограниченную усилением и ограниченную шумами. Первая используется для простых приемников с небольшим усилением. Чувствительность, ограниченная усилением, – это минимальное напряжение сигнала на входе приемника (в микровольтах), обеспечивающее некоторую, достаточную для нормального прослушивания, выходную мощность ЗЧ, обычно 50 мВт. Если усиление приемника велико, то до такой выходной мощности могут усиливаться даже собственные шумы приемника.

Чувствительность, ограниченная шумами, – это минимальное напряжение сигнала на входе, обеспечивающее заданное отношение

сигнал/шум на выходе, обычно 12 дБ (4 раза по напряжению) для связных приемников и 26 дБ (20 раз по напряжению) для радиовещательных. Считается, что такое отношение сигнал/шум обеспечивает достаточно хороший прием. Глубину АМ при определении чувствительности устанавливают равной 30%, а девиацию ЧМ – также 30% от максимальной.

Селективность также имеет несколько определений. Селективность по соседнему каналу показывает, на сколько децибел (или во сколько раз) ослабляется сигнал радиостанции, работающей в соседнем частотном канале при заданной расстройке. Хотя сетка частот станций имеет шаг 9 кГц на ДСВ и всего 5 кГц на КВ, селективность АМ приемника по соседнему каналу традиционно измеряют при расстройке 10 кГц. Селективность ЧМ приемников измеряют при расстройках 120 или 180 кГц в диапазоне УКВ-1 и 200 или 300 кГц – в УКВ-2.

Полоса пропускания додетекторного тракта приемника определяет ослабление верхних частот звукового спектра. Лишь при полосе 20 кГц АМ приемник воспроизводит весь передаваемый спектр звуковых частот. Такое возможно лишь при приеме местных мощных станций, и о селективности по соседнему каналу говорить не приходится: ее почти нет. Приемники для дальнего приема имеют полосу пропускания 4–8 кГц, зато высокую селективность. В качестве примера на рис. 1.28 приведена кривая селективности хорошего супергетеродина для дальнего приема, имеющего полосу пропускания 9 кГц и селективность при расстройке 10 кГц более 60 дБ (1000 раз по напряжению). Видно, что кривая селективности, определяемая АЧХ (амплитудно-частотной характеристикой) фильтра ПЧ, близка к прямоугольной. Для сравнения штриховой линией обозначена АЧХ одиночного контура

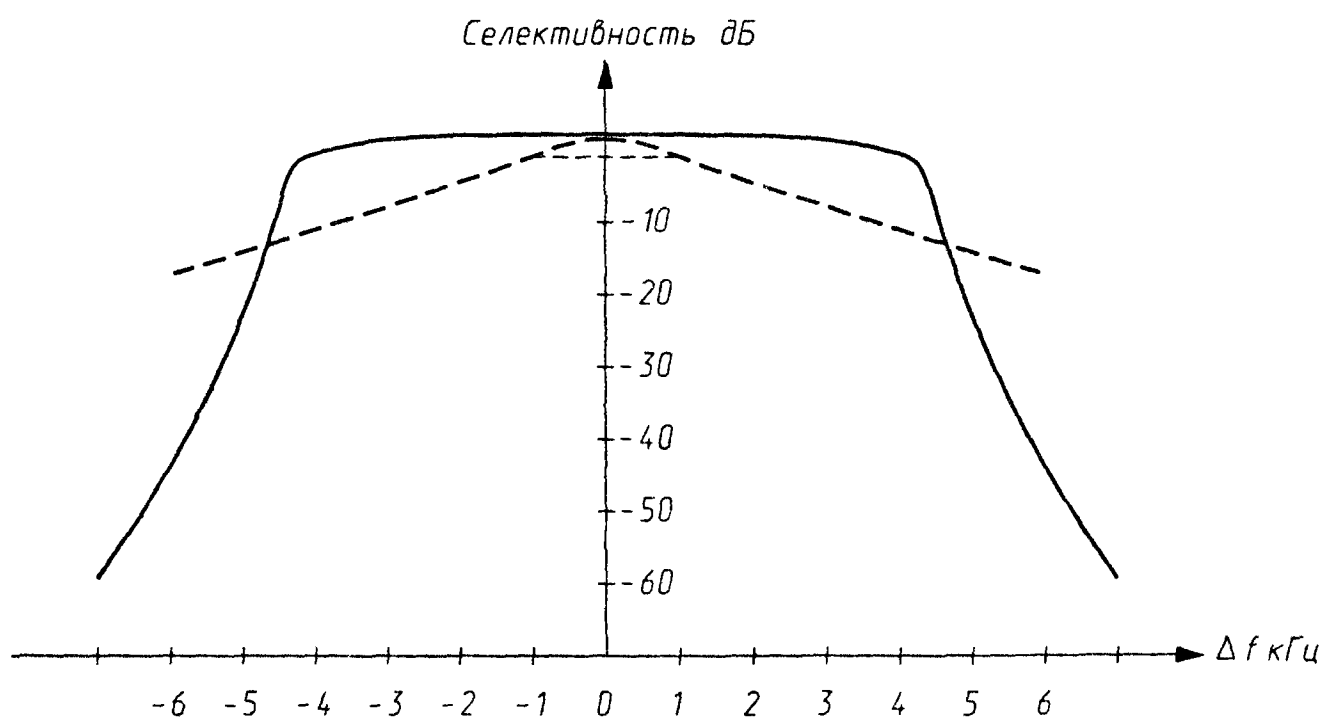


Рис. 1.28. Селективность многоконтурного фильтра и одиночного контура

с полосой пропускания всего 2 кГц. Несмотря на более узкую полосу пропускания, его селективность гораздо ниже.

Для супергетеродина вводят еще понятие селективности по зеркальному каналу и другим побочным каналам приема. Наиболее полно приемник характеризует реальная селективность, измеряемая двухсигнальным методом: на вход подается минимальный полезный сигнал с уровнем, соответствующим чувствительности, и более сильный мешающий, частота которого может перестраиваться в широких пределах, а уровень увеличивается до тех пор, пока не произойдет оговоренного ухудшения приема. Разницу между уровнями полезного и мешающего сигналов называют динамическим диапазоном приемника. У дешевых промышленных радиовещательных приемников он не превосходит 40 дБ (отношение амплитуд мешающего и полезного сигнала ниже 100), у лучших может составить 60–70 дБ. Хорошие профессиональные приемники для радиосвязи имеют динамический диапазон, приближающийся к 100 дБ (отношение амплитуд 100 000).

Рис. 1.29 иллюстрирует понятия реальной селективности и динамического диапазона. По горизонтали отложена частота, по вертикали – уровень сигнала на входе, необходимый для создания одинакового эффекта на выходе. Приемник настроен на частоту  $f_0$ , и на этой частоте ему нужен минимальный сигнал, определяющий чувствительность. Сигналы на других частотах окажутся помехами, вызывающими накладки на полезный, забитие (потерю чувствительности), перекрестную модуляцию (перенос модуляции с мешающего сигнала на полезный), интерференционные свисты и т.п.

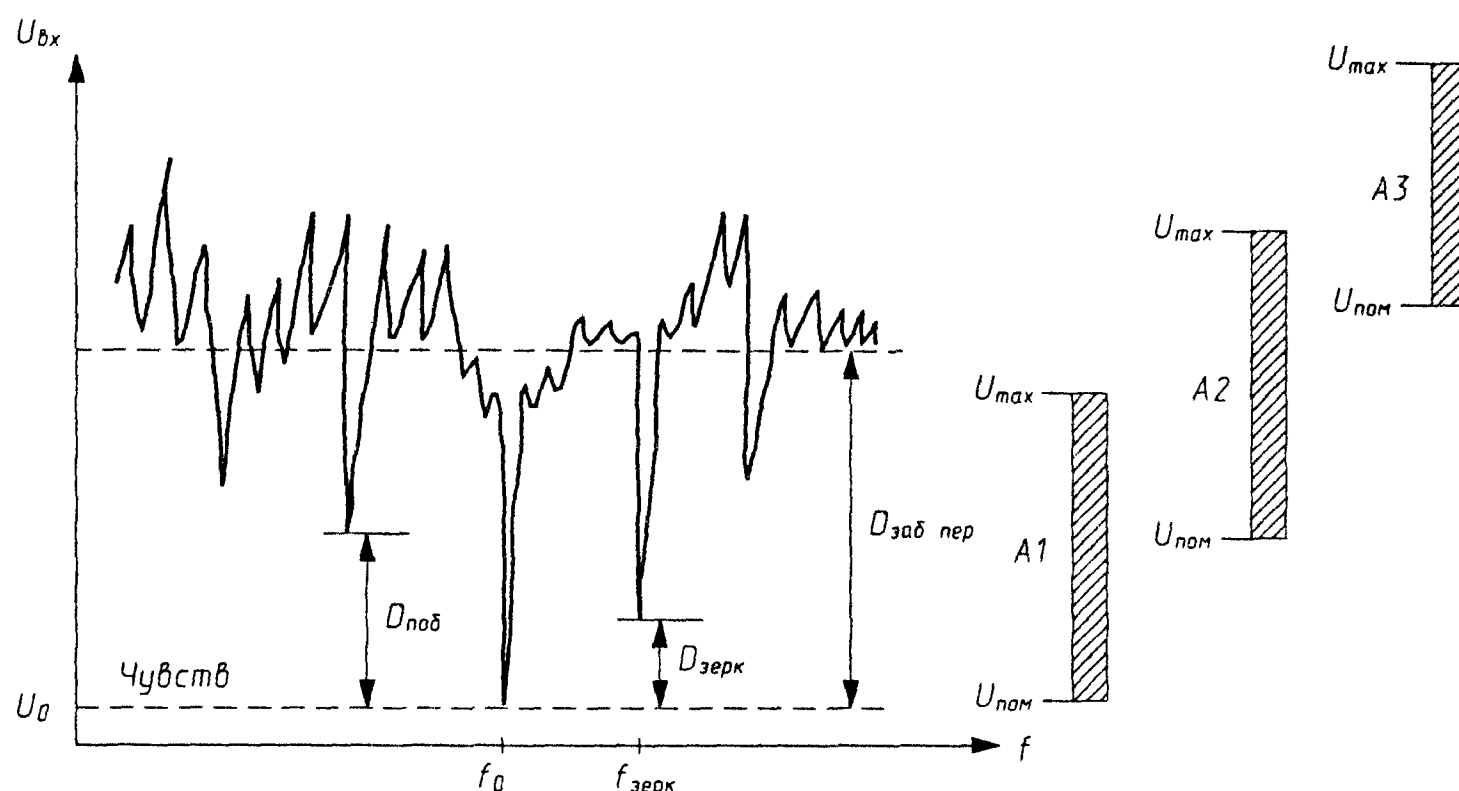


Рис. 1.29. Реальная селективность и динамический диапазон приемника

Динамический диапазон и есть разница в уровнях между полезным сигналом и помехами, при которых начинаются все эти нежелательные явления. На рисунке видны селективность по зеркальному каналу  $D_{\text{зерк}}$ , по побочным каналам приема  $D_{\text{поб}}$ , и динамический диапазон по забитию и перекрестной модуляции  $D_{\text{заб пер}}$ .

А теперь обратите внимание на правую часть рисунка, где условными прямоугольниками обозначены уровни сигналов, создаваемых антеннами: малой А1, средней А2 и большой, высоко поднятой А3. Высота прямоугольников соответствует разнице в сигналах, создаваемых помехами  $U_{\text{пом}}$  и самой сильной радиостанцией  $U_{\text{max}}$ . С антенной А1 приемник будет работать нормально. Если  $U_{\text{пом}}$  лежит ниже уровня чувствительности, то шум даже не усилится при подключении антенны, если выше – возрастет, и по этому признаку можно отличить чувствительный приемник.

С антенной А2 сигнал самой сильной станции уже вызовет забитие и перекрестную модуляцию, то есть искажения полезного сигнала, хотя если ее частота не попадает на зеркальный или побочный канал приема, непосредственно ее сигнал слышно не будет. С антенной А3 ситуация катастрофическая: приемник оказывается полностью неработоспособен, а из его динамика будет слышен только вой и рев. Проверить сказанное просто: возьмите любой фабричный портативный транзисторный приемник и подсоедините к нему большую антенну. И вывод прост: традиционное стремление сделать или выбрать приемник почувствительнее, а антенну побольше ничем не оправдано. Каждому приемнику нужна своя, оптимальная антенна.

К другим параметрам, непосредственно не связанным с качеством приема, относятся выходная мощность УЗЧ, полоса воспроизводимых звуковых частот, напряжение питания, потребляемый ток и т.д. Смысл их ясен из названий. К сожалению, заводы и фирмы, выпускающие радиоприемники, приводят в инструкциях все меньше и меньше технических характеристик (из скромности или потому что стыдно?). Часто дело ограничивается только диапазонами волн, габаритами, весом и напряжением питания. Судить о качестве и экономичности приемника по таким данным, разумеется, невозможно. Измерения, проведенные автором на довольно большом количестве фабричных приемников, в основном оставили неутешительное впечатление.

Такова ситуация в радиовещании и радиовещательном приеме, сложившаяся к настоящему времени. Вооруженные этими знаниями, мы вполне можем приступить к постройке собственного радиоприемника, например (не считайте за юмор) детекторного.

<b>1</b>	На чем основано радиовещание	<b>9</b>
----------	------------------------------	----------

## **2 ДЕКТОРНЫЕ РАДИОПРИЕМНИКИ**

Устройство и принцип действия	<b>56</b>
Радиоприемные антенны ДСВ	<b>62</b>
Мощность, отдаваемая приемной антенной	<b>73</b>
Усовершенствование детекторного приемника	<b>79</b>
Высококачественные детекторные приемники	<b>87</b>
Портативные детекторные приемники	<b>90</b>

<b>3</b>	Громкоговорящие детекторные приемники	<b>97</b>
<b>4</b>	Приемники прямого усиления	<b>137</b>
<b>5</b>	Регенераторы, автодины и синхродины	<b>199</b>

У детекторного приемника наряду с его очевидными достоинствами – высоким качеством звуковоспроизведения, простотой и отсутствием питания – довольно много недостатков. Ему понадобятся эффективная антенна и, в большинстве случаев, заземление. Громкоговорящий прием можно сделать не слишком далеко от мощных станций, и, наконец, один контур дает очень низкую селективность. Тем не менее при разумном подходе к проектированию приемника большинство этих недостатков удастся частично или полностью устранить.

## 2.1. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Казалось бы, о чем тут вообще говорить? Простейшие детекторные приемники хорошо известны и понятны, их схемы приводились в любых популярных изданиях по радиотехнике и до написания этой книги. Но расчеты и эксперименты показали новые возможности детекторного приема – громкоговорящего, в полевых условиях, на УКВ, но об этом ниже, а пока займемся обычными детекторными приемниками АМ сигналов, работающими в диапазонах ДСВ.

### 2.1.1. Колебательный контур

«Классическая» схема детекторного приемника изображена на рис. 2.1. Она повторяется во всех популярных книжках и даже школьных учебниках. Ниже мы покажем, что этот «классический» детекторный приемник сконструирован неправильно и может быть существенно улучшен, но чтобы понять, каким образом, сначала разберем его схему и назначение деталей подробнее.

Антенна WA1 и заземление присоединены непосредственно к колебательному контуру, образованному катушкой L1 и конденсато-

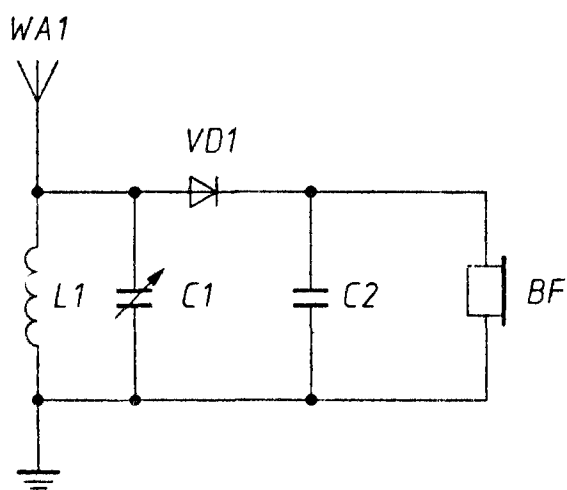


Рис 2.1 «Классическая» схема детекторного приемника

ром переменной емкости (КПЕ) C1. Колебательный контур служит для выделения из всей массы принимаемых антенной сигналов лишь одного, желаемого. Радиостанции работают на разных частотах, контур также имеет свою, резонансную частоту, и если частота сигнала радиостанции совпадает с частотой настройки контура, напряжение на нем максимально.

Резонансная частота (частота настройки) колебательного контура определяется формулой Томсона:  $f_0 = 1/2\pi(LC)^{1/2}$ . Для изменения частоты настройки можно изменять как индуктивность, так и емкость. Чаще всего для настройки в пределах диапазона изменяют емкость (используют КПЕ), а для переключения диапазонов изменяют индуктивность, подключая разные катушки или переключая отводы обмотки.

На резонансной частоте  $f_0$  индуктивное сопротивление катушки в точности равно емкостному сопротивлению конденсатора, и оба они носят название характеристическое сопротивление контура  $\rho$ :  $X_L = X_C = \rho$ . Для тех, кто подзабыл, что такое реактивные сопротивления, напомним, что индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте:  $X_L = j\omega L$ , а емкостное сопротивление обратно пропорционально:

$X_C = 1/j\omega C$ . Эти зависимости показаны на рис. 2.2. Знак  $j$  в математике указывает на мнимую величину, и в электротехнике соответствует реактивному характеру сопротивлений. Реактивные сопротивления не рассеивают мощности, поскольку ток в них сдвинут по фазе относительно напряжения на  $90^\circ$ , в индуктивности ток отстает, а в емкости опережает напряжение.

Если бы в контуре не было больше никаких сопротивлений, кроме равных друг другу индуктивного и емкостного, то свободные колебания тока в контуре на частоте  $f_0$ , единожды возникнув, продолжались бы до бесконечности, то есть были бы незатухающими. Реально всегда имеется активное сопротивление, хотя бы сопротивление провода катушки, показанное на эквивалентной схеме (рис. 2.3а),

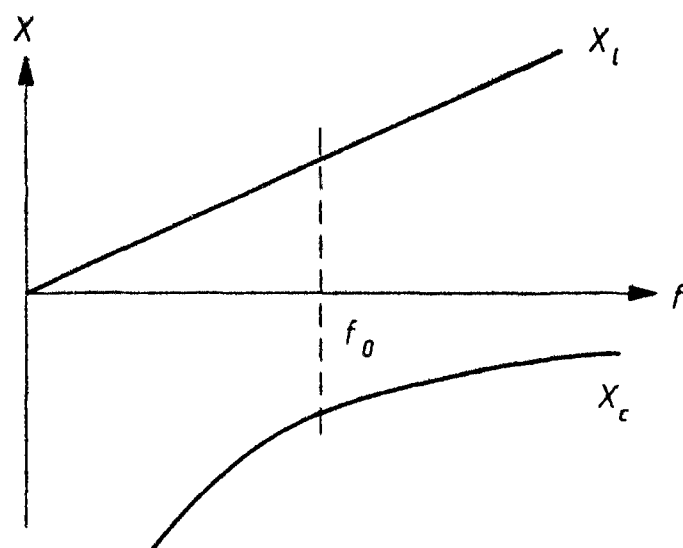


Рис 2.2 Зависимость индуктивного и емкостного сопротивления от частоты



Рис 2.3 Эквивалентные схемы контура с потерями

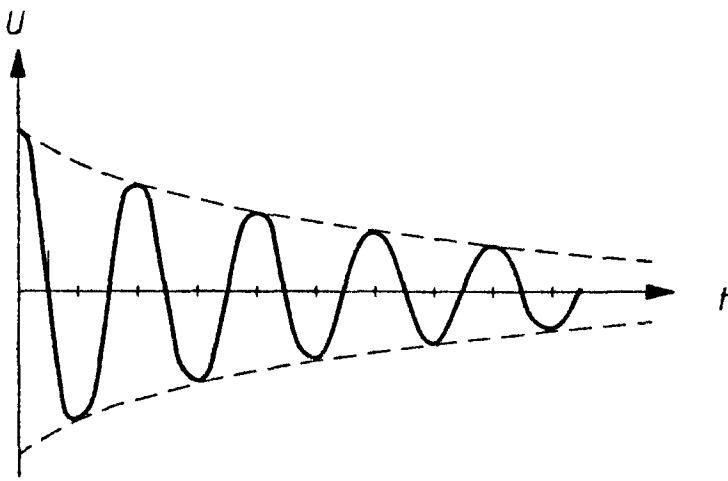


Рис 2.4 Затухающие колебания

в виде последовательного сопротивления  $r$ . В активном сопротивлении  $r$  выделяется мощность, поэтому свободные колебания будут затухать, как показано на рис. 2.4.

Скорость затухания колебаний определяется добротностью – отношением реактивного сопротивления  $\rho$  к активному  $r$ :  $Q = \rho / r$ . Число свободных колебаний в контуре до их прак-

тического прекращения (уменьшения амплитуды примерно до 0,05 от начальной) как раз и равно добротности. Величину, ей обратную, иногда называют затуханием контура. Затухание может вноситься не только последовательным, но и параллельно подключенным сопротивлением  $R$ , например входным сопротивлением детектора, который также потребляет мощность (на этот раз с полезными целями), см. рис. 2.3б. Добротность в этом случае равна  $Q = R / \rho$ . Для облегчения анализа удобно пересчитывать параллельное сопротивление в последовательное и наоборот, это легко сделать при не слишком малой добротности контура (от десятков и выше):  $R = \rho^2 / r$ .

От добротности зависит амплитуда вынужденных колебаний в контуре, создаваемых полезным сигналом. Реакция контура на возбуждение сигналами разных частот дается резонансной кривой (рис. 2.5).

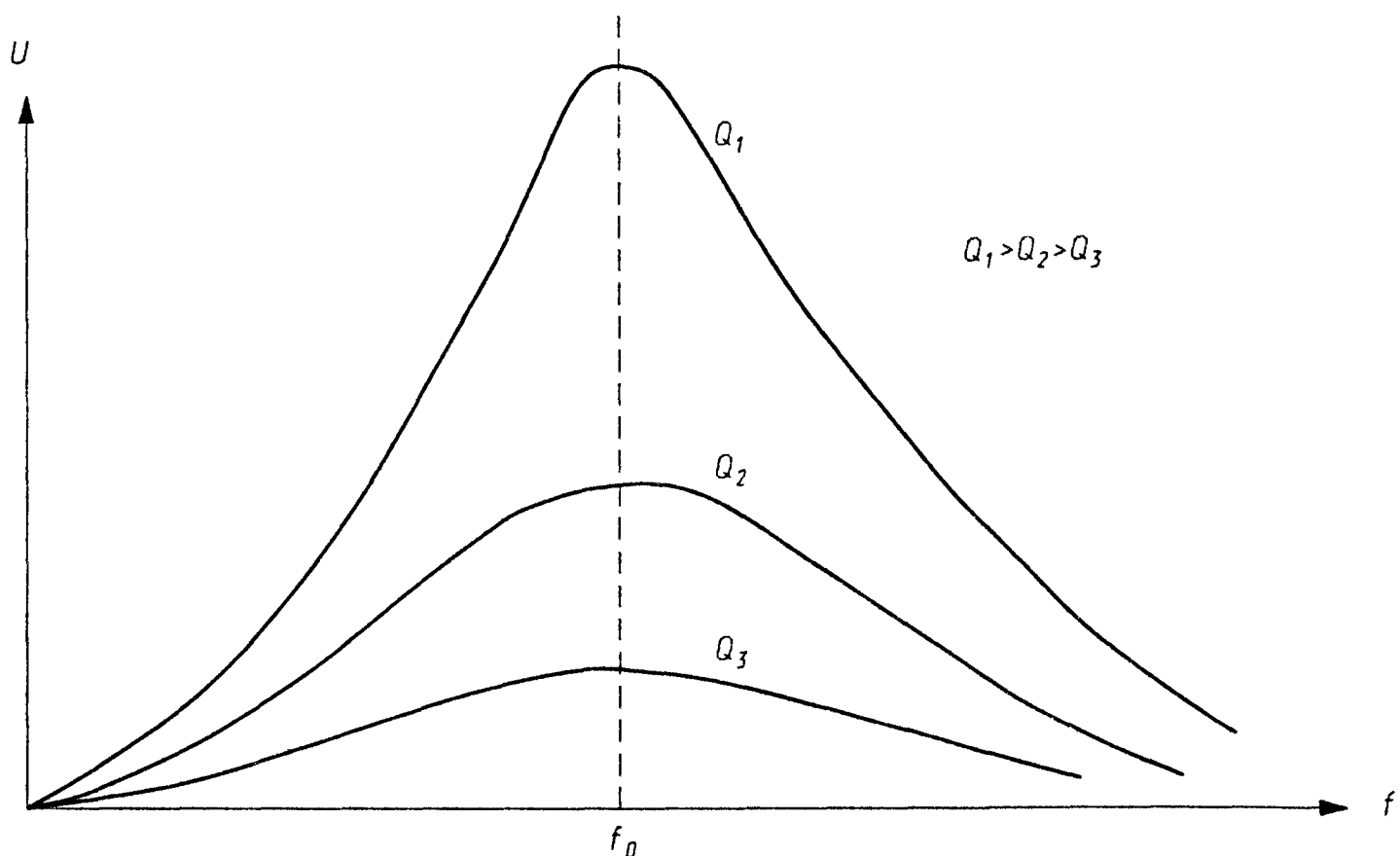


Рис 2.5 Резонансные кривые

По вертикали отложены значения тока в контуре, или практически пропорционального ему напряжения на катушке, по горизонтали — частота сигнала. Кривые построены для трех значений добротности. Видно, что чем выше добротность, тем острее резонансная кривая и выше селективность приемника.

Если в цепь (рис. 2.3а) последовательно включить некоторый источник ЭДС, изменять частоту его колебаний и измерять напряжение на катушке высокочастотным вольтметром, то мы и получим резонансную кривую (рис. 2.5). Напряжение на катушке при резонансе в  $Q$  раз превосходит значение вводимой в контур ЭДС.

Как же так? Разве могут напряжения в цепи превосходить напряжение источника? В резонансных цепях могут. Посмотрим на рис. 2.6. На резонансной частоте реактивные сопротивления катушки и конденсатора равны и противоположны по знаку, поэтому компенсируются, и полное сопротивление цепи активно и равно  $r$ . Ток максимален и равен  $\varepsilon/r$ . Но этот ток протекает через реактивные сопротивления катушки и конденсатора, которые в  $Q$  раз больше, следовательно, и напряжения на них во столько же раз больше. При расстройке источника вниз по частоте возрастает емкостное сопротивление конденсатора, а при расстройке вверх — индуктивное сопротивление катушки. В любом случае ток в цепи падает в соответствии с резонансной кривой.

Пересчитав входное сопротивление детектора — полезной нагрузки —  $R$  в последовательное  $r_d$  и обозначив общее сопротивление потерь контура  $r_n$ , мы получим эквивалентную схему контура, позволяющую рассчитать его КПД и показанную на рис. 2.7. Поскольку один и тот же ток проходит через оба сопротивления, КПД контура оказывается равным отношению приведенного сопротивления детектора к общему:  $\text{КПД} = r_d / (r_d + r_n)$ .

Из формулы видно, что для повышения КПД сопротивление потерь контура должно быть малым. Полезно ввести понятия собственной добротности контура (без нагрузки детектором)  $Q_0 = \rho / r_n$  и «нагруженной» добротности  $Q = \rho / (r_d + r_n)$ . Подставив эти формулы в выражение для КПД несложно получить:  $\text{КПД} = 1 - Q / Q_0$ . В хорошо спроектированном приемнике

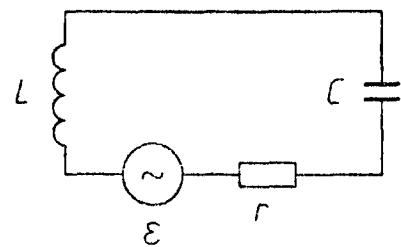


Рис 2.6 Контур с источником внешней ЭДС

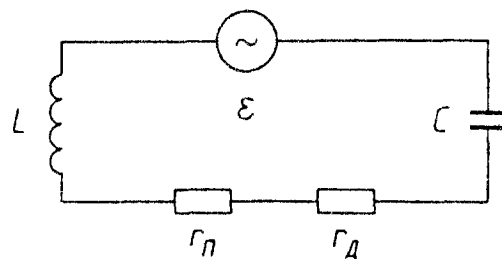


Рис 2.7 Эквивалентная схема контура с потерями, нагруженного детектором

собственная добротность контура должна быть как можно выше. А какой должна быть нагруженная добротность? Оптимальной. Если мы сделаем ее слишком высокой, то селективность приемника возрастет, но будут ослаблены высокие звуковые частоты, поскольку полоса пропускаемых контуром частот окажется уже спектра принимаемого сигнала. Если же нагруженная добротность мала, то при высоком КПД получится низкая селективность: вместе с полезным сигналом могут прослушиваться соседние по частоте станции.

В принципе, проблему решают многоконтурные фильтры. При высокой собственной добротности контуров в них удастся получить и широкую полосу пропускания, и высокую селективность, и малые потери, то есть высокий КПД. Любопытно, что впервые трехконтурные фильтры, содержащие антенный, детекторный и промежуточный контуры, были предложены еще в доламповый период развития радиотехники, в 1907 г., Франклином и Стоуном независимо друг от друга.

Полосу пропускания контура (как, впрочем, и других устройств – усилителей, радиоприемников) отсчитывают по точкам на резонансной кривой, где амплитуда колебаний уменьшается до 0,7 от максимальной, при этом мощность колебаний падает в два раза. Требуемая при этом расстройка (рис. 2.8) обозначена как  $\Delta f$ , а полная ширина полосы получается  $2\Delta f$ . Полоса пропускания  $2\Delta f$ , частота настройки  $f_0$  и добротность  $Q$  связаны простым соотношением:  $2\Delta f = f_0/Q$ . Это соотношение часто используют при измерении добротности, поскольку

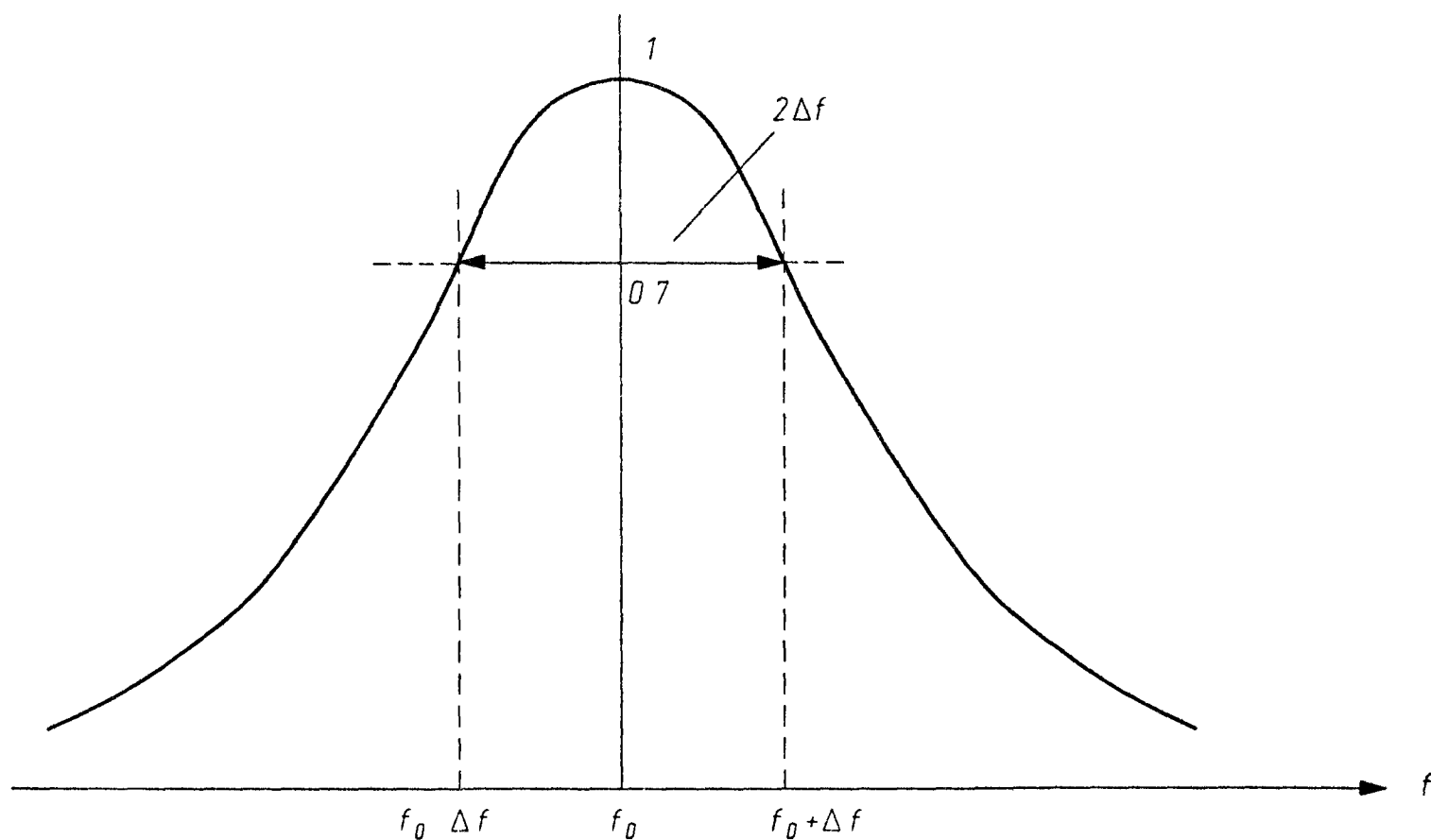


Рис 2.8 Определение полосы пропускания

полосу пропускания определить очень легко, подключив к контуру генератор стандартных сигналов и высокочастотный вольтметр или осциллограф.

### 2.1.2. Детектирование

Итак, настроив контур на частоту принимаемой радиостанции, мы выделили на нем АМ сигнал, подобный изображенному на рис. 1.21г и еще раз показанный на рис. 2.9а. Частота его колебаний велика (более 100 кГц), и в наушниках он, разумеется, слышен не будет. Сигнал надо продетектировать. Для этого служит диод VD1 (рис. 2.1). Он обладает свойством проводить ток только в одном направлении, от анода, обозначенного треугольником, к катоду. Положительные полуволны колебаний в контуре вызовут ток через диод, а отрицательные закроют его, и тока не будет.

При отсутствии конденсатора С2 (рис. 2.1) через телефоны будет протекать пульсирующий ток, показанный на рис. 2.9б. Он содержит усредненную, или, как часто говорят, постоянную составляющую, которая изменяется со звуковой частотой (показана штриховой линией). Такой ток уже вызовет звук в телефонах. Процесс детектирования улучшается при подсоединении блокировочного конденсатора С2. Он заряжается положительными полуволнами почти до амплитудного значения колебаний, а в промежутках между ними сравнительно медленно разряжается током через телефоны.

Форма продетектированного напряжения на телефонах в этом случае показана на рис. 2.9в. Видим, что пульсаций стало гораздо

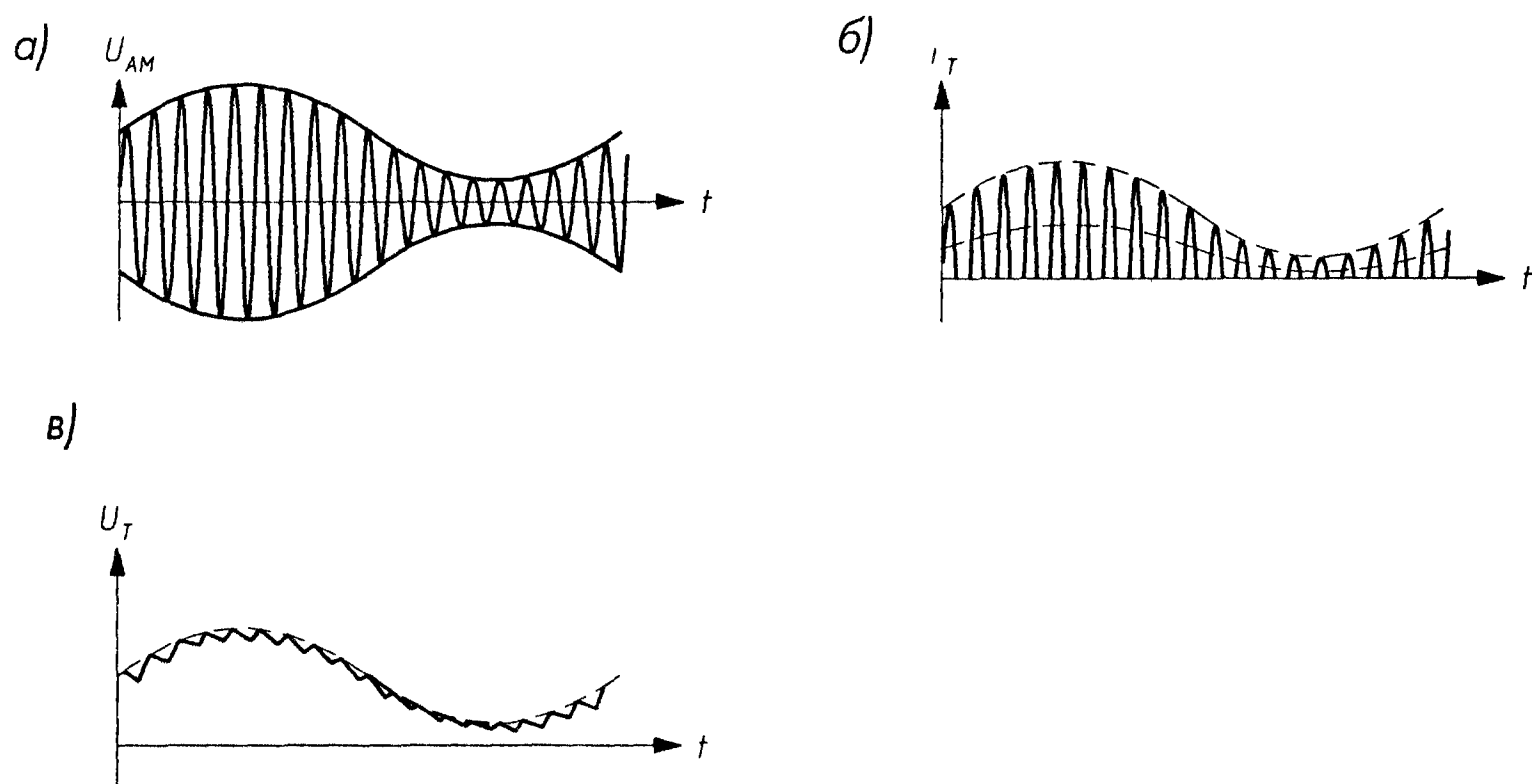


Рис 2.9 Формы колебаний а – в контуре, б – на телефонах без блокировочного конденсатора, в – на телефонах с блокировочным конденсатором

меньше, а уровень продетектированной постоянной составляющей и сигнала звуковых частот вырос. Ничего не дается даром, и улучшение процесса детектирования с блокировочным конденсатором сопровождается большей нагрузкой на колебательный контур. Другими словами, входное сопротивление детектора уменьшается.

Желательно, чтобы блокировочный конденсатор сглаживал только радиочастотные пульсации, но не «заваливал» высокочастотных звуковых колебаний. Зависит это от постоянной времени разряда конденсатора  $C_2$  на сопротивление телефонов  $R$ :  $\tau = RC$ , а частота среза получившегося фильтра нижних частот равна  $f_c = 1/2\pi\tau$ . Если положить сопротивление телефонов равным 4 кОм, а частоту среза – 16 кГц, емкость конденсатора  $C_2$  получается равной 2500 пФ. Она не критична и может составлять, например, от 510 до 4700 пФ.

### 2.1.3. Телефоны

Последний элемент разбираемой схемы детекторного приемника – телефоны. Низкоомные телефоны, например капсюли от телефонных трубок или наушники от плеера, для этого приемника непригодны. Большой ассортимент высокоомных электромагнитных телефонов выпускал ранее завод «Октава». К ним относятся ТА-4 (сопротивление одного телефона 2200 Ом), ТОН-2, ТОН-2М (1600 Ом) и другие. Два телефона в наушниках соединяются последовательно – и сопротивление их удваивается.

Указанное на корпусе телефона сопротивление измерено на постоянном токе. Для переменного тока звуковых частот сопротивление оказывается больше из-за индуктивного сопротивления катушек телефонов и может достигать 50 кОм. Измеренные значения полного сопротивления любимых и очень старых телефонов автора (типа ТА-4, из комплекта какой-то давно несуществующей радиостанции) таковы: на постоянном токе – 4,6 кОм, на частоте 300 Гц – 8,4 кОм, на 1 кГц – 22 кОм и на 3 кГц – 50 кОм.

Мы еще не рассмотрели антенну и заземление. Они настолько важны для детекторного приемника, что заслуживают отдельного раздела.

## 2.2. РАДИОПРИЕМНЫЕ АНТЕННЫ ДСВ

Простейшие детекторные или транзисторные приемники немного усиливают РЧ сигнал – или вообще не усиливают, – поэтому требуют его значительного уровня на входе. Этот сигнал создается антенной. Работают простейшие приемники в диапазонах длинных и средних волн (ДСВ), где для отстройки от сигналов мешающих

радиостанций, соседних по частоте, чаще всего достаточно даже одного колебательного контура. Вот о приемных антеннах этих диапазонов и пойдет речь.

### 2.2.1. Типы и ориентация антенн

По счастью, современные радиостанции имеют значительную мощность и создают большую напряженность поля, поэтому принимать их можно даже на детекторный приемник с антенной небольших размеров. Провод антенны желательно располагать вдоль силовых линий электрического поля принимаемой волны, то есть по направлению вектора ее электрического поля  $E$ . На ДСВ все радиостанции излучают волны с вертикальной поляризацией, у которых вектор электрического поля  $E$  вертикален, а вектор магнитного поля  $H$  горизонтален, как показано на рис. 2.10а. Соответственно, магнитную антенну надо располагать горизонтально, а электрическую – вертикально (рис. 2.10б и 2.10в).

Магнитная антенна представляет собой ферритовый стержень прямоугольного или круглого сечения с намотанной на него катушкой, которая одновременно является и катушкой входного, а может быть и единственного в приемнике колебательного контура. Ферритовый стержень, обладая большой магнитной проницаемостью, концентрирует магнитное поле принимаемой волны в катушке. Располагается магнитная антенна обычно внутри корпуса приемника и поэтому очень удобна. Другой тип магнитных антенн – рамочные – мы рассмотрим ниже.

К сожалению, напряжение сигнала, развиваемое ферритовой магнитной антенной, совершенно недостаточно для работы детекторного приемника – требуется один или два транзисторных каскада усиления радиочастоты перед детектором. Если вы только-только начинаете осваивать радиотехнику с постройки простейшего детекторного приемника, придется воспользоваться электрической проволочной антенной, развивающей значительно большее напряжение. А приемники с магнитными антеннами освоите позднее.

Классическая электрическая антенна – это диполь, представляющий собой прямолинейный отрезок провода, разомкнутый в середине, с подключенной в этом месте двухпроводной линией, соединяющей диполь с приемником (рис. 2.10в). Как мы уже говорили, диполь должен располагаться вертикально. Он имеет собственную резонансную частоту, на которой его длина близка к половине длины волны. Но на СВ, тем более ДВ, длина волны составляет от 200 до 2000 м,

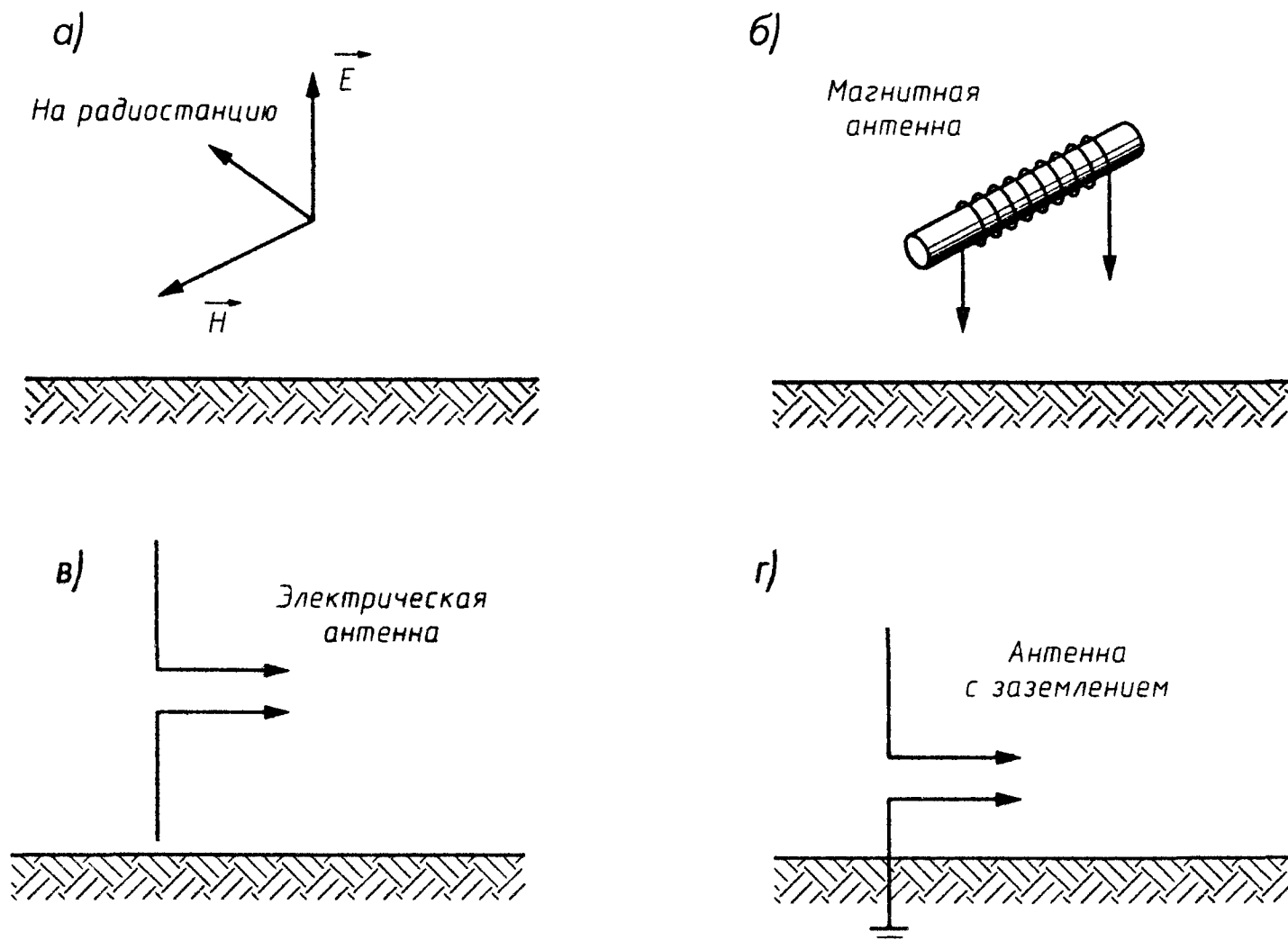


Рис. 2.10. Типы приемных антенн: а – структура поля, б – магнитная антенна, в – электрическая дипольная антенна, г – электрическая антенна с заземлением

и приемных диполей длиной более 100 м, к тому же расположенных вертикально, никто не делает.

Применяются укороченные диполи, но развиваемое ими напряжение сигнала снижается пропорционально уменьшению длины. Есть и еще один способ укоротить длину диполя вдвое без ухудшения его работы – использовать заземление, как показано на рис. 2.10г. Земля будет служить неплохим противовесом верхней половине диполя и заменит его нижнюю половину. Так делают (мы уже говорили в первой главе) даже на передающих радиоцентрах, где высота полноразмерной резонансной антенны-мачты теперь должна составлять четверть длины волны.

Дальнейшие возможности уменьшения длины диполя (а следовательно, его высоты, ведь диполь-то вертикальный) состоят в использовании емкостной нагрузки на его верхнем конце. Ток, текущий по проводу снижения, должен перезаряжать эту емкость с частотой принимаемых колебаний, следовательно, чем больше емкость, тем больше и ток, текущий по проводу снижения и поступающий в приемник.

### 2.2.2. Проволочные антенны

Верхнюю емкостную нагрузку можно выполнить по-разному (рис. 2.11). В простейшем случае используется горизонтальный

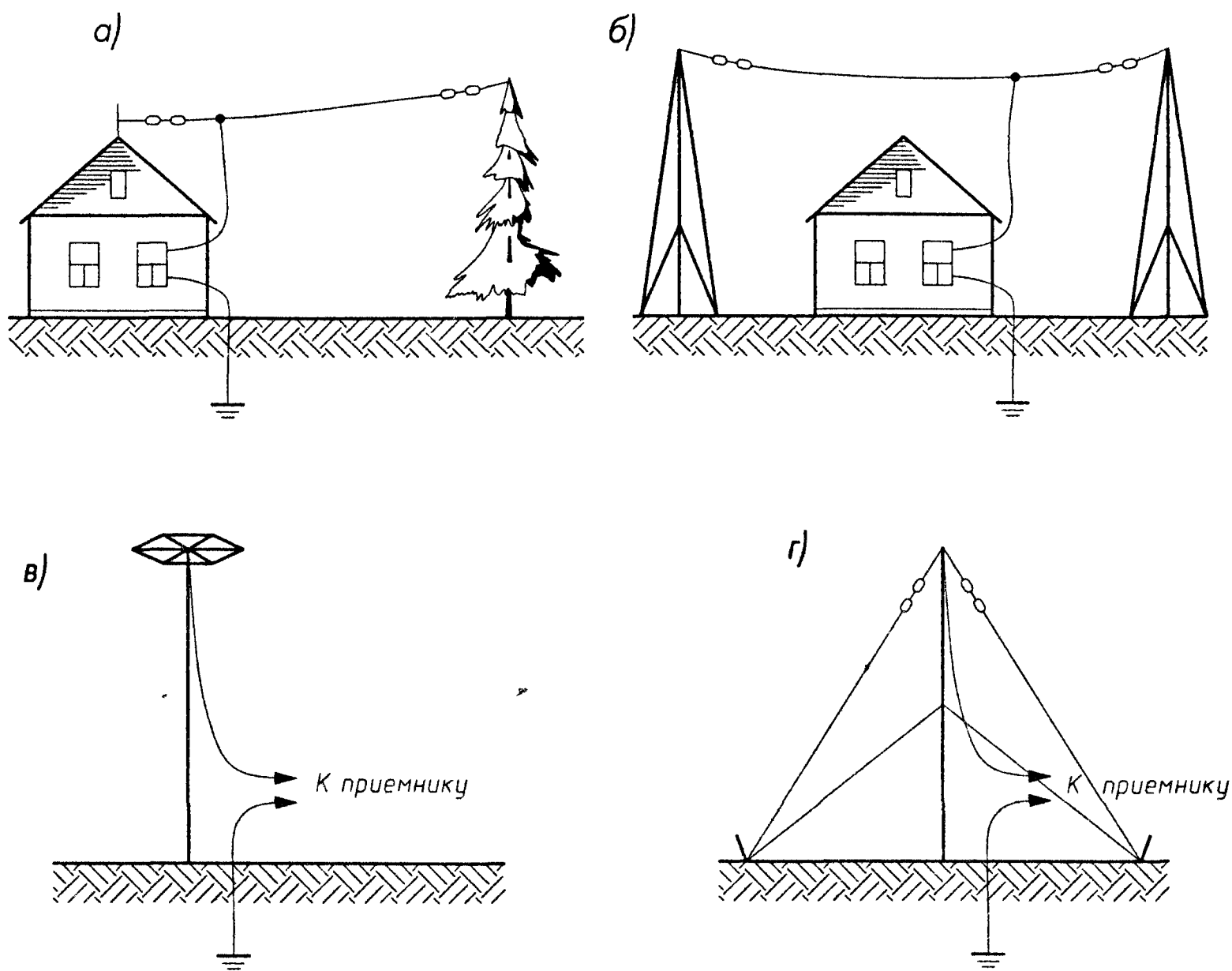


Рис. 2.11. Наружные проволочные антенны: а – Г-образная, б – Т-образная, в – с верхней емкостной нагрузкой, г – зонтичная

провод, подвешенный на изоляторах между двумя мачтами или другими подходящими предметами (домами, деревьями). Если горизонтальный провод является продолжением вертикального провода снижения, получается Г-образная антенна (рис. 2.11а). Она имеет слабо выраженную направленность: немного лучше принимаются станции со стороны снижения, поэтому дальний, свободный конец провода лучше протягивать в сторону от радиостанции.

Если провод снижения подключен где-то ближе к середине горизонтальной части, получается Т-образная антенна (рис. 2.11б). Она одинаково принимает радиосигналы со всех направлений. Длина горизонтальной части может составлять 10–25 м, делать ее слишком длинной вряд ли целесообразно, поскольку непосредственно в приеме радиоволн она не участвует, лишь повышает эффективность вертикальной части.

Для Г- и Т-образных антенн нужны две опоры, и в этом их недостаток. Если позволяют местные условия, можно протянуть антенну типа «наклонный луч» от окна, куда входит снижение, до

ближайшего высокого предмета (конька крыши, дерева). Свободный конец провода надо изолировать одним-двумя орешковыми изоляторами; при их отсутствии вполне подойдут ролики от электропроводки.

При закреплении антенны на дереве постарайтесь не ломать ветки и не опутывать ствол проволокой – деревья от этого страдают и гибнут, у них ведь нет средств для защиты от варваров! Лучше всего повесьте на подходящую развилку ветвей очень свободную и ни в коем случае не затягивающуюся петлю из пеньковой или хлопчатобумажной веревки, а уже к ней привязывайте провод, идущий к первому орешковому изолятору антенны, или сам изолятор. Учтите, что деревья качаются от ветра, поэтому провод надо подвешивать с большим «провисом», чтобы он не оборвался.

Диаметр провода антенны не имеет особого значения и выбирается только из соображений механической прочности. Вполне подойдет медный обмоточный провод в эмалевой изоляции, смотанный со старых (выброшенных) трансформаторов. Даже при диаметре 0,5 мм его прочность на разрыв достигает 4 кг силы, возрастая пропорционально квадрату диаметра. Этого вполне достаточно, к тому же антенна получается очень легкой и, к слову сказать, почти невидимой с земли.

Две другие антенны (рис. 2.11в и 2.11г) монтируются на одной мачте – вертикальном деревянном шесте, при необходимости раскрепляемом оттяжками. Небольшой и легкий шест можно закрепить на коньке крыши, более длинный и тяжелый лучше устанавливать на земле. Оттяжки можно сделать из синтетического шнура или даже из капроновой лески диаметром 0,8–1,0 мм. Она прочна, упруга и стоит недорого. Кстати, если, прогуливаясь по берегу речки, найдете запутанный и выброшенный рыбаками моток лески, не поленитесь забрать его и распутать – польза для вас и для экологии района.

В антенне, показанной на рис. 2.11в, верхняя емкостная нагрузка образована проволочным «колесом» произвольной формы и конфигурации, соединенным с проводом снижения и изолированным от мачты роликовым фарфоровым изолятором. Изолятор нужен на случай дождливой и сырой погоды, когда влажное дерево мачты становится хоть и плохим, но проводником и может ухудшить работу антенны.

Аналогично выполнена широко известная «метелочная» антенна, в которой вместо колеса используют пучок проволок, соединенных со снижением, и расходящихся веером от изолятора. Такую антенну

делать не рекомендуем, потому что пучок получается тяжелым, а работает неэффективно, поскольку куски проволоки расположены слишком близко друг к другу. Лучше взять всего 6 или 8 отрезков длиной около 0,5 м и развести их в стороны наподобие спиц. Этого уже достаточно, но можно еще соединить концы спиц тонким проводником.

Роль емкостной нагрузки в так называемой «зонтичной» антенне (рис. 2.11г) выполняют верхние части растяжек длиной по 2–3 м, выполненные из проводов, соединенных в центральной точке со снижением. Концы проводов изолированы от растяжек орешковыми изоляторами, а если растяжки сделаны из лески, являющейся хорошим диэлектриком, можно обойтись и без изоляторов, прямо связав леску с проводом. Число растяжек обычно 3 или 4. Нижний ярус растяжек выполнен также из синтетического шнура или лески. Если же растяжки делаются из проволоки, их следует разбить через 2–3 м орешковыми изоляторами, иначе они будут экранировать антенну от поля принимаемых станций.

Можно ли использовать металлические мачты, сделанные из легких дюралюминиевых трубок, например, от лыжных палок? Разумеется, да, но мачту при этом надо изолировать от земли опорным изолятором любого типа, пригодна даже стеклянная бутылка. Обеспечив хороший (некоррозирующий) контакт между отдельными частями металлической мачты, ее можно использовать как снижение антенны.

### 2.2.3. Заземление

Мы рассказали об антеннах, конструкция которых хорошо подойдет для загородных домов. У их жителей больше возможностей в выборе места и материалов для изготовления мачт антенн. Размеров специально не приводим, поскольку в пределах разумного (высота не более 10–15 м, длина горизонтальной части не более 20–30 м) детекторный приемник будет работать тем громче, чем выше и длиннее антенна. Однако она бесполезна без заземления или противовеса, ведь куда-то должны стекать высокочастотные токи, идущие по снижению.

Детекторный приемник без заземления будет работать плохо, а чувствительный транзисторный «захлебнется» от помех – как показывает опыт, при использовании заземления прием слабых станций улучшается, а уровень помех снижается, и очень значительно. Кроме того, антенне нужна грозозащита, поэтому заземление надо делать в первую очередь.

Во многих случаях заземление у вас уже есть, если имеется водопровод. Трубы водопровода проходят в земле и не изолированы от нее. Неплохим заземлением служат трубы центрального отопления: они хоть и изолированы, но в современных многоквартирных домах электрически соединяются с общим контуром заземления дома. В любом случае разветвленная тепловая сеть служит отличным противовесом антенне.

К газовым трубам подключаться запрещается, а электрическая сеть является источником столь мощных помех, что лучше держаться от нее подальше, также и в целях электрической безопасности. Если же водопровода нет и живете вы в деревянном сельском доме с печным отоплением, обойдите внимательно свое хозяйство – наверняка найдется металлическая труба, глубоко забитая в землю, она и послужит заземлением. Отлично работает водозаборная скважина, подойдет ограда на металлических столбах: можно несколько столбов соединить проволокой, проложенной вдоль изгороди, – получится и крепкая изгородь, и заземление, и противовес одновременно.

Если же и этого нет, придется применить способ, известный еще с 20-х гг.: выкопать в удобном месте яму, желательно до уровня грунтовых вод или хотя бы до уровня, где грунт не промерзает, положить в нее старое ведро, лист железа или корыто (важна площадь, а не название) с припаянным проводом потолще, посыпать сверху солью и древесным углем (чтобы улучшить электропроводность) и закопать, утрамбовывая, – заземление готово. Все части заземления целесообразно делать из одного металла, потому как разнородные металлы образуют гальваническую пару и электрохимическая коррозия быстро разъест все соединения.

#### 2.2.4. Грозозащита

Антенну надо сразу же снабдить грозовым переключателем и разрядником, чтобы обезопасить себя от атмосферного электричества. Когда-то выпускались грозовые переключатели с разрядником, выполненные в виде небольшого рубильничка. Они удобны, хоть и не совсем безопасны: если не успеть заземлить антенну, можно уже во время грозы коснуться рукой контакта, соединенного с отключенной антенной.

Переключателем может послужить тумблер или электрический выключатель SA1 любой конструкции. Схема соединения показана на

рис. 2.12. Смонтировать грозовой переключатель можно на пластинке из любого изоляционного материала, закрепленной на стене или раме окна вблизи ввода снижения. Разрядником служат две металлические пластинки с зубчиками, между которыми оставлен зазор около 1 мм. Параллельно разряднику целесообразно присоединить неоновую лампочку HL1 любого типа – ее вспышки будут сигнализировать об электризации антенны.

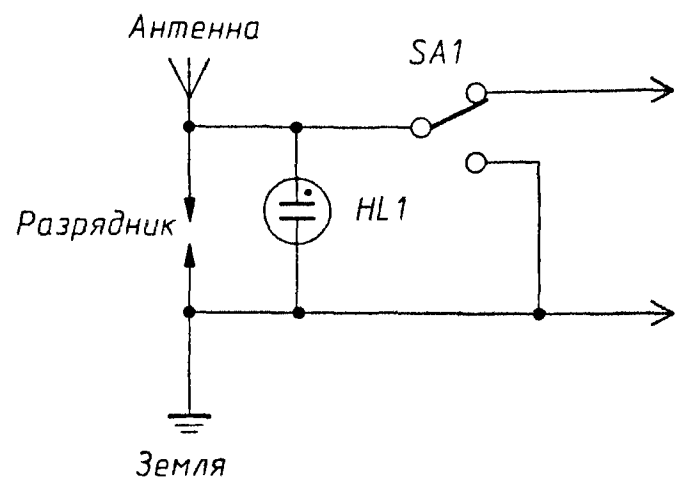


Рис 2 12 Грозопереключателъ

Вы с удивлением обнаружите, что произойти это может не только при грозе, но и в трескучий мороз при снежной метели и при сильном ветре, не говоря уже о пыльной буре. Автор наблюдал электризацию наружной антенны даже при коротком летнем дожде, когда вокруг небольшой тучки голубело ясное небо. Внимание привлекли периодические щелчки из громкоговорителя детекторного приемника: они становились чаще при усилении дождя. Связь приемника с антенной была емкостной. Очевидно, пробивался грозовой разрядник. И действительно, присоединенная параллельно разряднику неоновая лампочка загорелась! Подключенный к антенне электростатический вольтметр показал плавное увеличение потенциала до примерно 1 кВ и резкое падение его в момент щелчка. Собственно, а почему бы дождевым каплям не нести электрического заряда?

А что произойдет, если грозопереключателъ нет, а конец снижения антенны никуда не присоединен и брошен, скажем, на подоконнике? Антенна накопит большой заряд, ее потенциал повысится до десятков и сотен тысяч вольт (мы не шутим), тогда прикосновение к снижению станет смертельно опасным (так погиб Рихман, сподвижник Ломоносова), от провода снижения могут проскочить большие искры и вызвать пожар. Так что сделайте заземление!

Самым же радикальным способом избежать накопления зарядов на проводе антенны (не исключая неоновую лампочку и/или разрядник!) будет постройка детекторного приемника по такой схеме, в которой между антенной и заземлением включена катушка. Катушку, которая «навсегда» гальванически соединит антенну с заземлением, лучше намотать довольно толстым проводом диаметром 0,3–0,5 мм на каркасе из любого изоляционного материала.

Подойдет отрезок пластмассовой трубы, используемой в сантехнике, пластиковая бутылочка из-под шампуня или крема и тому подобное.

Зачем же в этом случае нужен разрядник? Дело в том, что даже при неблизких ударах молний в антенне индуцируется огромная ЭДС в виде коротких импульсов, которые не замыкаются катушкой. Из-за значительной индуктивности ток в ней не успевает нарасти за время действия импульса. Нет разрядника – будет пробит детекторный диод.

### 2.2.5. Антенны для городских условий

Ну а что же делать городскому жителю, который и хотел бы поэкспериментировать с детекторными приемниками, но не имеет возможности взобраться на собственную крышу и установить там большую антенну? Кстати говоря, и на крышу-то влезать незачем, поскольку снижение антенны, проведенное вдоль стены железобетонного дома, эффективно работать не будет. Дело в том, что заземленная арматура стены является неплохим проводящим экраном: силовые линии электрического поля принимаемой волны вблизи стены искривляются и подходят к стене перпендикулярно ей, то есть в горизонтальном направлении. В этих условиях антенна с емкостной нагрузкой (рис. 2.10в), выставленная с балкона на горизонтальном или наклонном шесте длиной метра два-три, может оказаться значительно эффективнее.

Если перед окном имеется дерево или другой возвышающийся предмет, протяните к нему «наклонный луч». Проявите смекалку и посмотрите, нет ли поблизости от окна каких-либо суррогатных антенн, например водосточной трубы или флагштока. К ним вполне можно присоединить провод антенны, и неважно, если труба где-то заземлена или соединяется с крышей, – антенна все равно будет работать, а вот хорошо или плохо, зависит от конкретных местных условий. Только постарайтесь не вывалиться из окна, когда будете тянуться к антеннам. Техника безопасности прежде всего!

Однако совсем необязательно выносить антенну наружу, поскольку поле ДВ и СВ станций хорошо проникает и внутрь зданий. Используйте комнатную антенну! Конфигурация поля внутри зданий непредсказуема, поэтому надо поэкспериментировать. Подберите любой изолированный провод длиной метров 5–10, подсоедините его к приемнику (не забудьте про заземление) и перемещайте провод по комнате и около окна, одновременно настраивая приемник

и наблюдая за громкостью приема. Необязательно провод окажется под потолком: иногда, брошенный на пол, он работает лучше!

Подобрав оптимальное положение провода, закрепите его, спрятав за шторой, под ковром, за диваном, протянув по стыку стены и потолка и т.д. Поскольку в комнате сухо, особых требований к изоляции антенны не предъявляется, провод можно даже прибивать маленькими гвоздиками к плинтусу. Если провод антенны проложен вдоль проводов телефонной или трансляционной сети, не имея с ними контакта, иногда прием улучшается благодаря емкостной связи сети и антенны.

Есть еще одна интересная возможность: иногда в комнате (или в стене комнаты) проходят различные металлические трубы, например центрального отопления. Попробуйте расположить провод комнатной антенны около них, ведь в этих трубах, как и в любой антенне, также наводятся токи электромагнитным полем радиостанций. Если громкость приема увеличивается, намотайте на трубу несколько витков изолированного провода и присоедините конец провода к антенной клемме приемника. Получится конденсатор, обеспечивающий емкостную связь этой суррогатной антенны с приемником. Конечно, если та же труба используется как заземление, успех маловероятен, но все-таки возможен, если точки подключения «антенны» и заземления разнести подальше друг от друга. Очень хорошие результаты могут получиться, если заземление подключено, например, к трубам водопровода, а антенна через емкость связана с трубами отопления.

### **2:2.6. Антенна с магнитной связью**

Что же делать, если опутывать всю квартиру проводами не хочется или домашние не позволяют, а в комнате проходит одна единственная труба, например центрального отопления? И здесь есть выход: автор получил очень неплохие результаты, используя магнитную антенну, размещенную вплотную к трубе и перпендикулярно ей. К последней даже не надо подсоединяться и зачищать на ней краску!

Схема экспериментального приемника показана на рис. 2.13. Колебательный контур приемника образован катушкой магнитной антенны  $L_1$  и КПЕ (любого типа)  $C_1$ . Детектором послужит любой точечный германиевый диод типа Д2, Д9, Д18, Д311, ГД507 и т.д. Блокировочный конденсатор  $C_2$  имеет емкость 680–3900 пФ, телефоны высокоомные. Можно использовать готовую магнитную антенну (вместе с катушкой) от любого транзисторного приемника

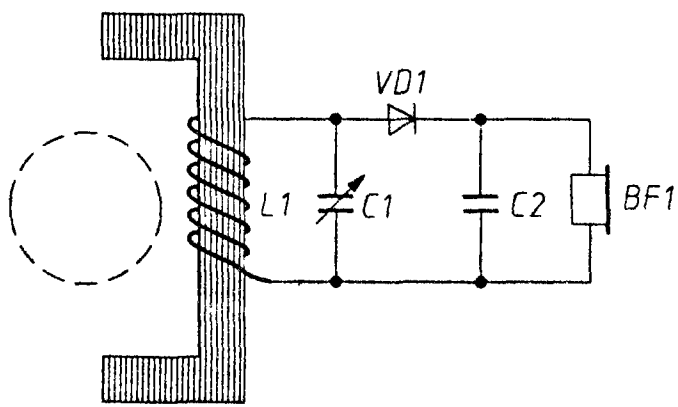


Рис 2 13 Детекторный приемник  
с магнитной антенной

или намотать самому. СВ катушка на стержне магнитной антенны содержит 60–80 витков любого тонкого изолированного провода, ДВ катушка – 180–240 витков.

Стержнем может послужить и половинка ферритового сердечника строчного трансформатора от старого выброшенного телевизора или половинка ферритового кольца от отклоняющей

системы. Число витков катушки в этом случае уменьшается примерно вдвое, поскольку магнитная проницаемость и сечение таких сердечников больше. Способ размещения получившейся антенны около трубы ясен исходя из рис. 2.13, где сечение трубы обозначено штриховой линией. Все детали приемника размещены на небольшой пластинке из гетинакса (текстолита, пластика и т.д.). Избегайте только короткозамкнутых витков вокруг сердечника катушки при закреплении ее на плате.

Поднося сердечник к различным протяженным металлическим предметам, надо отыскать наилучший. В одном административном здании таковыми оказались металлический переплет окна и, как это ни странно, угол лифтовой шахты. Хороших результатов можно ожидать от уединенных металлических мачт, стоящих на земле вертикально (флажштоки, громоотводы и т.п.). К опорам линий электропередач даже и подходить не следует – кроме сильного фона переменного тока и помех, на магнитную антенну ничего не наведется.

Как же работает такая система? Высокочастотный ток, наводимый полем радиостанции и текущий по трубе, создает магнитное поле, силовые линии которого имеют вид концентрических колец, надетых на трубу. Это магнитное поле концентрируется в ферритовом сердечнике и наводит ЭДС в катушке контура. Все очень просто и эффективно.

Связь с трубой можно увеличить еще, если с другой ее стороны поднести вторую половинку сердечника строчного трансформатора, образовав вокруг трубы замкнутую магнитную систему. Индуктивность контура при этом увеличивается, что приходится компенсировать уменьшением емкости конденсатора С1. Попробуйте вообще заменить его постоянным, а настраивать приемник взаимным

перемещением половинок сердечника; но конструкция получается более сложной, поскольку после настройки половинки сердечника надо как-то фиксировать.

## 2.3. МОЩНОСТЬ, ОТДАВАЕМАЯ ПРИЕМНОЙ АНТЕННОЙ

Наше естественное желание – чтобы детекторный приемник «говорил» как можно громче. Что для этого требуется? Повысить напряжение, снимаемое с антенны, ток в проводе антенны или мощность? Ответ однозначен: мощность! Напряжения и токи могут трансформироваться различными способами, повышаться или понижаться, но мощность, равная произведению тока на напряжение, может лишь совершать полезную работу, создавая звук, либо бесполезно превращаться в тепло. Но для расчета мощности все равно придется начать с напряжений и токов.

### 2.3.1. Элементарная теория приемной антенны

Известно, что ЭДС (электродвижущая сила), наводимая полем передающей радиостанции в антенне приемника, может быть определена по формуле  $\varepsilon = E \cdot h_d$ , где  $E$  – напряженность электрического поля радиостанции в точке приема,  $h_d$  – действующая или эффективная высота антенны. Пока мы не будем разделять антенну и колебательный контур, справедливо полагая, что нам следует максимизировать мощность, подводимую от антенны сквозь контур к детектору. Входное сопротивление детектора зависит от схемы, сопротивления нагрузки, а в некоторой степени и от подводимого радиочастотного напряжения и может составлять от единиц до десятков килоом.

Поскольку мощность поступающего на детектор сигнала  $P = U \cdot I$ , где  $U$  – подводимое к детектору напряжение,  $I$  – протекающий через детектор радиочастотный ток, а входное сопротивление  $R_{вх} = U / I$ , то максимизировать мощность можно, изменяя входное сопротивление детектора выбором различных схем его согласования. Подключая детектор через высокочастотный трансформатор, можно, например, увеличивать напряжение, уменьшая ток, или наоборот. Входное сопротивление детектора, пренебрегая небольшой емкостью диода, будем считать активным, то есть поглощающим поступающую на него мощность.

С другой стороны, известно, что источник (антенная цепь) отдает в нагрузку (детектор) максимальную мощность в том случае, когда активное сопротивление источника равно сопротивлению

нагрузки, а реактивное сопротивление источника скомпенсировано включением реактивного сопротивления другого знака. Это обычные условия согласования источника с нагрузкой, известные из курсов электро- и радиотехники. Как их выполнить в реальной ситуации? Логично начать с расчета активного и реактивного сопротивления источника – антенны.

Как мы уже говорили, наиболее мощные радиостанции работают в диапазонах ДСВ. Влажная почва, пресная вода, а тем более морская, обладают на этих частотах свойствами проводника, в котором токи проводимости намного больше токов смещения. В результате волны с горизонтальной поляризацией оказываются у поверхности Земли значительно ослабленными. По этой причине для радиовещания используют волны с вертикальной поляризацией, излучаемые вертикальными антеннами-мачтами, часто с развитой горизонтальной частью (емкостной нагрузкой) и хорошим заземлением.

Вопросы проектирования антенн диапазонов ДСВ были решены еще в ранние годы развития радиовещания [10] и подробно освещены в учебниках 40–50-х гг., этим объясняется «древность» некоторой литературы, приведенной в списке в конце книги. Здесь надо заметить, что антенны обладают свойством обратимости, и та, что хорошо работает на передачу, будет так же хорошо работать на прием. Ее диаграмма направленности, активное и реактивное сопротивления при этом не изменяются.

Эскиз вертикальной антенны с заземлением и распределение тока в ней показаны на рис. 2.14. Распределение тока в антенне с хорошей

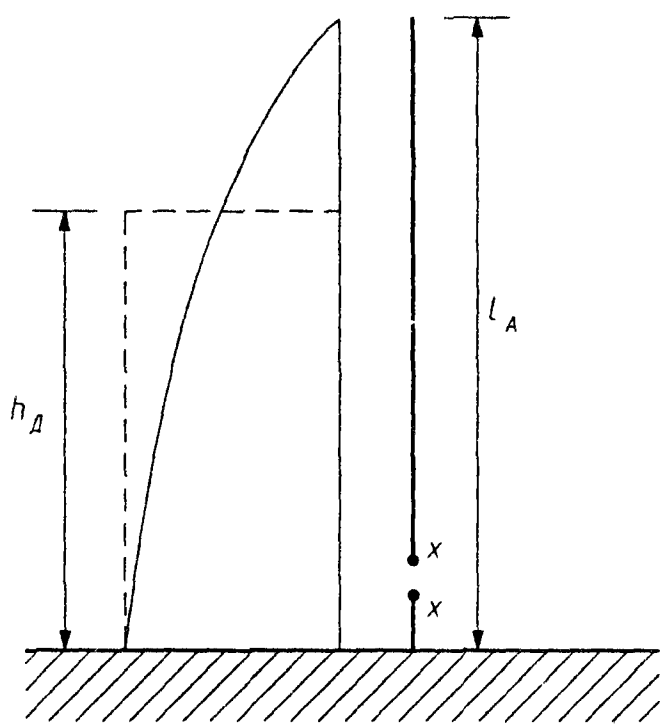


Рис 2 14 Вертикальная антенна

точностью можно считать синусоидальным, с нулем на вершине (по той простой причине, что току на верхнем, как говорят, разомкнутом конце антенны просто некуда течь). Собственной (резонансной) длиной волны антенны называется такая, на частоте которой сопротивление в точках питания  $xx$  становится чисто активным. Из законов электродинамики, в частности, из теории длинных линий, следует, что резонансная длина антенны над землей (проводящей поверхностью) кратна  $1/4$  длины волны.

Первый резонанс (четвертьволновый) наступает на длине волны  $\lambda_0 = 4l_A$ , при этом сопротивление в точках питания  $x$  активно и равно  $37 \text{ Ом}$  – это половина сопротивления полуволнового диполя в открытом пространстве. Более высокочастотные резонансы в данном случае нас не интересуют, поскольку даже четвертьволновую вертикальную антенну построить в любительских условиях практически невозможно. Длина волны, соответствующая первому четвертьволновому резонансу, называется собственной.

### 2.3.2. Сопротивление излучения и действующая высота антенны

Активное сопротивление в точках питания называется сопротивлением излучения  $R_\Sigma$ , поскольку в передающей антенне оно как раз соответствует полезным потерям подводимой мощности на излучение. В случае приемной антенны оно является внутренним сопротивлением того эквивалентного генератора, который развивает сосчитанную нами ЭДС  $\varepsilon = E \cdot h_d$ . Теперь становится понятнее, с чем надо согласовывать входное сопротивление детектора.

Действующая высота антенны получается из следующих соображений (рис. 2.14): если бы ток по высоте антенны не изменялся, то для получения той же эффективности излучения (и приема) антенна должна была бы иметь высоту  $h_d$ . Математически действующую высоту получают интегрированием функции распределения тока. Для четвертьволновой вертикальной антенны  $h_d = \lambda / 2\pi = 0,64l_A$ . Для коротких вертикальных антенн распределение тока приближается к треугольному, а действующая высота – к половине геометрической  $h_d = 0,5l_A$ .

Попытки увеличить собственную длину волны антенны, не увеличивая ее высоты, и привели к появлению антенн с верхней емкостной нагрузкой. Г-образная антенна получается из вертикальной, если ее верхнюю часть согнуть под прямым углом и направить горизонтально. Распределение тока на проводе при этом останется прежним, но принимать волны с вертикальной поляризацией будет только вертикальная часть. Действующая высота при этом тем ближе приближается к геометрической высоте подвеса антенны, чем более развита горизонтальная часть. Распределение тока в вертикальной антенне с горизонтальной частью или любой другой верхней емкостной нагрузкой показано на рис. 2.15.

Для таких антенн  $\lambda_0 = k \cdot l_A$ , где под  $l_A$  следует понимать суммарную длину вертикальной части и всех проводников горизонтальной

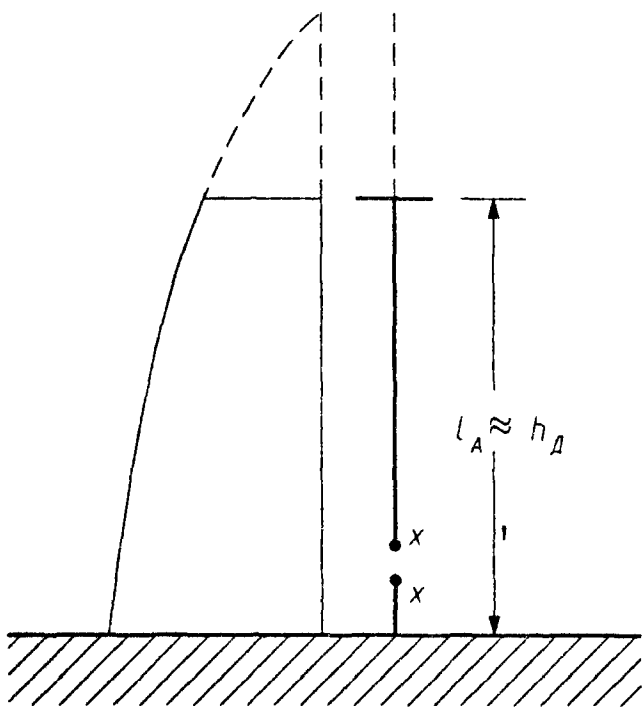


Рис 2 15 Вертикальная антенна с верхней емкостной нагрузкой

части, а коэффициент  $k$  ориентировочно определяется по таблице 2.1 [11].

В большинстве случаев длина волны, на которой работает антенна, значительно больше ее собственной, а сопротивление носит комплексный характер с активной и реактивной составляющими, которые определяются по формулам:  $Z_A = R_\Sigma - jX$ ,  $R_\Sigma = 1600 (h_d / \lambda)^2$ ,  $X = W \operatorname{ctg} (\pi \lambda_0 / 2\lambda)$ , где  $W$  – волновое сопротивление провода антенны, равное примерно 400–600 Ом (возрастает для тонких проводов). Ориентировочные зависимости этих сопротивлений (для тонкой вертикальной антенны) от отношения  $\lambda_0 / \lambda$  показаны на рис. 2.16.

Таблица 2 1 Коэффициенты для определения собственной длины волны антенны

Антенна	$k$
Вертикальная	4
Г-образная с короткой горизонтальной частью	4,5–5
Г-образная с длинной горизонтальной частью	5–6
Т-образная с длинной горизонтальной частью	6–8
Зонтичная с 4–6 лучами	6–10

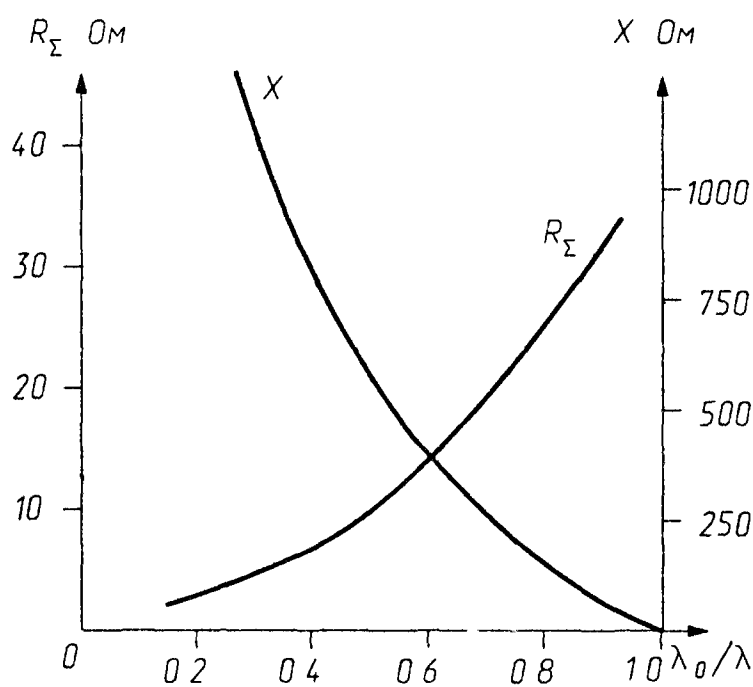


Рис 2 16 Активное и реактивное сопротивления короткой вертикальной антенны

Для антенн, работающих на волнах длиннее собственной, реактивное сопротивление носит емкостный характер, сильно возрастающая с укорочением антенны (поскольку уменьшается емкость). Для его компенсации в цепь антенны включают индуктивность (удлиняющую катушку), и эквивалентная схема антенной цепи приобретает вид, показанный на рис. 2.17. Заметим, что она ничем не отличается от

схемы колебательного контура, настроенного в резонанс с частотой источника ЭДС! Добротность получившегося контура может быть очень высокой, поскольку реактивное сопротивление намного больше активного.

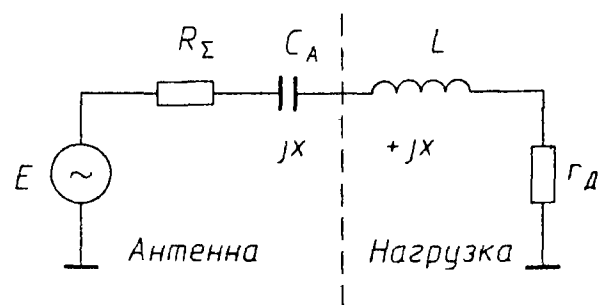


Рис 2.17 Эквивалентная схема антенной цепи

### 2.3.3. Мощность, отдаваемая антенной без потерь

Теперь появилась возможность подсчитать мощность, передаваемую антенной в нагрузку  $r_d$  (детектор), причем потери в антенной цепи учитывать пока не будем. При равенстве входного сопротивления детектора и активной составляющей сопротивления антенны (сопротивления излучения)  $R_\Sigma = r_d$  мощность в нагрузке максимальна и равна:  $P_0 = (E / 2)^2 / R_\Sigma$ . Подставляя в эту формулу выражения для ЭДС  $E$  и сопротивления излучения  $R_\Sigma$ , получаем:

$$P_0 = E^2 h_d^2 \lambda^2 / 4 \cdot 1600 h_d^2 = E^2 \lambda^2 / 6400.$$

Выведенная формула, кстати, не встречавшаяся автору ранее в радиотехнической литературе, определяет максимальную мощность, которая теоретически может быть получена от идеальной антенны без потерь. Интересно отметить, что от размеров и конструкции антенны эта мощность не зависит при одном лишь условии, что они малы по сравнению с длиной волны (для больших антенн, в частности направленных, могут быть получены и большие мощности).

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

- верхний теоретический предел снимаемой с антенны мощности зависит только от напряженности поля радиостанции в месте приема и длины волны;
- прием лучше вести на длинных и сверхдлинных волнах;
- антенну нужно согласовывать по активным сопротивлениям детектора и антенны, а также компенсировать ее реактивное сопротивление. Фактически это означает, что надо настраивать антенную цепь в резонанс, используя ее как контур, и регулировать связь с нагрузкой (детектором).

Для примера рассчитаем максимальную мощность, которую можно получить из поля ДВ радиостанции мощностью 500 кВт на частоте 171 кГц ( $\lambda = 1753$  м) на расстоянии 300 км, где напряженность поля составляет 20 мВ/м:  $P_0 = 0,02^2 \cdot 1753^2 / 6400 = 0,19$  Вт. Такую мощность

отдает, например, батарея с напряжением 9 В при токе 20 мА. Ее хватило бы не только для громкой работы транзисторного приемника, но даже для зажигания небольшой лампочки накаливания!

### 2.3.4. Антенная цепь с потерями. КПД антенны

К сожалению, реальная ситуация далека от идеальной. Дело портит сопротивление потерь  $r_{\text{п}}$ , складывающееся из сопротивления прово-

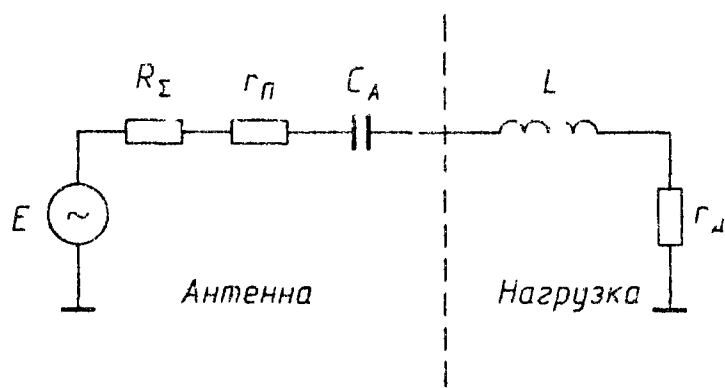


Рис 2 18. Эквивалентная схема антенной цепи с потерями

да антенны, активного сопротивления согласующей катушки  $L$  (рис. 2.18) и сопротивления заземления. КПД антенной цепи определяется по той же формуле, что и для колебательного контура с потерями, приведенной нами ранее:  $\text{КПД} = R_{\Sigma} / (R_{\Sigma} + r_{\text{п}})$ , где  $R_{\Sigma}$  — сопротивление излучения антенны, а  $r_{\text{п}}$  — сопротивление потерь в антенной цепи.

Эта формула одинаково справедлива и для приемных и для передающих антенн, поэтому напрашивается обескураживающий вывод: чтобы снять с приемной антенны рассчитанную в нашем примере мощность около 0,2 Вт, ее конструкция должна быть примерно такой же, как и передающей антенны, поскольку уж на радиоцентре-то приняли все меры по повышению КПД! Овчинка вряд ли стоит выделки, наша приемная антенна будет гораздо скромнее, ее КПД будет намного ниже, а снимаемая мощность окажется равной  $P = P_0 \cdot \text{КПД}$ .

Вычисление КПД антенны — задача вполне решаемая. По данным справочника Г. Г. Гинкина [5], погонное сопротивление медного провода диаметром 1 мм постоянному току составляет 22,5 Ом/км и возрастает из-за скин-эффекта (см. ниже) примерно в 2 раза на частоте 200 кГц. Для провода диаметром 2 мм аналогичные значения будут 5,5 Ом/км и 3 раза. Таким образом, сопротивление провода антенны длиной 20–50 м можно оценить в 0,3–3 Ом. Сопротивление заземления обычно намного больше. М. В. Шулейкин в свое время предложил эмпирическую формулу для расчета сопротивления заземления:  $r_{\text{пз}} = A\lambda / \lambda_0$ , где коэффициент  $A$  изменяется от 0,5–2 для хорошего заземления до 4–7 для плохого [11]. Сопротивление согласующей катушки равно ее реактивному сопротивлению  $X$ , деленному на конструктивную добротность. Полное сопротивление потерь равно сумме всех перечисленных.

Используя данные приведенного выше примера ( $\lambda = 1753$  м,  $E = 20$  мВ/м), рассчитаем КПД и мощность, отдаваемую Г-образной антенной длиной 20 м с высотой подвеса 10 м. По таблице определим  $k = 6$ . Собственная длина волны антенны будет:  $\lambda_0 = 6(10 + 20) = 180$  м, что лишь немного короче длины волны, соответствующей верхней части СВ диапазона. Отношение  $\lambda / \lambda_0 = 10$ , сопротивление заземления – 5–70 Ом, в зависимости от его качества. При диаметре провода антенны 1 мм его сопротивление составит всего 1,3 Ом, а волновое сопротивление – порядка 500 Ом. Реактивное сопротивление антенны (и катушки)  $X_A = X_L = \rho = 500 \operatorname{ctg}(\pi / 20) = 3200$  Ом. Задав конструктивную добротность согласующей катушки равной 320, найдем ее активное сопротивление  $r = \rho / Q = 3200 / 320 = 10$  Ом.

Общее сопротивление потерь, равное сумме всех найденных, составит 16–80 Ом, тогда как сопротивление излучения всего  $1600(10 / 1753)^2 = 0,05$  Ом. КПД составит  $R_\Sigma / (R_\Sigma + r_{\text{п}}) = 0,3\text{--}0,06\%$ , а отдаваемая в детектор мощность не более  $0,19 \cdot 0,003 = 0,5$  мВт, да и то при очень хорошем заземлении. Обратите внимание на его роль: основные потери антенной цепи – это потери в заземлении!

Полученной мощности более чем достаточно для громкой работы телефонов, и «с натяжкой» может хватить для громкоговорителя. Но не забывайте, что в нашем примере расстояние до радиостанции довольно велико – 300 км. На расстоянии 100 км напряженность поля втрое больше, а получаемая от антенны мощность – в 9 раз. Этого уже достаточно для громкоговорящего приема. Об этом поговорим ниже, пока же займемся вопросом усовершенствования приемника.

## 2.4. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДЕТЕКТОРНОГО ПРИЕМНИКА

Первый вопрос, который надо решить, – по какой схеме собрать антенную цепь с контуром, и второй – как согласовать с этим контуром детектор.

### 2.4.1. Согласование антенной цепи

Снова обратимся к эквивалентной схеме (рис. 2.18) и заметим, что контур у нас уже есть, он содержит емкость антенны  $C_A$  и катушку  $L$ , согласующую реактивные сопротивления цепи. Как и полагается при резонансе, емкостное сопротивление антенны равно индуктивному сопротивлению катушки, причем они по абсолютной величине намного больше активных сопротивлений, что должно обеспечить достаточную нагруженную добротность контура.

С чем теперь надо согласовывать приведенное сопротивление детектора? В антенном контуре без потерь мы согласовывали его с сопротивлением излучения антенны. Теперь к нему добавилось сопротивление потерь и оба они служат как бы внутренним сопротивлением источника сигнала. Условие передачи максимальной мощности из антенной цепи в детектор выглядит теперь так:  $R_{\Sigma} + r_{\Pi} = r_{\text{д}}$ . В реальной любительской антенне сопротивлением излучения вполне можно пренебречь по сравнению с сопротивлением потерь, тогда  $r_{\Pi} = r_{\text{д}}$ . Как это ни парадоксально звучит, детектор надо согласовывать с сопротивлением потерь антенного контура!

Выражение для снимаемой с антенны мощности теперь можно записать так:  $P = E^2 h_{\text{д}}^2 / 4r_{\Pi}$ . Из формулы ясно, что для повышения мощности надо стараться увеличить действующую высоту антенны и уменьшить ее сопротивление потерь. Кстати, кто из читателей захочет потренироваться в алгебре, может выразить действующую высоту через сопротивление излучения и подставить в последнюю формулу – он снова получит  $P = P_0 \cdot \text{КПД}$ .

Входное сопротивление диодного детектора при не слишком слабых сигналах, как показано в курсах радиоприемных устройств, равно примерно половине нагрузочного. С высокоомными телефонами, имеющими на звуковых частотах сопротивление порядка 10–20 кОм, оно составит 5–10 кОм. Разумеется, такой детектор нельзя включить последовательно в антенный контур, как показано на эквивалентной схеме на рис. 2.18, поскольку активное сопротивление тогда будет больше реактивного и контур потеряет свои резонансные свойства.

Попробуем подключить детектор параллельно катушке. Мы уже умеем пересчитывать последовательное сопротивление в параллельное, так что требуемое параллельное сопротивление детектора составит  $R_{\text{д}} = \rho^2 / r_{\text{д}}$ . Для рассмотренного выше примера, где  $\rho = 3200$  Ом, а  $r_{\text{д}} = r_{\Pi} = 16\text{--}80$  Ом,  $R_{\text{д}}$  должно быть 120–600 кОм, а у нас всего 5–10 кОм.

В простейших приемниках, где детектор подключен параллельно контуру, последний слишком сильно нагружается детектором, хотя при этом и получается неплохая громкость и чувствительность, но селективность оказывается недостаточной из-за низкой добротности сильно нагруженного контура – часто две-три станции прослушиваются одновременно. Элементарный расчет показывает, что это действительно так. В нашем примере нагруженная добротность  $Q = R_{\text{д}} / \rho = 1,5\text{--}3$ . Это вообще не добротность – она слишком низка!

### 2.4.2. Оптимизация антенной цепи и связи с детектором

Ослабить нагрузку контура детектором можно, например, подключив детектор к контурной катушке автотрансформаторно, либо с помощью катушки связи. Посмотрим теперь на рис. 2.19, какой приемник у нас получился. Емкостью контура служит емкость антенны. Поскольку изменять ее для настройки вряд ли возможно, на частоту радиостанции настраиваемся индуктивностью  $L1$ . Проще всего вдвигать в катушку ферритовый сердечник.

Детектор подключен к отводу катушки. Коэффициент трансформации  $n$  равен отношению числа витков от заземленного вывода до отвода к полному числу витков. Сопротивления трансформируются в  $n^2$  раз (в  $n$  раз уменьшается напряжение, но во столько же раз возрастает ток). В нашем примере сопротивление надо понизить в 25–60 раз, следовательно, отвод надо сделать от  $1/5$ – $1/8$  общего числа витков.

Ослабляя связь контура с детектором (передвигая отвод вниз по виткам катушки), можно повысить добротность, а следовательно, и селективность. Уменьшения громкости при этом не заметно, поскольку в контуре с большей добротностью развивается и большее напряжение сигнала, что и компенсирует уменьшение сигнала на детекторе. Собственно говоря, громкость и не должна уменьшаться, поскольку при согласовании сопротивлений источника и нагрузки в последнюю отдается максимальная мощность.

Итак, мы отказались от КПЕ, предполагая, что максимальный КПД антенной цепи получается при полном включении антенны в контур и отсутствии контурного конденсатора. При этом настройка ведется индуктивностью, а контурной емкостью служит емкость антенны. Подключение емкости параллельно катушке (рис. 2.20а) ухудшает КПД антенной цепи, это можно показать математически, но довольно сложно. Приведем простое нестрогое рассуждение: в контуре с конденсатором через катушку потекут два тока, от антенны и от конденсатора. Фазы их будут близки, потому что обе ветви – емкостные. В результате ток через катушку возрастет, возрастут и потери в ней. А отдаваемая антенной мощность останется прежней, следовательно КПД уменьшится.

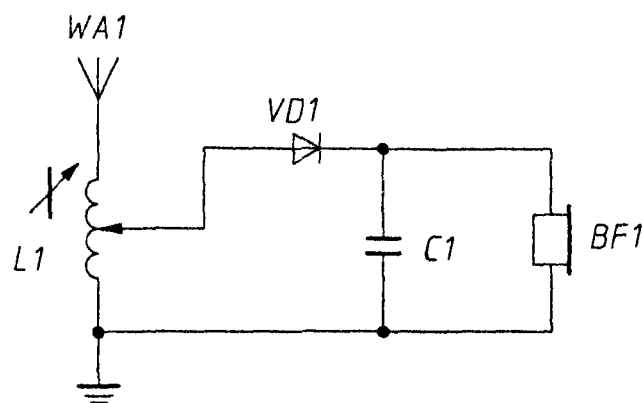


Рис 2.19 Приемник с автотрансформаторной связью с детектором

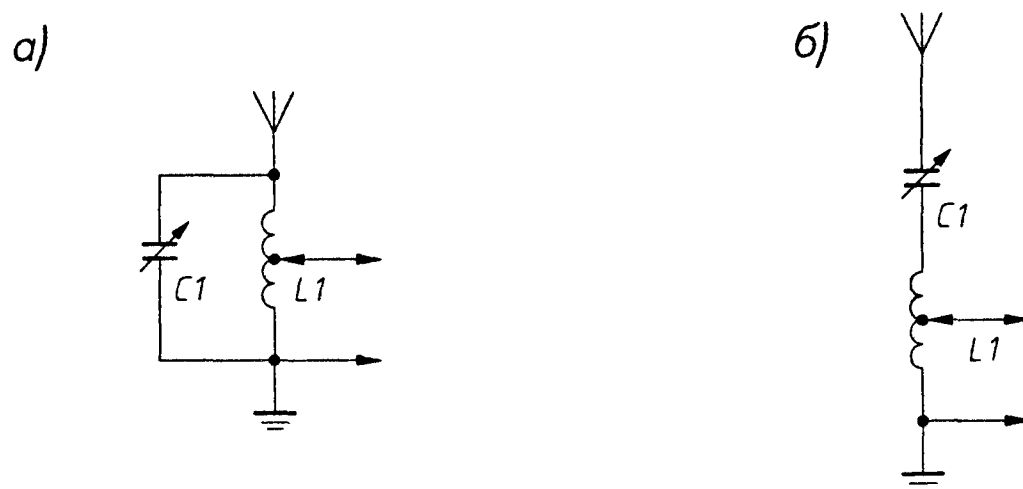


Рис 2 20 Параллельная и последовательная настройка антенной цепи

Если же антенна велика и имеет значительную емкость, конденсатор настройки использовать можно, но включить его надо последовательно с антенной (рис. 2.20б). Этот приемник при большой антенне обладает большей селективностью, чем предыдущий (рис. 2.19), поскольку включением емкости мы повысили реактивное сопротивление в антенной цепи, а следовательно, и нагруженную добротность.

В этом месте любопытно снова обратиться к истории и посмотреть, не было ли таких схем в эпоху расцвета детекторных приемников? Были! Катушка-автотрансформатор – не что иное, как резонансный трансформатор Тесла, или «джиггер», предложенный еще Маркони. Когда появились радиовещательные станции и возникла необходимость перестраивать приемник по частоте, стали делать вариометры – катушки переменной индуктивности.

Вариометр обычно содержал две цилиндрических катушки, одна внутри другой, причем меньшая поворачивалась ручкой настройки на  $180^\circ$ . При согласном направлении витков индуктивность возрастала, а при встречном – уменьшалась. В другом варианте вариометра сближались две плоские катушки с сотовой намоткой. Вариометры использовались в очень популярных у нас детекторных приемниках Шапошникова и ЛДВ-5, разработанных в начале 20-х гг. Тогда основным и самым распространенным типом приемника был детекторный.

С появлением КПЕ их, конечно, стали применять для настройки, ведь изготовить хороший вариометр довольно сложно. Но наряду с обычным подключением КПЕ параллельно катушке (схема параллельной настройки, или «длинных волн») не менее широко использовалась и схема последовательной настройки, или схема «коротких волн».

Вернемся в наши дни. Раньше не было ферритов, теперь же регулировать индуктивность очень удобно простым перемещением

сердечника. В приемнике с автотрансформаторной связью все, казалось бы, хорошо, но... регулировать связь детектора с контуром не особенно удобно, поскольку требуется изготавливать катушку с множеством отводов и все равно регулировка происходит скачками. Займемся дальнейшими усовершенствованиями.

### 2.4.3. Емкостная связь детектора с антенной цепью

Известен способ согласования сопротивлений с помощью емкостной связи, при котором емкостное сопротивление конденсатора связи должно равняться среднему геометрическому из согласуемых. В нашем приемнике (согласуются сотни и единицы килоомов) оно составит десятки килоомов, а соответствующая емкость – единицы-десятки пикофарад! Выходит, что связь можно регулировать триммером – обыкновенным подстроечным конденсатором типа КПК или КПМ. Но конденсатор связи разрывает цепь детекторного диода по постоянному току; не беда, поставим второй диод, как показано на рис. 2.21. Входное сопротивление  $R_d$  в этой схеме достигает мегаомов при небольшой емкостной составляющей. Входная емкость такого детектора не превосходит емкости конденсатора связи, она компенсируется при настройке антенного контура.

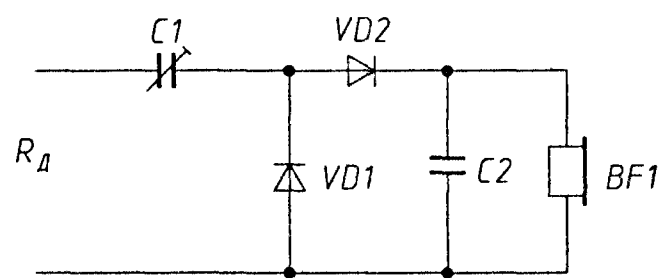


Рис 2.21 Емкостная связь с детектором

На первый взгляд, получился детектор с удвоением напряжения. На самом деле, удвоения здесь нет из-за малой емкости C1. Во время отрицательного полупериода колебаний в контуре конденсатор C1 заряжается через диод VD1, а во время положительного – отдает свой заряд через диод VD2 в нагрузку – телефоны BF1, зашунтированные блокировочным конденсатором C2 для сглаживания пульсаций. Чем меньше емкость C1, тем меньше заряд и, соответственно, нагрузка на контур.

### 2.4.4. Практическая конструкция «универсального» детекторного приемника

Для экспериментальной проверки всех изложенных выводов был построен «универсальный» детекторный приемник, схема которого показана на рис. 2.22. Антенна подключается к гнезду XS1 (последовательная настройка) или XS2 (настройка индуктивностью).

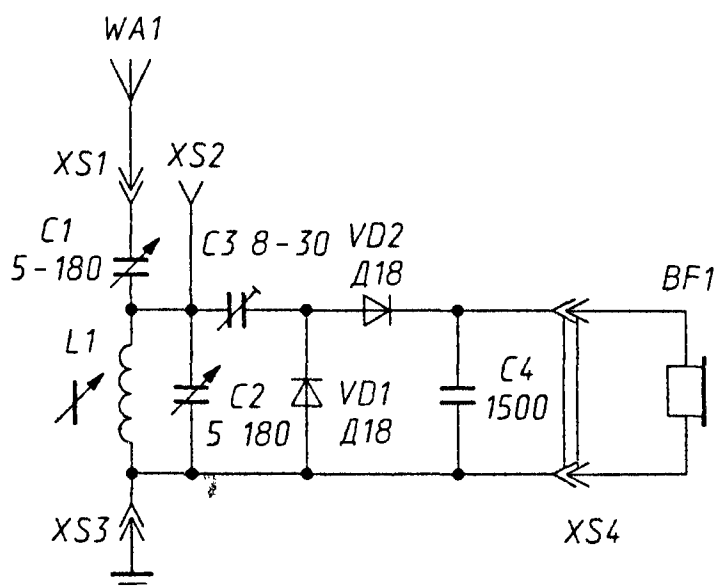


Рис. 2.22. «Универсальный»  
детекторный приемник

Таким включением конденсаторов приближение рук к приемнику меньше влияет на настройку контура.

Практика показала, что конденсатор  $C2$  почти всегда был установлен в положение минимальной емкости и таким образом исключен из работы. Его емкость приходилось увеличивать лишь для настройки на частоты 150–170 кГц. В основном же настройка велась индуктивностью. Гнездо  $XS1$  и конденсатор  $C1$  использовались лишь при настройке на частоты 1000–1600 кГц и при желании уменьшить громкость за счет ослабления связи с антенной. Можно обойтись одним конденсатором  $C1$ : для перехода к параллельной схеме настройки в этом случае надо присоединить антенну к гнезду  $XS2$ , а гнезда  $XS1$  и  $XS3$  замкнуть перемычкой.

В качестве  $L1$  использовалась длинноволновая катушка магнитной антенны, содержащая 240 витков провода ПЭЛ 0,2, намотанных в один слой виток к витку на каркасе диаметром 12 мм. Еще лучше использовать пластмассовый каркас от той же антенны, имеющий 10–12 секций, в которых равномерно внавал наматываются витки. Лучший провод для катушки – литцендрат ЛЭШО 7×0,07 или подобный. Литцендрат содержит много тонких жилок эмалированного провода, обмотанных общей шелковой изоляцией. Для настройки в каркас вдвигался круглый стержень диаметром 10 мм и длиной 100 мм из феррита 400НН от той же антенны.

Диапазон перестройки приемника индуктивностью зависит от емкости антенны. С наружной антенной длиной около 7 м он получился от 200 кГц (при полностью вдвинутом стержне) до примерно 1000 кГц (при удалении стержня). КПЕ  $C1$  при этом устанавливался в положение максимальной, а  $C2$  – минимальной емкости.

Два малогабаритных КПЕ с твердым диэлектриком – из наборов для радиолюбителей или от портативных транзисторных приемников – установлены просто для расширения возможностей и упрощения коммутации при переходе к схеме параллельной настройки. Роторные пластины КПЕ должны соединяться с антенной или заземлением, но не с верхним (по схеме) выводом катушки  $L1$ . При именно

Конструкция приемника изображена на рис. 2.23. Он собран в небольшой пластмассовой коробочке габаритами 20×40×120 мм, которую удобно держать в руке при настройке. Ферритовый стержень вдвигается в катушку снизу сквозь отверстие в торцевой стенке. На стержне белой краской полезно нанести деления. В качестве разъемов XS1 – XS3 использованы приборные гнезда под штырьки диаметром 1,7 мм, а в качестве XS4 – розетка от малогабаритных телефонов. Расположение деталей понятно из рисунка.

С упомянутой антенной и заземлением на трубы центрального отопления приемник показал отличные результаты, принимая все без исключения мощные московские ДВ и СВ радиостанции. Регулируя связь триммером С3, легко было получить достаточную селективность при нормальной громкости звучания.

Выяснилось и еще одно достоинство: благодаря токовому питанию детектора через большое емкостное сопротивление конденсатора связи С3 сглаживается «ступенька» на вольт-амперной характеристике диодов. По этой причине кремниевые диоды (с порогом открывания 0,5 В) работают в приемнике почти так же хорошо, как германиевые (с порогом 0,15 В), но только при не слишком слабых сигналах.

Более того, оказалось возможным подключать к приемнику и низкоомные телефоны с сопротивлением 50–200 Ом, что совершенно недопустимо в традиционном варианте. Емкость конденсатора связи при этом должна быть несколько больше – до 40–50 пФ, а громкость звучания получается несколько меньше из-за значительных потерь на прямом сопротивлении диодов.

#### 2.4.5. Варианты приемника с емкостной связью

Высокая чувствительность к слабым сигналам описанного детектора навела на мысль испытать простейший бесконтурный вариант. Собрать приемник по схеме (рис. 2.24) оказалось делом нескольких минут – все детали были подпаяны к телефонным гнездам, а антенна представляла собой полтораметровый отрезок монтажного провода с «крокодил» на конце для подвеса провода к веткам деревьев или другим окрестным предметам. Противовесом (вместо заземления)

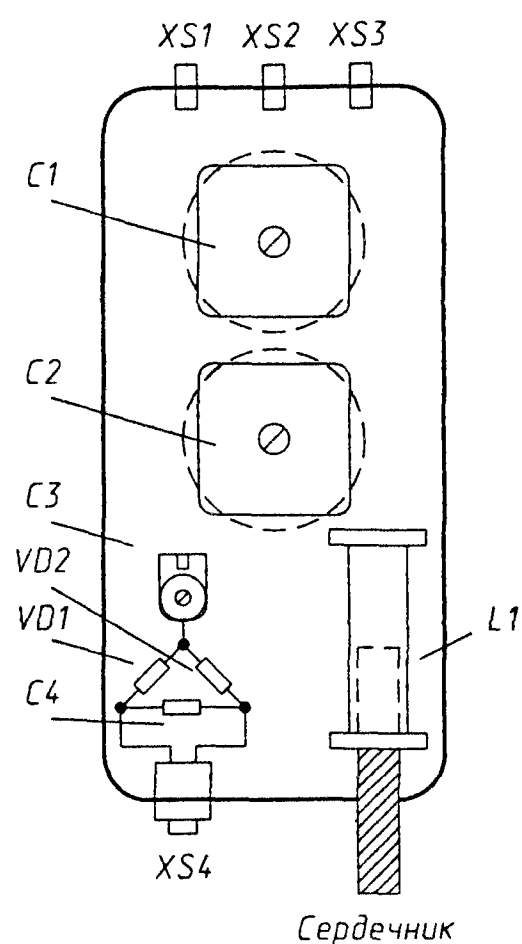


Рис. 2.23. Конструкция «универсального» детекторного приемника

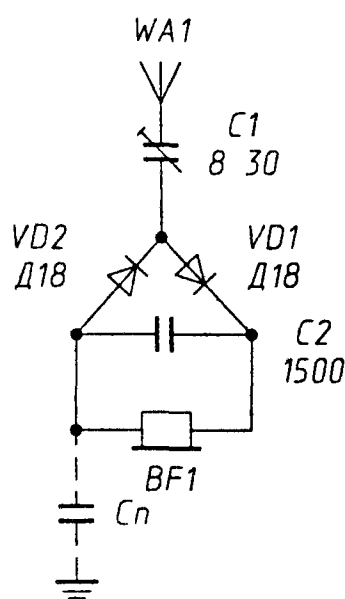


Рис. 2.24. Простейший бесконтурный детекторный приемник

служил шнур телефонов, имеющий некоторую емкость  $C_n$  на тело слушателя и далее на землю.

Даже в таком примитивном варианте удалось прослушать работу нескольких, наиболее мощных радиостанций. Этот приемник практически не воспринимает низкочастотных наводок, например, от проводов электросети – им препятствует малая емкость конденсатора связи  $C_1$ , через который поступает только высокочастотный сигнал. Ток же звуковых частот полностью замкнут в изолированной цепи телефонов BF1 и диодов VD1, VD2.

Нельзя сказать, чтобы схема описанного детекторного приемника представляла собой что-то новое – полумостовой выпрямитель, использованный в этом приемнике, давно и хорошо известен. Его часто применяют в индикаторах поля [13], схема которых полностью совпадает с рис. 2.24 за исключением того, что вместо телефонов включена измерительная головка с током полного отклонения 50–100 мкА. Удивительно другое – никто не догадался использовать емкостную связь диодов с контуром в детекторном приемнике!

Похожий детекторный приемник уже был описан несколько лет назад В. Бесединым в журнале «Радиолюбитель» [14], но автор дал совершенно неверную трактовку его работы, и вероятно поэтому статья не получила должного отклика. Правильная схема приемника В. Беседина приведена на рис. 2.25. Она отличается от авторской лишь наличием паразитной емкости между телефонами и землей  $C_n$ , которая играет роль конденсатора связи и согласует контур с детек-

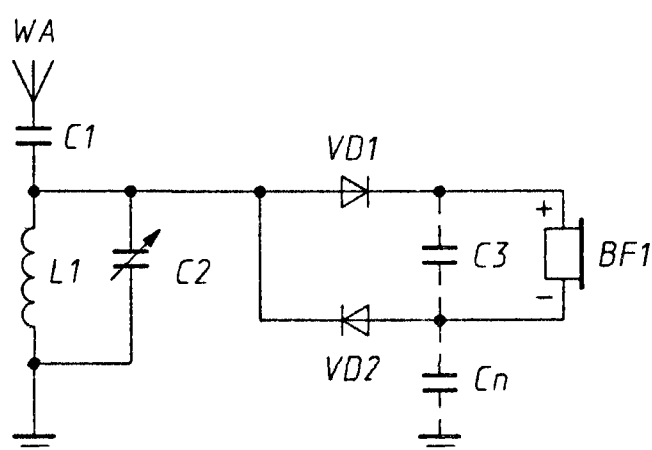


Рис. 2.25. Детекторный приемник В Беседина

тором. Порядок включения емкости связи и детектора в последовательной цепи значения не имеет. По счастливому стечению обстоятельств емкость  $C_n$  оказалась близка к оптимальной. Но ее-то автор и не учел! Что же касается экспериментальных результатов, то они, как это следует из публикации, оказались прекрасными.

## 2.5. ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ДЕТЕКТОРНЫЕ ПРИЕМНИКИ

Слово «высококачественный» подразумевает улучшение параметров и снижение искажений. Главный параметр любого радиоприемника – селективность, поэтому с нее и начнем.

### 2.5.1. Двухконтурные приемники

Лучшую селективность, то есть лучшую отстройку от сигналов мешающих станций, дают детекторные приемники с настроенной антенной цепью и отдельным контуром в цепи детектора, схемы которых показаны на рис. 2.26. Если антенна большая и катушка L1 имеет большую индуктивность, лучше применить последовательную схему настройки (рис. 2.26а), а при короткой антенне и недостаточной индуктивности L1 – параллельную (рис. 2.26б). Катушки наматываются на отдельных каркасах и настраиваются отдельными КПЕ C1 и C2.

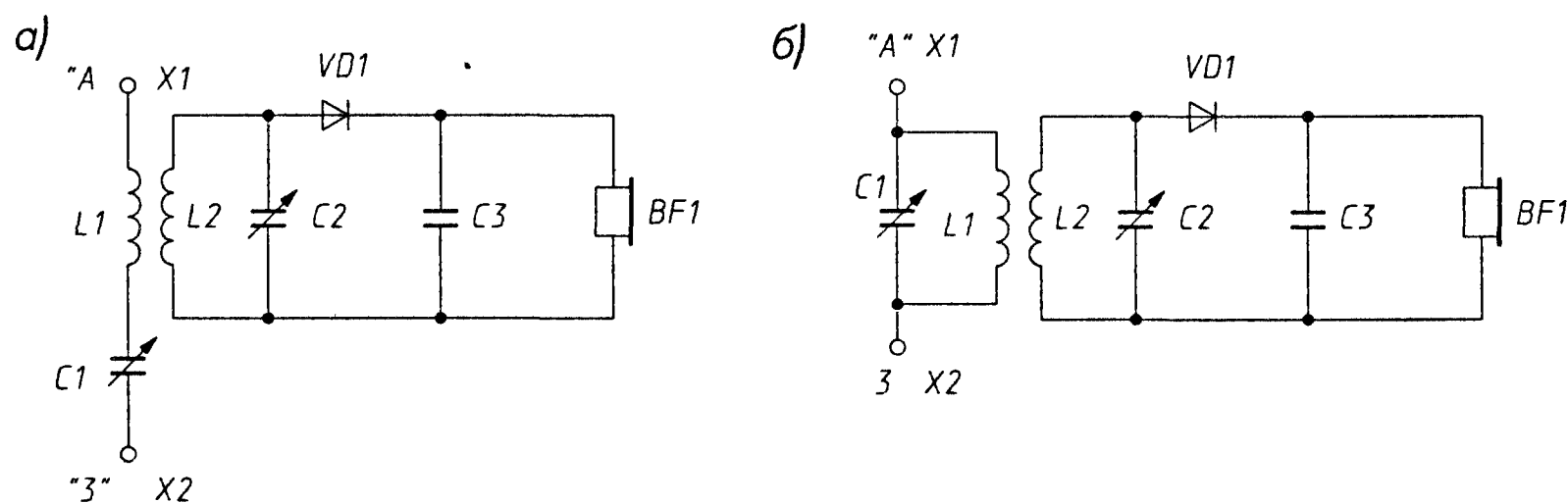


Рис 2.26. Двухконтурные детекторные приемники

Можно настраивать катушки и ферритовыми стержнями от магнитных антенн. Настройка получается довольно сложной, поскольку регулировать надо три параметра – две частоты настройки контуров и связь между катушками, сближая и раздвигая их каркасы, но тем интереснее процесс, к тому же можно добиться неплохих результатов по громкости и качеству приема. Данные катушек такие же, как в предыдущем случае, КПЕ могут быть любого типа, с максимальной емкостью не менее 150–200 пФ (подойдут катушки от любых старых радиоприемников). Если используются двухсекционные блоки КПЕ, обе секции для расширения диапазона перестройки лучше соединить параллельно.

Полное подключение детектора ко вторичному контуру, казалось бы, противоречит тому, что мы говорили выше. Оно неизбежно приведет к сильному шунтированию вторичного контура входным сопротивлением детектора и к понижению его добротности. Все так, но в данном случае это хорошо. Вспомните формулу для КПД (а по сути – коэффициента передачи мощности  $K$ ) колебательного контура, нагруженного детектором, из раздела 2.1.1:  $K = 1 - Q / Q_0$ . Сильно нагружая вторичный контур, мы приближаем его коэффициент передачи к единице.

Низкая селективность вторичного контура добавляется к селективности антенного (первичного) контура, увеличивая ее. А вносимое в антенный контур активное сопротивление регулируется связью катушек, таким образом достигается согласование, обеспечивающее максимальную мощность на детекторе.

Селективность двухконтурного детекторного приемника заметно выше, чем одноконтурного. Так, например, если у одиночного контура при удвоении расстройки ослабление возрастает на 6 дБ, то у двухконтурного фильтра – на 12 дБ. Другими словами, крутизна скатов резонансной кривой при больших расстройках составляет, соответственно, 6 и 12 дБ на октаву. Это позволяет нагрузить и антенный контур сильнее, тем самым получив плоскую вершину резонансной кривой при селективности, достаточной для того, чтобы соседние по частоте станции вообще не были слышны при настройке на желаемую.

Двухконтурный приемник особенно рекомендуется для высококачественного приема, поскольку легко позволяет прослушивать всю полосу модулирующих частот радиостанции. Ограничивают качество звучания в детекторном приемнике телефоны, других источников искажений нет, если не считать детектора огибающей, вносящего, как показывает теория, до нескольких процентов нелинейных искажений. По сравнению с тем, что делают со звуком электромагнитные телефоны, это очень мало.

## 2.5.2. Использование высококачественных телефонов

Промышленность выпускает высококачественные телефоны для любителей музыки с очень высокими параметрами – широкой полосой воспроизводимых частот и малыми нелинейными искажениями. Имеются в виду не наушники от плеера размером с ноготок и довольно низкой отдачей, а солидные стереотелефоны с мягкими накладками, удобно сидящими на голове и защищающими от посторонних шумов. Из отечественных к таким относятся, например

ТДС-1 и ТДС-6. В них установлены две динамические головки с сопротивлением порядка 8 Ом. Телефоны подключаются стандартным пятиштырьковым разъемом.

Непосредственно к детектору эти телефоны подключить нельзя – необходим переходной трансформатор. Подойдет любой выходной трансформатор от лампового радиоприемника, звуковой трансформатор от устаревшего телевизора с ламповым УМЗЧ и даже трансформатор от трансляционного громкоговорителя. Коэффициент трансформации у них порядка 35–40, что дает коэффициент трансформации сопротивления 1200–1600 и позволяет преобразовать сопротивление двух параллельно включенных телефонов, равное 4 Ом, во вполне приемлемое для детекторного приемника сопротивление 5–6 кОм. Схема «переходника» показана на рис. 2.27.

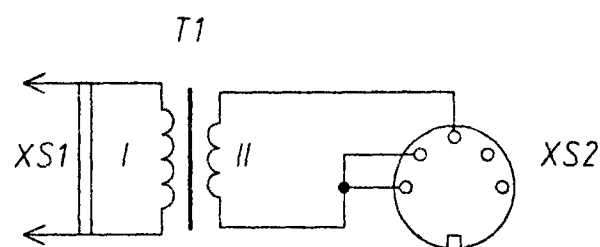


Рис 2 27  
Переходной трансформатор для стереотелефонов

Не следует опасаться, что относительно крупногабаритный и тяжелый трансформатор не подходит для работы при малых мощностях сигнала. Напротив, поскольку обмотки выполнены довольно толстым проводом, а сердечник работает при очень малых намагничивающих полях, потери и искажения в большом трансформаторе чрезвычайно малы. Можно попробовать применить и малогабаритный трансформатор, но при этом есть опасность ухудшения воспроизведения нижних частот из-за недостаточной индуктивности обмоток.

Малогабаритные трансформаторы, например выходной от устаревших транзисторных радиоприемников, имеют меньший коэффициент трансформации и рассчитаны на установку в транзисторных двухтактных УМЗЧ. Средний вывод их первичной обмотки не используется. Главный их недостаток – малая индуктивность обмоток, которая наверняка ухудшит воспроизведение нижних звуковых частот.

Если понадобится еще повысить сопротивление, пересчитанное к первичной обмотке, два стереотелефона можно включить последовательно. Их сопротивление тогда окажется равным 16 Ом. Простейший способ – подключиться к выводам 1 и 2 пятиштырькового разъема, оставив вывод 3 свободным. Недостаток такого способа в том, что стереотелефоны будут создавать противофазные акустические колебания. Звуковая картина будет размытой и окажется где-то внутри головы слушателя. В этом, кстати, есть и своя прелесть. Устранить этот эффект просто – надо поменять местами

выводы одного из телефонов. Тогда они заработают синфазно и звуковая картина окажется перед слушателем.

Автором проведены сравнительные испытания чувствительности высокоомных телефонов ТА-4 и стереотелефонов ТДС-1 с трансформатором от трансляционного громкоговорителя ТАГ-III-1. Стереотелефоны присоединялись ко вторичной обмотке трансформатора параллельно. Оказалось, что оба типа телефонов создают примерно одинаковую громкость звука при одинаковом напряжении ЗЧ. Однако мощность, подводимая к стереотелефонам, была несколько больше из-за меньшего их сопротивления, приведенного к первичной обмотке. Порог чувствительности составил около 5 мВ, удовлетворительная громкость получена при 10 мВ и достаточно громкий звук – при 20–30 мВ. Любопытно сосчитать, что для нормального прослушивания звука в телефонах достаточна мощность порядка единиц микроватт.

Бытует мнение, что высококачественный прием в диапазонах ДСВ невозможен, особенно в вечернее время из-за высокого уровня помех, создаваемых электросетью, телевизорами, компьютерами и другими подобными устройствами. Практика эксплуатации детекторных приемников показала, что к ним это совершенно не относится: с электросетью они не соединены, а чувствительность их столь низка, что помехи не прослушиваются и качество звучания местных радиостанций остается высоким в любое время суток.

## **2.6. ПОРТАТИВНЫЕ ДЕТЕКТОРНЫЕ ПРИЕМНИКИ**

Обратимся теперь к возможности детекторного приема в полевых условиях. Возможность послушать радио везде и в любое время (кроме ночного, а иногда и дневного технологического перерыва в работе радиостанций), не имея при этом никаких источников питания, весьма заманчива.

### **2.6.1. Первые результаты**

В экспериментах, проведенных автором осенью 1999 и зимой-весной 2000 г., использовался уже описанный «универсальный» детекторный приемник с телефонами ТОН-2М (сопротивление постоянному току 3200 Ом). На востоке ближнего Подмосковья очень громко принимались две СВ радиостанции: «Радио России» на частоте 873 кГц и «Радио-1» на частоте 1305 кГц. Достаточно было телескопической антенны длиной 1,4 м. Никакого заземления не было, противовесом служил шнур телефонов длиной около 1,5 м.

Приемник можно было слушать даже на ходу. В «лыжном» варианте удобно использовать две металлические палки – одна в качестве антенны поднимается вверх (или вешается кольцом на сучок дерева), другая, как противовес, кладется на снег (рис. 2.28). Для подключения к лыжным палкам удобно изготовить два отрезка изолированного монтажного провода длиной метра по полтора со штырьками под гнезда приемника на одном конце и зажимами типа «крокодил» на другом.

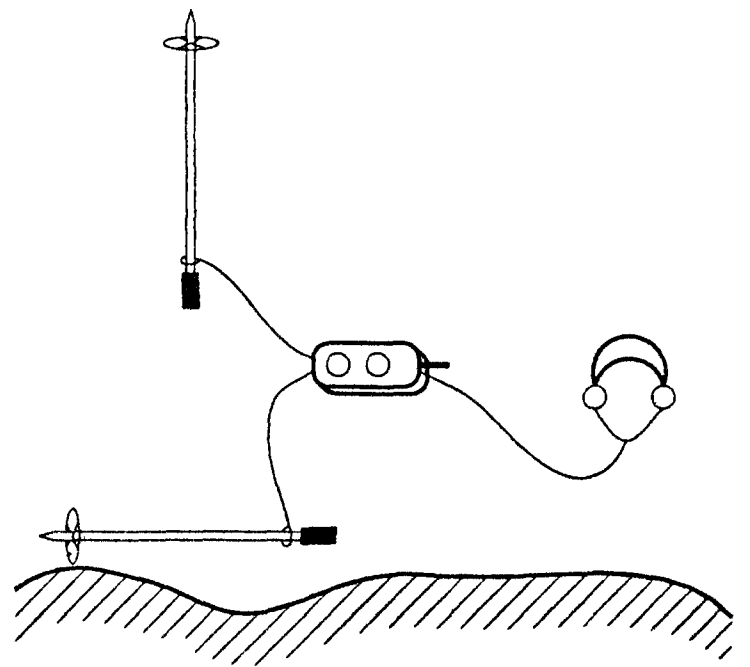


Рис 2 28 «Лыжный» вариант портативного детекторного приемника

Была мысль проложить проводники противовеса по верхней поверхности лыж, а две палки составлять по длине для увеличения высоты антенны, но лыжный сезон закончился.

В других местах Москвы и Подмосковья громче были слышны две мощные ДВ радиостанции: «Маяк» на частоте 198 кГц и «Радио России» на частоте 261 кГц. Для их нормального приема антенна нужна была несколько длиннее. Использовалась «закидушка» – отрезок изолированного многожильного монтажного провода длиной около 3,5 м с небольшим грузом (гайка, деревянный брусок и т.д.) на конце. В Измайловском парке Москвы, например, такая антенна обеспечила прием 7 (!) различных радиостанций на ДСВ. Закидывать антенну лучше на сухие ветки, во-первых, чтобы не портить зеленые насаждения, во вторых, чтобы имелась возможность отломить ветку, потянув за провод, если верхний конец провода запутается и, в третьих, чтобы сырое дерево не понижало добротность антенного контура.

### 2.6.2. Портативные антенна и заземление

Еще лучше использовать телескопическую складную удочку из стеклопластика. Провод можно располагать как снаружи, так и внутри удилица. Сверху, для повышения эффективности антенны, целесообразно укрепить небольшую «звездочку» или «метелку» произвольной конфигурации, выполненную из тонкой упругой проволоки и соединенной с основным проводом антенны – она послужит емкостной нагрузкой и несколько увеличит действующую высоту. С удочкой на плече вполне можно слушать радио и на ходу.

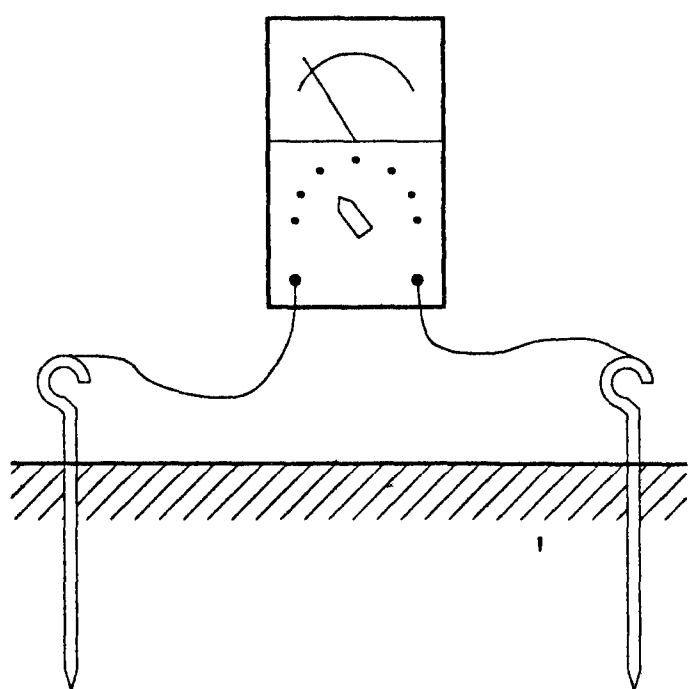


Рис 2 29 Измерение сопротивления заземления

Попытки изобрести «портативное» заземление особого успеха не имели. Упругий металлический штырь длиной 40 см и диаметром 4–5 мм, почти на всю длину воткнутый в землю, заметно увеличивает громкость приема. Один конец штыря следует заострить, а другой согнуть в колечко или приделать рукоятку. Воткнуть такой штырь в землю – секундное дело. Чтобы оценить сопротивление заземления, были изготовлены два таких штыря и в различных местах измерялось сопротивление между ни-

ми (рис. 2.29). Сопротивление заземления одним штырем надо полагать равным половине измеренного, а если оба штыря соединить проводником и использовать как одно заземление – то четверти.

Любопытно отметить, что, начиная с некоторого расстояния между штырями (порядка длины штыря), сопротивление от расстояния практически не зависит, кстати, этим фактом широко пользовались раньше в военно-полевой телефонной связи, протягивая только один провод, вторым служила земля.

При измерениях сопротивления между штырями обычным тестером надо измерять дважды, изменяя полярность, и затем брать среднее значение между двумя измеренными. Этим устраняется ошибка, вносимая в показания омметра гальванической ЭДС, возникающей из-за неоднородностей грунта и его химического состава. Разумеется, металл, из которого изготовлены штыри, должен быть одинаковым, иначе возникшая ЭДС сделает измерения омметром невозможными.

Кстати, гальванический эффект можно использовать для питания простых радиоприемников прямого усиления. Пара из стального и медного штырей на подходящей почве развивала ЭДС до 1 В при токе короткого замыкания до 0,3 мА (все легко измеряется тестером), что позволяет снять мощность до 75 мкВт, достаточную для питания одного транзистора, работающего на телефоны.

Измеренные значения сопротивления между штырями колебались от 700 Ом до 4 кОм, возрастая на сухих каменистых почвах и уменьшаясь на рыхлых и влажных. Понизить сопротивление заземления можно, используя несколько заземляющих штырей, соединенных

между собой параллельно и подключенных к общему проводу заземления. Например, для хорошо проводящей почвы (700 Ом между двумя штырями), соединив параллельно 10 штырей, получаем сопротивление заземления 35 Ом – величину, сравнимую с сопротивлением «стационарного» заземления. Расстояние между штырями надо выбирать побольше, но уж никак не меньше, чем длина самого штыря.

Опять мы приходим к мысли, что портативные детекторные приемники как будто специально предназначены для рыбаков! Во-первых, рыбак находится у воды, где грунт сырой и получается отличное заземление. Во-вторых, у него уже есть удочка для подъема антенны, а часто есть и металлические штыри для заземления (воткнув в землю, к ним привязывают лески). И в третьих, он оборудует себе место на берегу и долго на нем сидит, так почему бы одновременно и не слушать радио?

Сам автор не рыбак, но когда подходил с удочкой к Терлецким прудам в Москве для экспериментов с портативным детекторным приемником, встречный завсегдатай этого места долго рассказывал ему про клев, погоду и снасти, потом, «стрельнув» сигарету, удалился в полной уверенности, что поговорил с коллегой. Автор сомневается в его рассказах о пойманной рыбе, а вот то, что на берегу были приняты все работавшие в это время центральные ДСВ радиостанции, – святая правда!

### 2.6.3. Необычные антенны и нестандартные решения

В заключение главы упомянем еще о некоторых «экзотических» антеннах. Выше мы все время утверждали, что вектор электрического поля  $E$  на ДСВ вертикален и в приеме участвует лишь вертикальная часть антенны. Это абсолютно верно для идеально проводящей земли. Но над почвой с потерями (а они обязательно есть) фронт волны немного наклоняется в сторону направления распространения и у вектора  $E$  образуется небольшая горизонтальная компонента. Это позволяет вести прием и на «стелющиеся» антенны, протянутые просто по поверхности земли. Этим же объясняется и слабая направленность Г-образных антенн.

«Классическая» антенна этого типа – антенна Бевереджа, использовавшаяся на выделенных приемных радиостанциях в ранние годы. Она представляет собой очень длинный провод (до нескольких длин волн), протянутый на высоте не более 1–2 м над поверхностью. Один конец провода подключался к приемнику, другой заземлялся

через резистор сопротивлением около 600 Ом. Антенна имеет направленность, принимая волны, приходящие преимущественно со стороны резистора – они образовывали в проводе бегущую волну, направленную к приемнику.

Не имея возможности поэкспериментировать со столь длинной антенной, автор тем не менее попробовал принимать на проводник (ПЭЛ 0,3) длиной 30–40 м, расстеленный просто по траве на лесной лужайке. Никаких согласующих резисторов для такой короткой антенны, конечно, не использовалось, один конец провода оставался свободным, другой подключался к «универсальному» приемнику. Сила сигнала была примерно такой же, как от вертикальной антенны высотой 2,5–3 м. Заземление немного улучшало прием, но заставляло уменьшать емкость конденсатора связи с антенной, поскольку последняя имеет большую емкость на землю.

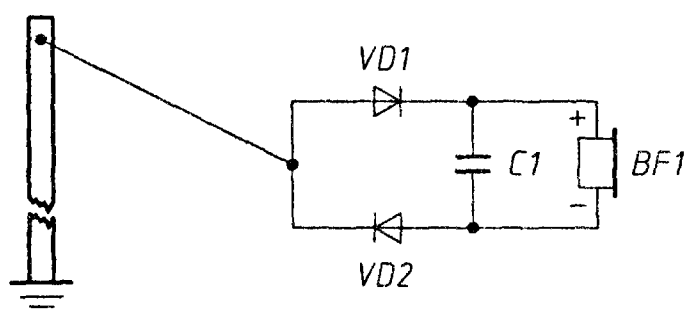


Рис. 2.30. Вариант суррогатной антенны

Несколько необычных антенн описал В. Беседин [14]. Подключение простейшего бесконтурного детекторного приемника к какой-либо заземленной металлической мачте, флагштоку или столбу показано на рис. 2.30. От себя мы бы добавили к этой схеме конденсатор связи (см. рис. 2.24) и противовес, подключенный к любому выводу телефонов.

То же относится и к рамочным антеннам (рис. 2.31а,б). Здесь также, вероятно, будет полезно перед диодами включить конденсатор связи, а один из выводов телефонов заземлить или соединить с нижним по схеме выводом КПЕ.

Вопрос о возможности использования рамочной антенны для детекторного приема очень интересен. К достоинствам рамки относятся малая чувствительность к наличию окрестных предметов, помехоустойчивость и хорошая грозозащита. Рамка лучше электрической антенны работает внутри зданий. Рамочную антенну можно использовать как индуктивность контура. Располагать рамку следует вертикально, чтобы горизонтально направленное магнитное поле приходящей волны было перпендикулярно ее плоскости. Любую точку в нижней части рамки можно заземлить для грозозащиты и электрической безопасности.

Недостаток рамочной антенны – малая действующая высота, определяемая формулой:  $h_d = 2\pi SN / \lambda$ , где  $S$  – площадь рамки,  $N$  – число витков,  $\lambda$  – длина волны. Многовитковые рамки небольших

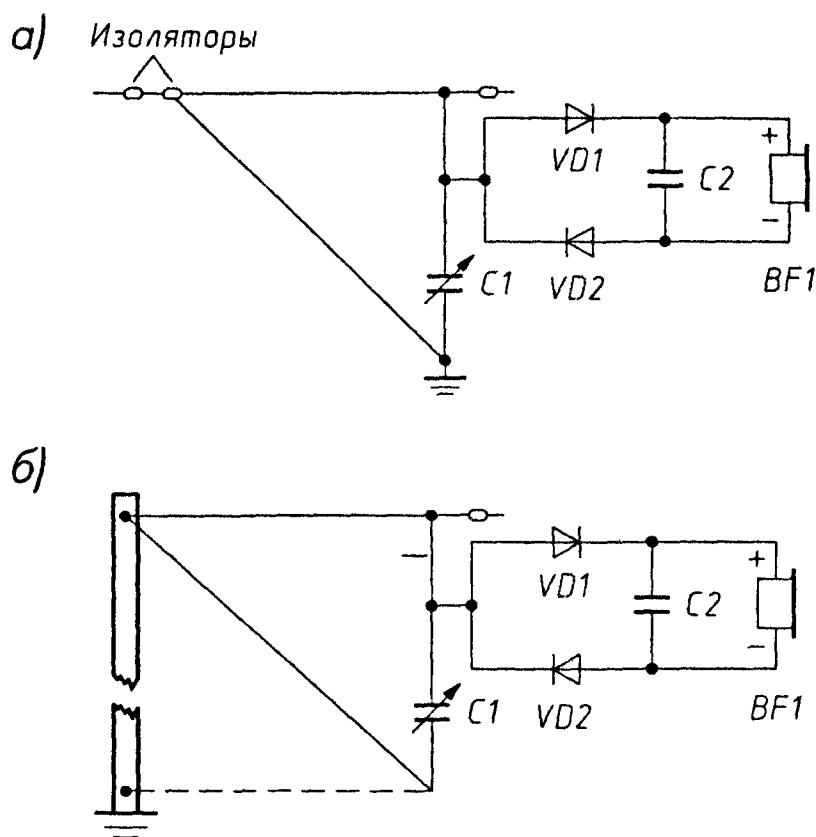


Рис. 2.31. Детекторные приемники В. Беседина с рамочными антеннами

размеров невыгодны, поскольку при равной индуктивности бо́льшая действующая высота получается у одновитковой рамки (индуктивность пропорциональна квадрату числа витков, а действующая высота – только первой степени). Однако многовитковая рамка может использоваться на длинных волнах, если нет физической возможности сделать одновитковую рамку очень больших размеров.

Сделать рамку переменной индуктивности тоже нельзя, поэтому для настройки используется КПЕ. При настройке рамки в резонанс напряжение на конденсаторе возрастает в  $Q$  раз, где  $Q$  – добротность образовавшегося контура с учетом нагрузки его детектором. Индуктивность круглой одновитковой рамки можно грубо оценить по формуле  $L$  (мкГн) =  $6D$  (м), где  $D$  – диаметр. Индуктивность уменьшается при использовании толстого провода или при включении нескольких проводов параллельно.

В качестве примера посмотрим, ориентировочно, что можно получить от одновитковой рамки с площадью  $120 \text{ м}^2$  (круглая с диаметром 12,5 м или прямоугольная  $8 \times 15$  м) при приеме радиостанции на частоте 261 кГц в месте, где напряженность поля достигает 100 мВ/м. Действующая высота рамки составит всего 0,6 м, а индуктивность – около 70 мкГн. Для настройки ее в резонанс требуется емкость 5000–6000 пФ, зато характеристическое сопротивление контура будет всего порядка 100 Ом. Примем добротность равной примерно 50, тогда напряжение на контуре составит 3 В, а резонансное сопротивление контура около 5 кОм. Таким же, по условию согласования, надо выбирать и входное сопротивление детектора.

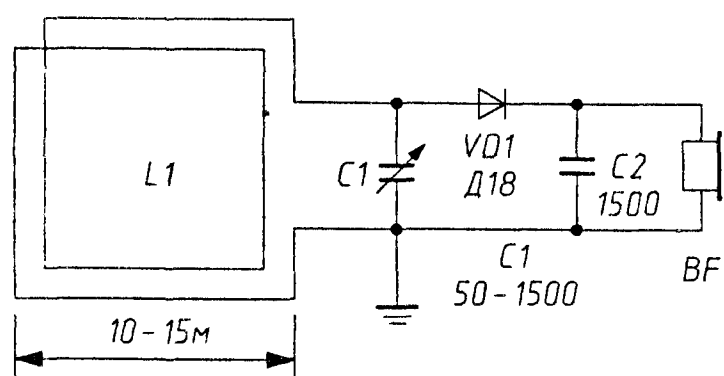


Рис. 2.32 Рассчитанный детекторный приемник с рамочной антенной

Подводимая к детектору мощность составит около 2 мВт, причем детектор можно подключить непосредственно к контуру.

Схема рассчитанного приемника с рамочной антенной показана на рис. 2.32. В нем можно установить двух-, а лучше трехсекционный КПЕ от старого радиоприемника, соединив секции параллельно, и к ним дополнительно подключать еще и постоянные конденсаторы. Для уменьшения собственных потерь в рамке, ее лучше изготавливать из толстого провода, или взять несколько тонких проводов, расположив их на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга, и соединить параллельно.

Другой вариант – сделать антенну двухвитковой, что увеличит ее индуктивность вчетверо, и во столько же раз позволит уменьшить емкость КПЕ. Отдаваемая антенной мощность останется прежней, потому что при возросшем вдвое напряжении резонансное сопротивление контура увеличится вчетверо. Это надо учитывать и при выборе нагрузки детектора.

Не следует забывать и про направленность рамки. Она должна располагаться в вертикальной плоскости, примерно направленной на радиостанцию. Если же плоскость рамки перпендикулярна направлению прихода волн, приема не будет. «Каркасом» для проводов рамочной антенны хорошо послужит фронтон или одна из стен деревянного дома. Нижний провод прямоугольной рамки можно протягивать по земле, расстояние между проводами двухвитковой рамки составит 10–30 см. Приемник с рамкой будет работать и без заземления: оно требуется только для гро-

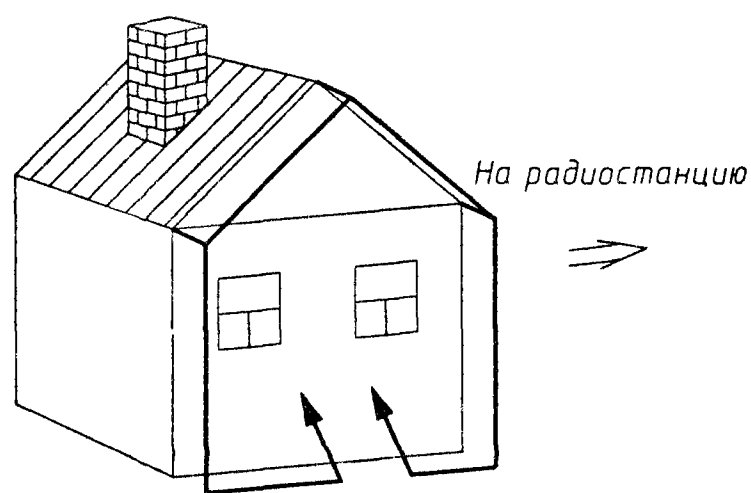


Рис. 2.33 Пример размещения рамочной антенны

зозащиты и, вероятно, для уменьшения уровня помех. Пример расположения рамочной антенны на фасаде дома показан на рис. 2.33. В деревянном или кирпичном доме ее целесообразно спрятать под облицовкой. Теперь перейдем к рассмотрению возможностей громкоговорящего приема за счет энергии принимаемого сигнала.

<b>1</b>	На чем основано радиовещание	<b>9</b>
<b>2</b>	Детекторные радиоприемники	<b>55</b>

## **3 ГРОМКОГОВОРЯЩИЕ ДЕТЕКТОРНЫЕ ПРИЕМНИКИ**

Акустические системы	<b>98</b>
Практические схемы громкоговорящих детекторных приемников	<b>108</b>
Питание приемников свободной энергией	<b>118</b>
Радиотрансляция	<b>132</b>

<b>4</b>	Приемники прямого усиления	<b>137</b>
<b>5</b>	Регенераторы, автодины и синхродины	<b>199</b>

Неослабевающий интерес радиоловителей к простейшим громкоговорящим приемникам, а также к их питанию «свободной энергией», то есть энергией, которая черпается антенной прямо из эфира, еще более подогревается подорожанием батареек на фоне обнищания большинства населения. А ведь не за горами садово-огородно-дачный сезон, когда в вечерней тишине после трудов праведных куда как хорошо послушать радио, хоть в хибарке, хоть в шалаше, где электрической сети нет и в помине, а радиотрансляционной тем более. Разумеется, радио хотелось бы слушать не в наушниках, а через громкоговоритель.

### 3.1. АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Любая сложная или простая система работает не лучше, чем ее самое слабое звено. Чаще всего в электроакустических системах таким оказывается самое важное звено – громкоговоритель. В нашей системе всего два простых устройства: приемник и громкоговоритель. Вопрос о том, какую мощность можно снять с антенны, как построить и усовершенствовать детекторный приемник, уже обсуждался в главе 2. Мы воспользовались следующим методом: досконально разобрались в проблеме, посмотрели, что было создано до нас, подумали, что можно улучшить, и сделали это. Как будто, получились неплохие результаты. Однако остались открытыми вопросы о том, какая же мощность нужна для громкоговорящего приема и как оптимальным образом использовать принятую антенной мощность. Займемся сначала первым вопросом и, разумеется, воспользуемся тем же методом.

#### 3.1.1. Громкость звука, чувствительность и отдача акустических систем

Громкость звука измеряется в децибелах. Вообще говоря, децибел – это 1/10 часть Бел, логарифмической единицы, предложенной для измерения усиления, ослабления, затухания и тому подобных относительных величин. Названа единица в честь изобретателя телефона А. Г. Белла. Затухания и уровни сигналов в телефонных линиях очень удобно измерять именно в децибелах. В них же можно выразить отношение двух однородных величин, например напряжений или мощностей:  $L, \text{ дБ} = 20 \lg (U_1 / U_2) = 10 \lg (P_1 / P_2)$ . Скажем, если отношение напряжений равно 2, то есть  $U_1 = 2U_2$ , то отношение мощностей

составит 4 (мощность пропорциональна квадрату напряжения), и в этом случае  $L = 6$  дБ. Если же отношение напряжений равно  $1/2$  и мощностей –  $1/4$ , то  $L = -6$  дБ. Ослабления и усиления в децибелах просто складываются, тогда как при обычных расчетах пришлось бы умножать и делить. В этом и состоит удобство.

При звуковых измерениях децибелы удобны еще в одном отношении. Субъективное восприятие громкости подчиняется логарифмическому закону, то есть громкость пропорциональна не звуковому давлению и не мощности звуковой волны, а логарифму этих величин, то есть уровню звука, выраженному в децибелах. Кстати, такому же закону подчиняются и многие другие субъективные ощущения. За нулевой уровень громкости принят порог слышимости звука некоторым «усредненным» человеком.

Звук представляет собой волны, распространяющиеся в воздушной среде, то есть колебания давления воздуха. Как известно, единица измерения давления – паскаль, в этих единицах и измеряется звуковое давление, соответствующее амплитуде звуковой волны. Звуковые волны переносят энергию и могут характеризоваться плотностью потока мощности (то есть энергией, переносимой звуковой волной через единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения) в единицу времени. Как же связать все эти величины?

Ответ можно найти, покопавшись в старинных справочниках и журналах и переведя внесистемные единицы в систему СИ. Результаты сведены в табл. 3.1:

Таблица 3.1 Громкость, звуковое давление и поток мощности

Громкость, дБ	Характеристика звука	Звуковое давление, Па	Плотность потока мощности, мкВт/м <sup>2</sup>
0	Порог слышимости	$2 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6}$
10	Тихий шепот на расстоянии 1 м	$6,4 \cdot 10^{-5}$	$10^{-5}$
20	Шелест листвы	$2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4}$
30	Шепот на расстоянии 1 м	$6,4 \cdot 10^{-4}$	0,001
40	Тихий разговор на расстоянии 1 м	0,002	0,01
50	Слабая работа громкоговорителя	0,0064	0,1
60	Обычный разговор на расстоянии 1 м	0,02	1
70	Громкая работа громкоговорителя	0,064	10

Таблица составлена по данным справочника Г. Г. Гинкина [5] для хорошо слышимой ухом частоты 1000 Гц. Заметим, что увеличение громкости на каждые 10 дБ (одинаковое субъективное увеличение) вызывается увеличением потока мощности в 10 раз, поэтому при больших громкостях требуемая мощность растет очень быстро.

Если принять расстояние до громкоговорителя равным 1 м, как обычно и делается при акустических измерениях, и предположить, что излучение ненаправленное, можно вычислить и акустическую мощность, излучаемую громкоговорителем, просто умножив плотность потока мощности на площадь сферы радиусом 1 м (вспомните, что точно так же рассчитывался поток мощности для радиоволн). Для трех последних случаев, приведенных в таблице и представляющих для нас практический интерес, излучаемая акустическая мощность составит 1,26, 12,6 и 126 мкВт соответственно.

Необходимую электрическую мощность можно найти, разделив акустическую мощность на КПД громкоговорителя. Здесь начинаются слезы! Для обычных бытовых динамиков малой мощности он составляет, по порядку величины, около 1%. Тогда получаем электрическую мощность порядка единиц милливатт. Электромагнитные громкоговорители (конструкция которых напоминает устройство телефона), широко распространенные в ранние годы, теперь вышли из употребления из-за плохих характеристик и заменены головками электродинамической системы с постоянными магнитами. Их отдача прямо зависит от магнитной индукции в зазоре, где размещена звуковая катушка. Большую отдачу имеют головки с малым зазором и сильным магнитом.

В справочных данных на динамические головки часто указывается среднее стандартное звуковое давление (отдача). Оно измеряется на расстоянии 1 м при подведении электрической мощности 100 мВт и колеблется, для большинства типов громкоговорителей, в пределах от 0,1 до 0,4 Па. Имеются сообщения о головках, отдающих до 0,6 Па. Любопытно сосчитать, какая электрическая мощность нужна при этом для получения громкости 60 дБ. Результаты приведены в табл. 3.2. Данные громкоговорителей заимствованы из [6] и других источников.

Наглядно видно даже по этой небольшой подборке, что для наших целей нужны громкоговорители с большой отдачей, что у мощных динамиков отдача больше, а менее всего подходят малогабаритные динамики от карманных и портативных приемников. Огромное влияние на отдачу оказывает акустическое оформление динамика.

Таблица 3 2 Отдача широко распространенных громкоговорителей

Тип громкоговорителя	Отдача, Па	Требуемая мощность сигнала ЗЧ для громкости 60 дБ, мВт
0,025ГД-2	0,075	3,6
0,05ГД-1	0,15	1,8
1ГД-5, 1ГД-28, 1ГД-36, 2ГД-7	0,2	1,0
1ГД-4, 3ГД-1, 4ГД-4, 4ГД-5	0,3	0,45
5ГД-1, 6ГД-1 РРЗ, 6ГД-3	0,4	0,25
8ГД-1 РРЗ	0,45	0,2

Высококачественные АС с обилием поглощающего материала имеют отдачу от 0,08 Па (25АС16, 25АС416) до 0,11 Па (35АС2), следовательно, малопригодны.

Для импортных акустических систем часто указывают чувствительность – уровень громкости на расстоянии 1 м при подведении электрической мощности в 1 Вт. Она обычно колеблется от 87 до 92 дБ. Если мы на сколько-то децибел снизим громкость, то на столько же децибел уменьшится и требуемая электрическая мощность. Очень легко сосчитать, что для получения нужной нам громкости 60 дБ требуемая мощность сигнала ЗЧ должна составить на 27–32 дБ меньше, то есть от 2 мВт до 0,63 мВт.

Большой КПД и соответственно раза в три большую отдачу имеют рупорные громкоговорители [15], во-первых, за счет лучшего согласования электромеханической системы со средой и, во-вторых, за счет некоторой направленности излучения. Это подтверждает и радиолюбительский опыт, начиная с 20-х гг., когда в журналах было немало сообщений о том, что наушник, помещенный в стакан или на дно кастрюльки, звучит громче, и описаний всевозможных рупоров из бумаги, картона и фанеры, до наших дней, когда (весьма редко) еще появляются описания очень удачных конструкций АС с большой отдачей [16].

Рупорная АС с фазоинвертором, свернутым в «подкову», по утверждению изобретателей и разработчиков, обеспечила с громкоговорителем 6ГД-1 КПД около 2,3%, а на низких частотах даже до 3,4%. Поскольку для получения громкости 60 дБ надо излучать 12,6 мкВт акустической мощности, эта система потребует для своей работы с такой громкостью  $12,6 / 3,4\% = 0,56$  мВт. Думается, что авторы несколько занизили КПД своей АС, поскольку головка 6ГД-1 при стандартных акустических измерениях на большом экране требует несколько меньшей мощности и, следовательно, обладает большим КПД.

Итак, мы установили, что с высокочувствительной АС, например с восьмиваттным динамиком Рижского радиозавода 8ГД-1 РРЗ в корпусе большого объема, нам достаточно мощности сигнала ЗЧ около 0,2 мВт, а с плохой, например с маленьким динамиком от карманного приемника в пластмассовой коробочке, и 3 мВт будет недостаточно. Согласитесь, разница существенная. Собственно говоря, мы уже начали обсуждать акустическое оформление громкоговорителя. Продолжим.

### 3.1.2. Конструкции акустических систем

Обычно в радиолюбительской и профессиональной литературе акустические системы рассматриваются в плане получения максимально широкой полосы воспроизводимых частот и минимальных искажений, то есть с точки зрения улучшения звучания. Нам эти аспекты также важны, но нужна еще максимальная отдача АС, то есть максимальный КПД преобразования электрической мощности в акустическую.

Динамическая головка без акустического оформления имеет очень низкую отдачу и совсем плохо воспроизводит нижние частоты звукового спектра. Объясняется это просто: при поступательном движении диффузора воздух просто перегоняется с передней стороны диффузора на заднюю и обратно, происходит так называемое акустическое короткое замыкание, и лишь малая доля энергии превращается в звуковую волну.

Простейший способ устранить акустическое КЗ – установить головку на плоский экран или «отражательную доску» достаточно больших размеров. Каких? Его размер должен достигать хотя бы четверти длины волны на низшей звуковой частоте. Зная скорость звука в воздухе ( $v = 330$  м/с) длину волны легко сосчитать:  $\lambda = v / f$ . Даже для низшей частоты 100 Гц размер акустического экрана составит около метра. Теперь становится понятным, почему маленькие транзисторные приемники не могут воспроизводить нижних звуковых частот!

Идеальный акустический экран – перегородка между двумя комнатами или между комнатой и верандой. Если туда врезать динамическую головку, то будут озвучиваться оба помещения, причем с хорошим качеством. Правда, акустическая мощность поделится между помещениями пополам и звук будет тише. Чаще надо озвучивать лишь одну комнату, тогда экран целесообразно установить

под потолком, как показано на рис. 3.1. Там он никому не будет мешать и вокруг головки можно создать значительный объем, что улучшит воспроизведение нижних частот, к тому же потолок и стены образуют своеобразный рупор.

Экран можно изготовить из фанеры, ДСП и даже оргалита. К потолку и стенам он должен прилегать плотно, без щелей (можно уплотнить стыки поролоном или ватой), это позволит существенно уменьшить все размеры, кроме одного – от головки до отверстия. Оно образует фазоинвертер – систему, позволяющую улучшить отдачу на нижних частотах, используя излучение и обратной стороны диффузора. Пройдя путь  $l$ , звуковая волна изменит фазу, и при условии  $l = \lambda / 2$  фаза изменится на обратную (инвертируется) и сложится с волной, излучаемой передней стороной диффузора. Площадь отверстия желательно выбрать не меньше, чем площадь диффузора головки.

Если края плоского прямоугольного экрана отогнуть назад, получится всем хорошо знакомый корпус радиоприемника, телевизора и т.д. Это АС с открытой задней стенкой. Она также звучит лучше в углу комнаты, причем расстояние от стен целесообразно подобрать по наилучшей громкости и качеству звука. Открытую АС очень легко сделать из корпуса старого телевизора – изготовить надо только отражательную доску из ДСП, установить на нее от 2 до 8 головок, обтянуть редкой материей и установить на место передней панели. И смотрится и звучит такое изделие очень неплохо (рис. 3.2а). Головки на отражательной доске лучше размещать асимметрично, тогда пики и провалы амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) несколько выравниваются.

Устанавливать в АС несколько головок, даже разных, имеет смысл по нескольким соображениям: звуковые давления отдельных головок складываются, поэтому отдача АС возрастает, но пики и провалы на АЧХ отдельных головок не совпадают, как не совпадают и механические резонансные частоты, и общая частотная характеристика выравнивается. Схему включения головок надо подобрать так,

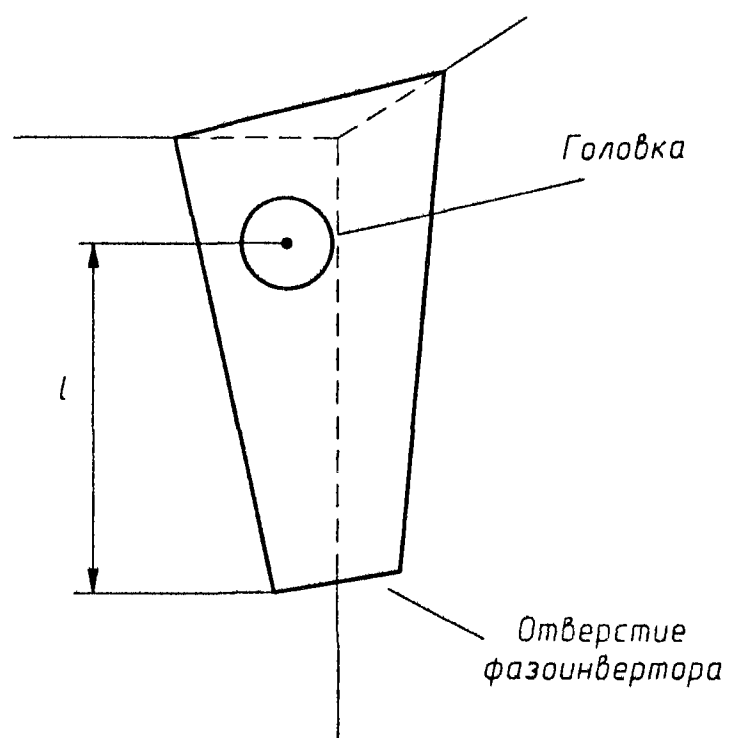


Рис 3 1. Акустический экран-фазоинвертор под потолком комнаты

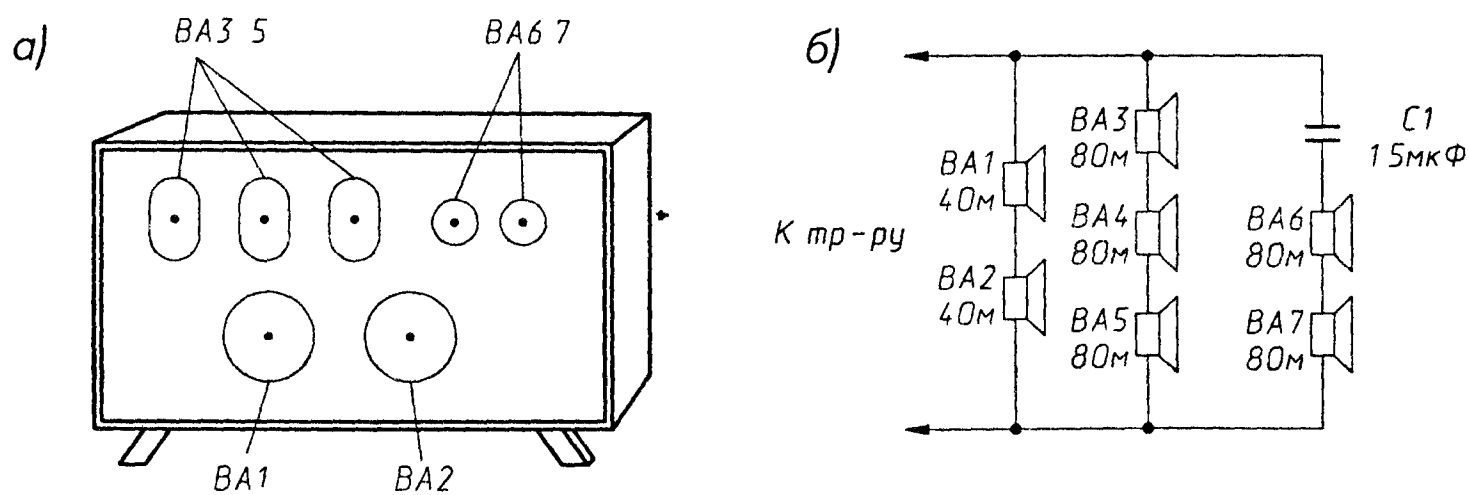


Рис. 3.2. АС в корпусе старого телевизора:  
а – конструкция, б – схема включения головок

чтобы выделяющаяся на них мощность была пропорциональна паспортной. Полярность включения головок также очень важна: при подаче на АС постоянного напряжения (например, от гальванического элемента) все диффузоры должны двигаться в одну сторону, что соответствует синфазному включению. Хотя бы одна головка, работающая в противофазе, резко понижает отдачу.

В качестве примера на рис. 3.2б показана схема включения семи головок: двух 4ГД-35 (4 Вт, 4 Ом), трех 1ГД-40 (1 Вт, 8 Ом) и двух высокочастотных («пищалок») 2ГД-36 (2 Вт, 8 Ом). Для расчета мощности, выделяющейся на каждой головке, приложите мысленно к зажимам АС какое-нибудь удобное для расчетов напряжение, например 8 В. Тогда ток в цепи мощных головок будет 1 А, в цепи трех одноваттных  $1/3$  А и в цепи высокочастотных (только на высоких частотах) –  $1/2$  А. Мощность, выделяющаяся на каждой головке ( $P = I^2R$ ) составит 4 Вт для мощных, 0,9 Вт для одноваттных и 2 Вт для высокочастотных, что вполне приемлемо. Емкость конденсатора фильтра, пропускающего к «пищалкам» только высокие звуковые частоты, находим по формуле  $C = 0,16 / f \cdot R$ , где  $f$  – частота среза,  $R$  – общее сопротивление ВЧ-головок. Задавшись параметрами 6,5 кГц и 16 Ом, получаем  $C = 1,5$  мкФ. Общее сопротивление АС получается равным 6 Ом, несколько уменьшаясь на высоких частотах.

Если есть возможность изготавливать АС разной конструкции, то несколько головок лучше размещать вертикально, друг над другом, чтобы концентрировать излучение в горизонтальной плоскости, на уровне голов слушателей (рис. 3.3а). ВЧ головки лучше размещать именно на этой высоте, в середине, а мощные низкочастотные – по краям колонны, поскольку направленность излучения на нижних

частотах меньше. Установка колонны в угол комнаты повышает отдачу (рупорный эффект) и позволяет изготавливать лишь одну отражательную доску. В углах у потолка и пола можно попробовать установить треугольные листы фанеры или пластика – «акустические зеркала», отражающие излучение обратной стороны АС к слушателям (рис. 3.3б).

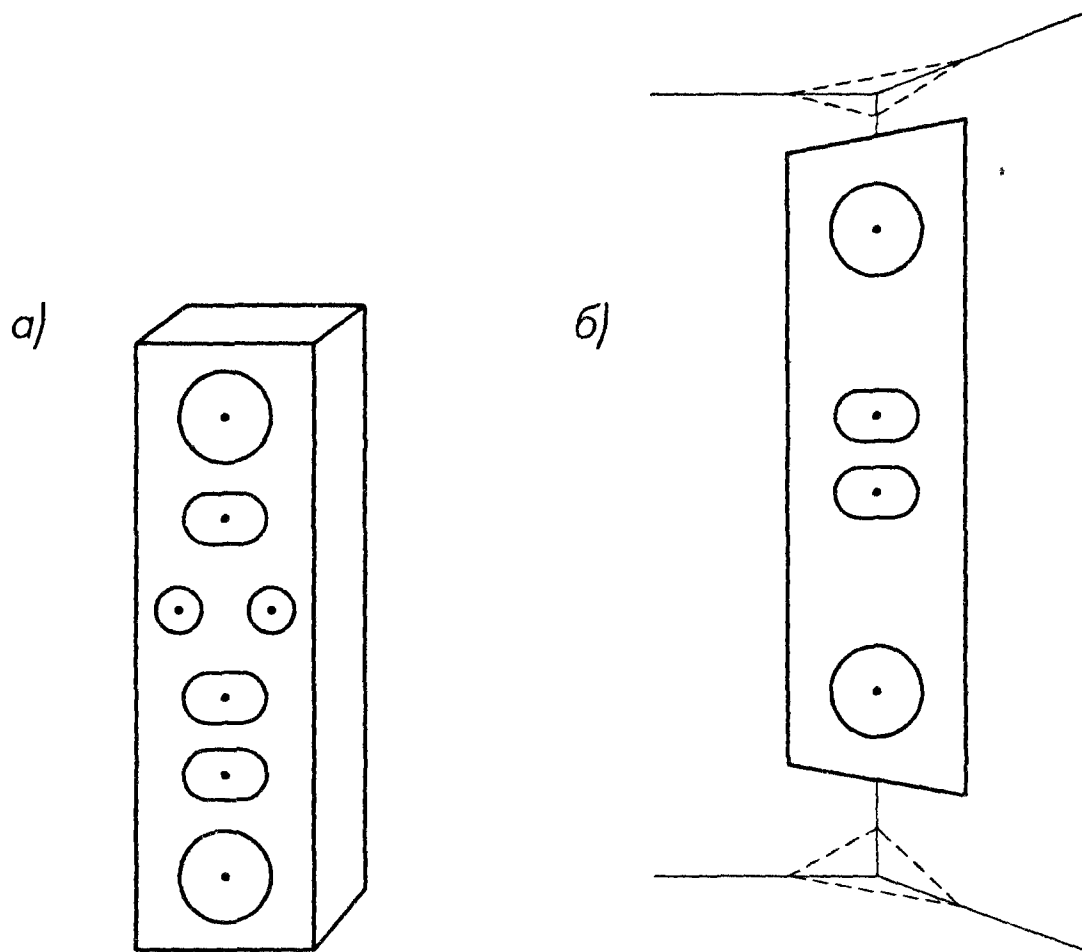


Рис. 3.3. Звуковые колонки с вертикальным расположением громкоговорителей

### 3.1.3. Рупорные акустические системы

Другой способ повышения отдачи состоит в использовании рупоров. Вспомните старинные граммофоны: благодаря рупору малые колебания иглы, связанной с мембраной, создавали весьма громкий звук. В патефонах часть рупора свернута и «спрятана» внутрь корпуса. Открытая крышка служит отражателем звука. Рупорные громкоговорители используют для озвучивания открытых площадей. Профессиональный рупорный громкоговоритель может иметь КПД до 25–35%. Радиолюбителям хороший рупорный громкоговоритель вряд ли доступен, но кое-что можно сделать и из обычных головок.

Из имеющихся у автора хорошие результаты показала малогабаритная АС промышленного изготовления в узком и глубоком пластмассовом корпусе с одной головкой 1ГД-40. Ее отдачу, довольно большую и без дополнительных мер, удалось заметно увеличить складным

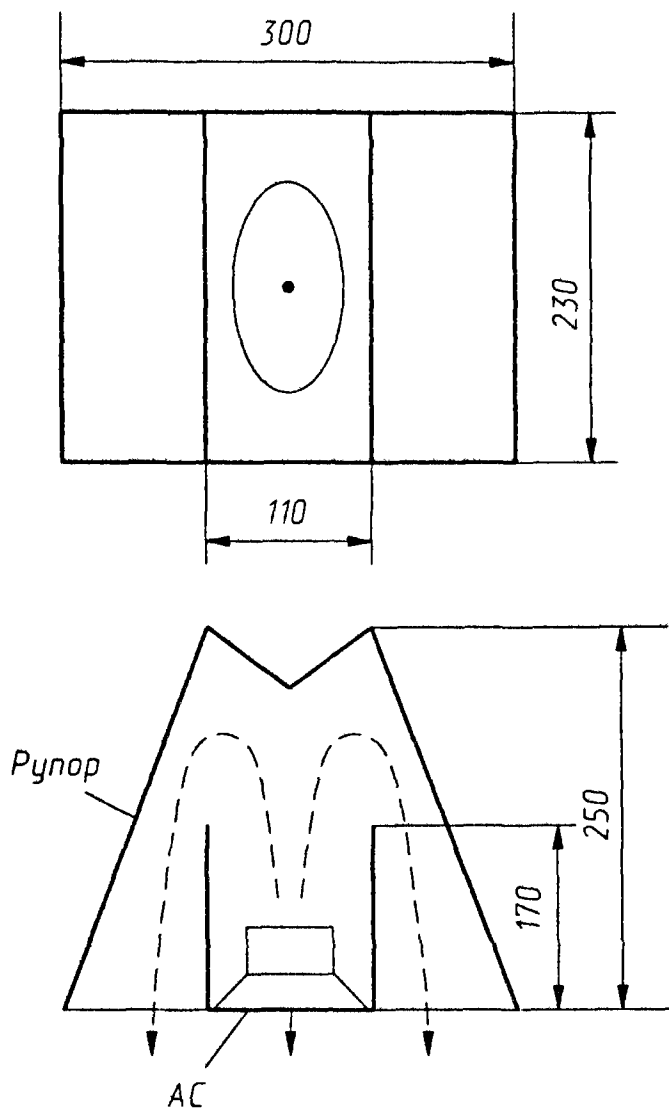


Рис. 3.4. Складная рупорная АС из картона

Выходя из широкого прямоугольного отверстия, звук отражается открытой крышкой чемодана 4, направляясь к слушателю, и складываясь со звуком, излучаемым передней стороной диффузоров. Для лучшего отражения вблизи петель устанавливаются «акустические зеркала» 5 из пластика. В «дипломате» остается достаточно места и для размещения выходного трансформатора, приемника и других полезных вещей.

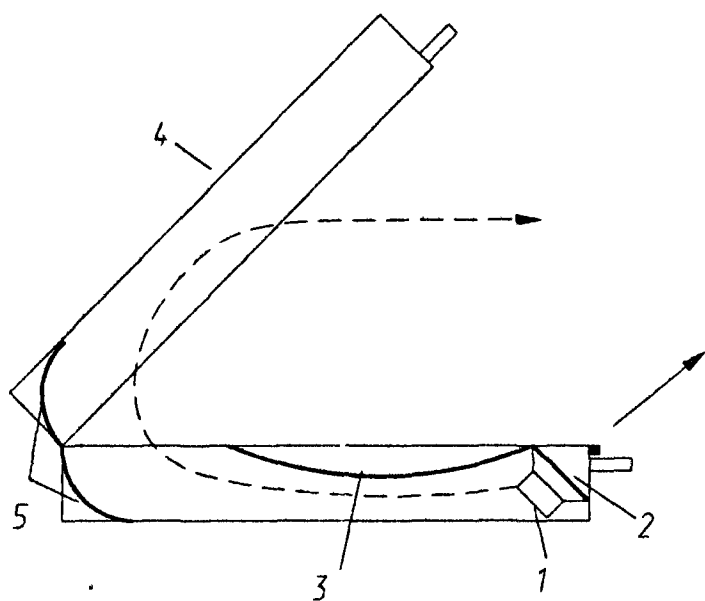


Рис. 3.5. Портативная АС в чемодане

рупором (рис. 3.4), изготовленным из картонных папок для бумаг. Излучение задней части диффузора головки, выходя из открытой задней части АС, отражается от средней части рупора и направляется его расширяющимися боковыми стенками к слушателю. Сверху и снизу система также закрыта картонными крышками.

Другую складную рупорную АС легко изготовить из старого «дипломата», имеющего жесткие фибровые стенки (мягкие поглощают звук). Конструкция (вид сбоку) ясна из рис. 3.5. Две эллиптические головки 1 (например, 1ГД-40) укрепляются в одну линию на узкой отражательной доске 2, расположенной в передней части чемодана. Рупор образован дном и слегка изогнутой пластиковой панелью 3. Щели, образующиеся у боковых стенок, надо за-

крыть. Широкогорлый фазоинвертор иногда изготавливают в виде «подковы», о которой рассказывалось выше, или «лабиринта». Обе конструкции показаны на рис. 3.6, причем вид спереди (по А) у них практически одинаков — сверху отверстие для головки, снизу — выходное отверстие рупора. Боковые стенки можно сделать вертикальными, но лучше — расширяющимися в сторону отверстия рупора. Размеров

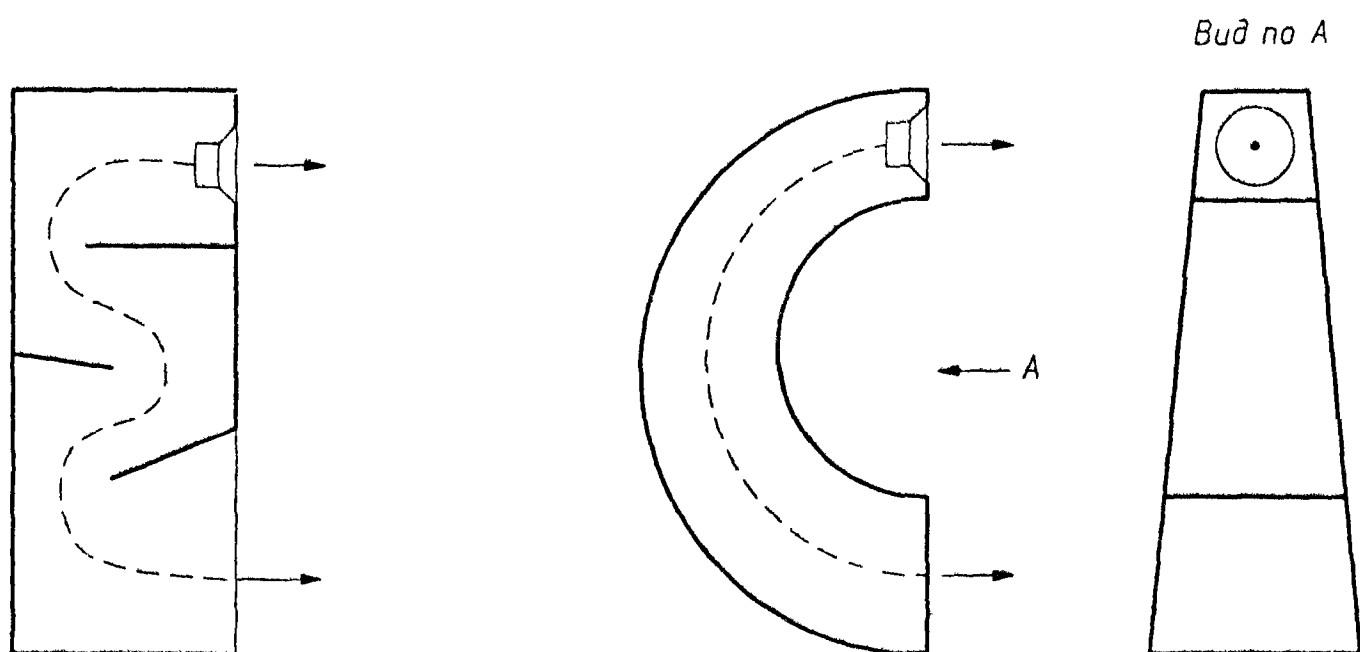


Рис. 3.6. Рупорные АС типа «лабиринт» и «подкова»

не приводим, поскольку они не критичны. При длине пути звуковой волны внутри «подковы» или «лабиринта» порядка метра следует ожидать воспроизведения нижних частот до 70–100 Гц. Разумеется, эти АС можно располагать и горизонтально, совместив их, например, с книжной полкой.

О согласующих трансформаторах уже упоминалось в предыдущей главе. Где его устанавливать, в приемнике или в АС? Ответ однозначен – только в АС, иначе потери в соединительных проводах могут заметно понизить КПД. Например, при сопротивлении проводов от приемника к четырехомной АС всего 1 Ом КПД будет 80%. Повысив входное сопротивление АС до 4–10 кОм трансформатором, получаем КПД 100% и возможность использовать тонкие провода. А вот блокировочный конденсатор надо устанавливать в приемнике, поскольку он замыкает высокочастотные токи детектора. Если уж размеры АС все равно велики, лучше использовать «солидные» трансформаторы – у них меньше потери. Хорошо подходят ТВК и ТВЗ от старых телевизоров. Их ориентировочные данные: сечение сердечника 2,5–3 см<sup>2</sup>, первичная обмотка – 3000 витков ПЭЛ 0,15, вторичная – 100 витков ПЭЛ 0,7. Можно также использовать «силовики» – сетевые трансформаторы блоков питания с коэффициентом трансформации 220/6–12.

Мы рассмотрели основные типы АС с большой отдачей. Как видим, возможности для творчества здесь огромны. Вторая часть нашего исследования будет относиться к электрическим цепям громкоговорящего детекторного приемника.

## 3.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ГРОМКОГОВОРЯЩИХ ДЕТЕКТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Раньше определение «громкоговорящий» в отношении детекторного приемника брали в кавычки. Теперь этого делать не будем, поскольку опыт показал, что возможны не только громкоговорящие, но иногда даже и довольно громко «оружие» детекторные приемники. В радиолюбительских публикациях время от времени появляются сообщения о возможности подключить к детекторному приемнику вместо телефонов, например, трансляционный громкоговоритель и получить довольно громкое звучание.

### 3.2.1. Простейшие варианты

Первый опыт автора в этой области был проведен почти четверть века назад. С совершенно другими целями, для работы любительской радиостанции в диапазоне 160 м, от собственного балкона к крыше соседнего, более высокого, дома была протянута антенна «наклонный луч» длиной около 60 м. Наводок на нее сигналов радиовещательных станций нельзя было не заметить (вольты!), и тогда, ради курьеза, был собран простейший детекторный приемник по «классической» схеме. К нему подсоединялась через выходной трансформатор АС от проигрывателя «Аккорд» с одним четырехваттным динамиком. Комната была «озвучена», и некоторое время приемник удивлял друзей и знакомых.

Интерес к теме возродился в недавние годы, в связи с освоением огородного участка, где не было электросети (северо-запад Московской области, недалеко от Солнечногорска). Схема использовавшегося там простейшего детекторного приемника показана на рис. 3.7. В нем уже нет КПЕ, но способ регулирования связи с детектором еще не был придуман. Колебательный контур образован емкостью антенны и двумя последовательно соединенными катушками L1 и L2, в качестве которых использовались ДВ катушки магнитных антенн от портативных приемников. Марка их не имеет значения, поскольку все указанные катушки примерно одинаковы. Две катушки нужны лишь для увеличения общей индуктивности контура при настройке на частоту самой длинноволновой

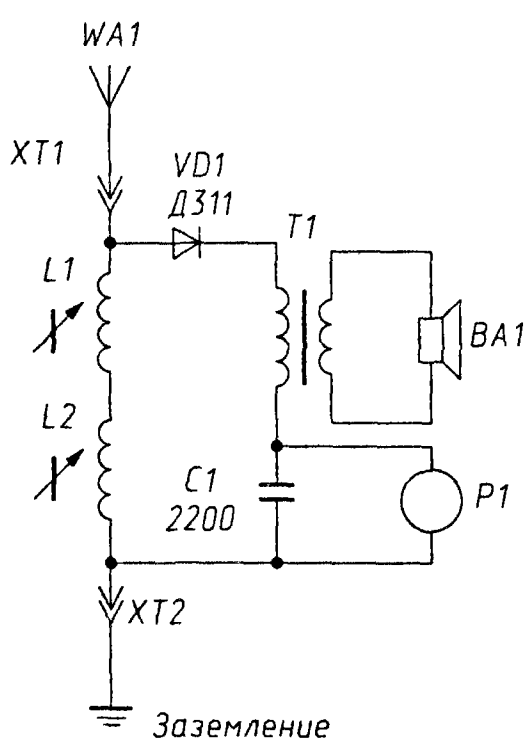


Рис 3.7 Простейший  
громкоговорящий  
детекторный приемник

радиостанции 153 кГц. Настраивался контур перемещением ферритовых стержней внутри катушек, причем диапазон перестройки получился весьма широким.

Выходной трансформатор типа ТВЗ от старого лампового телевизора, динамическая головка типа ЗГД-1 с сопротивлением звуковой катушки 8 Ом. Головка была закреплена на большом листе оргалита, поставленном в угол комнаты. Для количественных оценок приема последовательно в цепь детектора включался авометр Р1 типа Ц4317. В режиме вольтметра постоянного тока этот прибор измерял продетектированное напряжение на «холостом ходу», поскольку цепь первичной обмотки выходного трансформатора оказывалась практически разомкнутой высоким внутренним сопротивлением прибора. Звук при этом, конечно, пропадал. Переключив прибор в режим миллиамперметра, можно было измерить продетектированный ток, не нарушая работы приемника.

Внутреннее сопротивление прибора в этом режиме мало, и его подключение несколько не уменьшает громкость звука. По прибору удобно производить и точную настройку на частоту радиостанции, а также следить за условиями прохождения радиоволн, сравнивая показания в различные часы и дни (например, после дождя и в сухую погоду). По окончании измерений прибор можно отключить, а блокировочный конденсатор С1 замкнуть.

Легко заметить, что блокировочный конденсатор не шунтирует первичную обмотку трансформатора. Сделано это специально, поскольку практические испытания приемника показали, что без конденсатора он звучит лучше и имеет более острую настройку на радиостанции. Теперь-то нам ясно, что без цепи согласования детектор с блокировочным конденсатором слишком сильно шунтирует контур. При отсутствии конденсатора детектор связан по высокой частоте с контуром лишь через междувитковую емкость трансформатора, которая в какой-то мере и выполняет роль согласующей цепи.

Имеется и еще одна возможность согласования: подключив детектор к точке соединения катушек L1 и L2, мы можем регулировать связь детектора с контуром настроенными ферритовыми стержнями в «дифференциальном» режиме – вдвигая один стержень и выдвигая другой так, чтобы общая индуктивность, а следовательно, и настройка контура оставались неизменными. Для настройки же на другую частоту оба стержня вдвигаются и выдвигаются одновременно. Приобретя некоторый навык, и настройку, и согласование можно

сделать очень быстро и легко, просто по максимальной громкости приема и максимальному току через измерительный прибор Р1.

Г-образная антенна с длиной горизонтальной части около 20 м была подвешена на отдельно стоящей березе и специально установленном шесте из соснового сухостоя. Средняя высота подвеса получилась около 8 м (рис. 3.8). Изоляторами антенны послужили горлышки от пластмассовых бутылок. Для заземления были использованы трубы водозаборной скважины для ручного насоса, заглубленные примерно на 5 м. Сама антенна была изготовлена из довольно тонкого провода ПЭЛ 0,5, смотанного с катушки старого трансформатора, а вот для заземления использовался оцинкованный провод от старых воздушных линий телефонной связи. Диаметр провода – около 3 мм. От садового домика до скважины он был проложен прямо по земле и слегка прикопан.

На такую антенну осенью 1996 г. хорошо принимались сигналы радиостанций на частотах 153 («Молодежный канал»), 171 («Новая волна») и 261 кГц («Радио России»). Названия станций даны именно на указанный период, причем с наибольшей громкостью осуществлялся прием последней радиостанции. Для нее продетектированное напряжение на «холостом ходу» составило около 3 В, а продетектированный ток – 0,3 мА.

В публикации о приемнике [17] высказывалось предположение, что приемник сыграет и роль охраны. Поставленный у входной двери садового домика, он, по ожиданиям автора, будет отпугивать

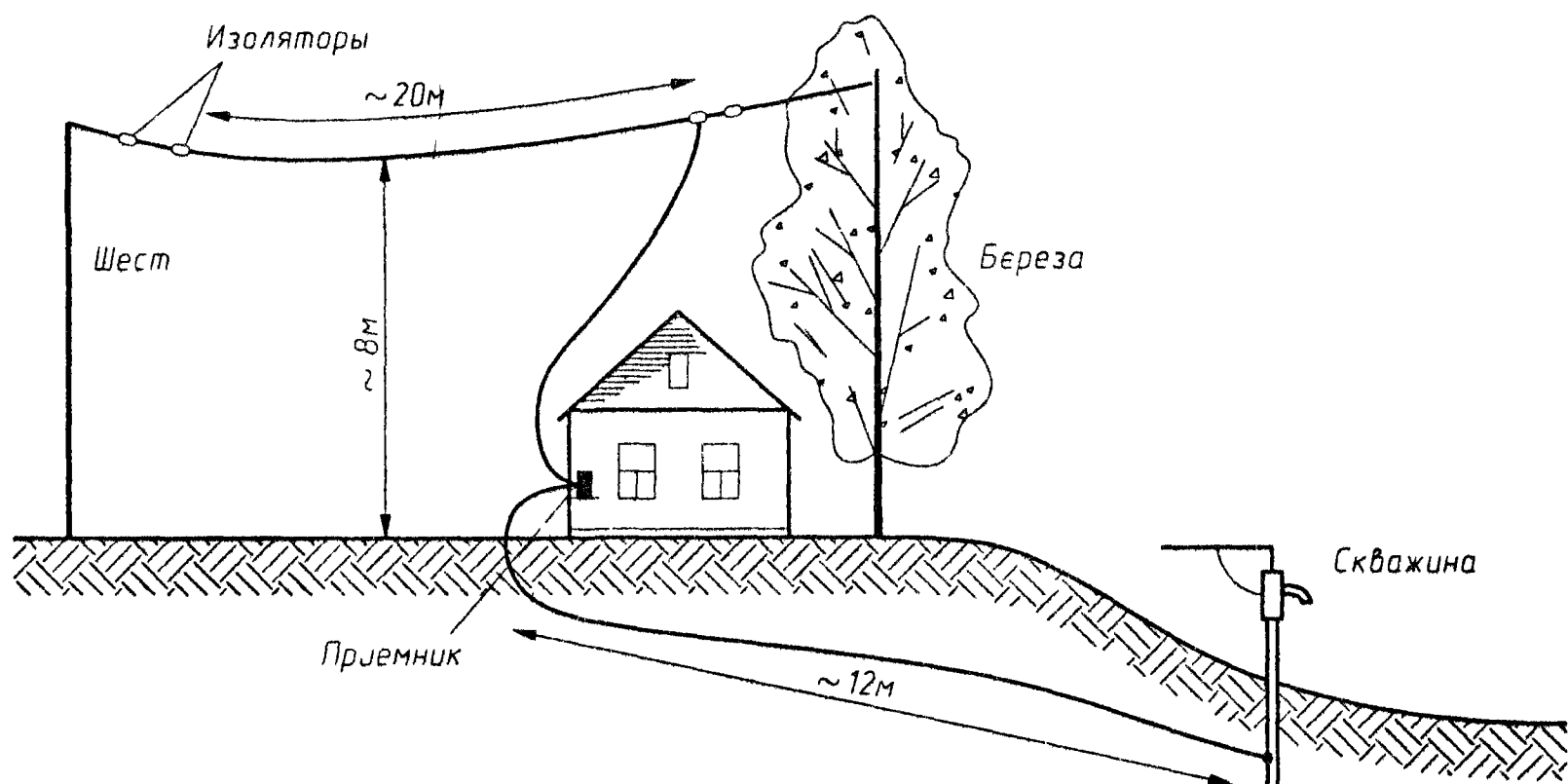


Рис. 3.8. Антенна громкоговорящего приемника

воров тихой музыкой, создавая впечатление, что хозяева дома. Теперь можно определенно сказать, что расчет не оправдался: из-за участившихся краж овощей с огорода домик пришлось разобрать и вывезти, а участок бросить. Может быть потому, что в огороде музыки слышно не было?

### 3.2.2. Двухполупериодные мостовые детекторы

Надо было заняться усовершенствованием приемника. Общеизвестно, что лучшие результаты дают двухтактные, или двухполупериодные, схемы детектирования. В них выпрямляются обе полуволны входного синусоидального напряжения, средний ток в нагрузке возрастает вдвое, и хотя это сопровождается вдвое большей нагрузкой на контур, она становится симметричной – одинаковой на обоих полуволнах высокочастотного сигнала. Известна двухполупериодная схема на двух диодах (с использованием симметричной катушки связи) и мостовая. Наматывать дополнительную катушку не хотелось, да к тому же плохо решалась проблема регулировки связи, поэтому была выбрана вторая.

Антенна и заземление по-прежнему присоединялись разъемами ХТ1 и ХТ2 к катушке контура L1 (в приемниках, которые остаются без присмотра, гальваническая связь антенны с заземлением обязательна!), как показано на рис. 3.9. Катушка намотана проводом ПЭЛ 0,2 виток к витку в один ряд на цилиндрическом каркасе диаметром 12 мм. Она содержит 200–300 витков, в зависимости от емкости антенны. Настраивается приемник передвижением внутри катушки круглого стержня диаметром 10 мм из феррита 400НН. На длинных волнах можно использовать и стержни диаметром 8 мм из феррита 1000НН, и те, и другие – от магнитных антенн.

Для регулировки связи контура с детектором установлен подстроечный конденсатор С1 довольно значительной емкости (керамический, КПК-2 или КПК-3), потому что в громкоговорящих приемниках, особенно при большой антенне, бывает необходима довольно сильная связь с контуром. Подойдут конденсаторы с максимальной емкостью от 75 до 200 пФ. Детектор

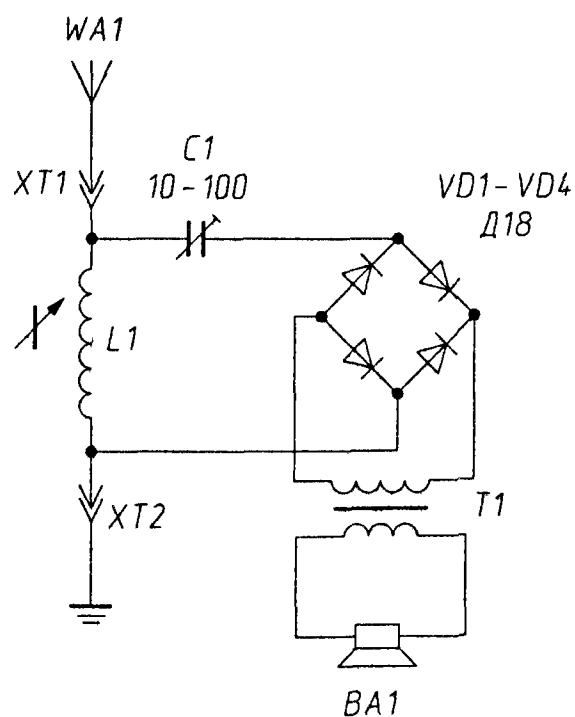


Рис 3.9. Приемник с мостовым детектором

выполнен по мостовой схеме на четырех диодах Д18: практика показала, что они наилучшие из дешевых и широко распространенных.

К диодному мосту присоединен выходной трансформатор типа ТВЗ и громкоговоритель ЗГД-1. Блокировочный конденсатор в этой схеме уже совсем не нужен, поскольку в продетектированном токе содержится лишь постоянная составляющая и пульсации с удвоенной частотой несущей. Работа детектора происходит так: при положительной полуволне напряжения на антенне ток проходит через конденсатор С1, верхний правый диод моста, первичную обмотку трансформатора Т1 и нижний левый диод моста к земле. При отрицательной полуволне ток проходит от земли через нижний правый диод моста (ток течет от «плюса» к «минусу»), обмотку трансформатора, верхний левый диод и конденсатор С1 к антенне. Легко заметить, что ток через конденсатор связи С1 переменный, а через обмотку трансформатора – постоянный пульсирующий. Поэтому мостовой детектор не требует гальванической связи с источником сигнала и для него необязателен блокировочный конденсатор.

Эксперимент подтвердил, что блокировочный конденсатор не увеличивает громкости приема, лишь ухудшая воспроизведение верхних звуковых частот и несколько увеличивая искажения при детектировании. Вообще же качество работы этого приемника таково, что иногда становятся заметными дефекты радиопередачи и искажения, вносимые передающим радиоцентром. Летом 2000 г., например, часто сравнивались передачи «Маяка» на частотах 198 (ДВ) и 549 кГц (СВ). Можно с определенностью сказать, что качество передачи на СВ было выше, что, вероятно, объясняется тем, что на более высоких частотах легче получить меньшие частотные и амплитудные искажения в передающем тракте.

Анализ искажений при детектировании огибающей АМ сигнала – задача очень сложная, и обычно решается лишь при некоторых упрощающих предположениях. Так, например, общепринятое описание работы диодного детектора (рис. 3.10а) состоит в следующем: синусоидальное напряжение сигнала  $U$  (рис. 3.10б) через диод VD заряжает конденсатор  $C_d$  до некоторого напряжения  $U_{\text{вых}}$ . Ток через диод  $i_d$  приобретает вид коротких импульсов с формой усеченной косинусоиды. Как показано в статье [18], это справедливо лишь при слабом шунтировании контура детектором. У нас же как раз противоположный случай, когда контур сильно шунтируется детектором, для того чтобы повысить коэффициент передачи мощности.

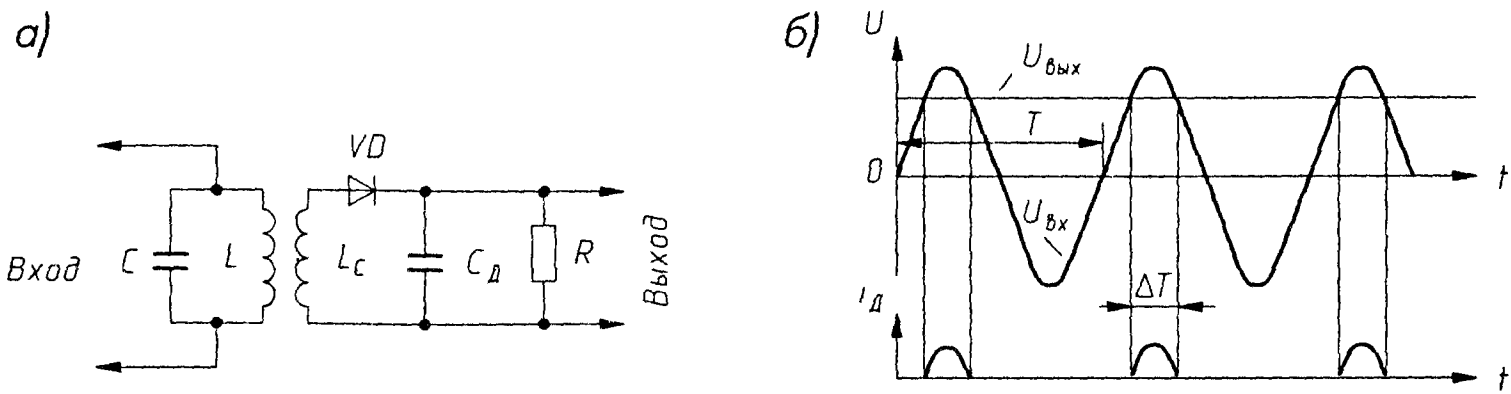


Рис 3 10 К анализу работы амплитудного детектора

Этот случай экспериментально исследовал В. Псурцев [18]. На рис. 3.11 показаны снятые им осциллограммы напряжения на контуре (а), тока через диод (б) и тока через конденсатор контура (в). Видно, что импульсы тока через диод вовсе не синусоидальные, а треугольные, форма же тока через конденсатор синусоидальна за вычетом именно таких треугольных импульсов. Происходит как бы «переброс» тока из контурной емкости в диод при открывании последнего. Синусоидальное же напряжение на контуре (а) ограничено, причем лишь с одной стороны – со стороны положительных полуволн.

Исходя из этих исследований можно предложить схему детекторного приемника с двухтактным детектором, индуктивной связью с контуром и без блокировочного конденсатора  $C_d$  (рис. 3.12). Поскольку в нагрузке детектора нет заряжающегося конденсатора, нет и отсечки тока через диоды. На положительной полуволне будет открываться диод VD1, а на отрицательной – VD2. Осциллограммы напряжения на контуре (рис. 3.13а) и тока в нагрузке – первичной обмотке выходного трансформатора T1 (рис. 3.13б) – останутся

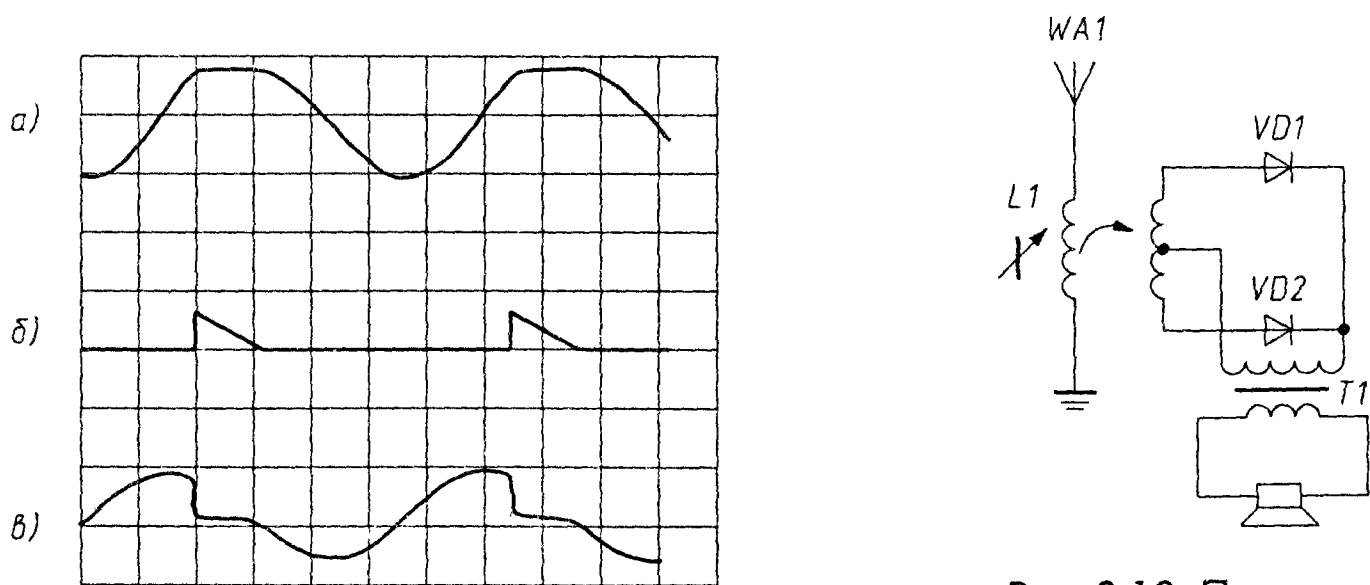


Рис 3 11 Осциллограммы напряжений и токов в реальном детекторе

Рис 3 12 Приемник с двухполупериодным детектором и индуктивной связью

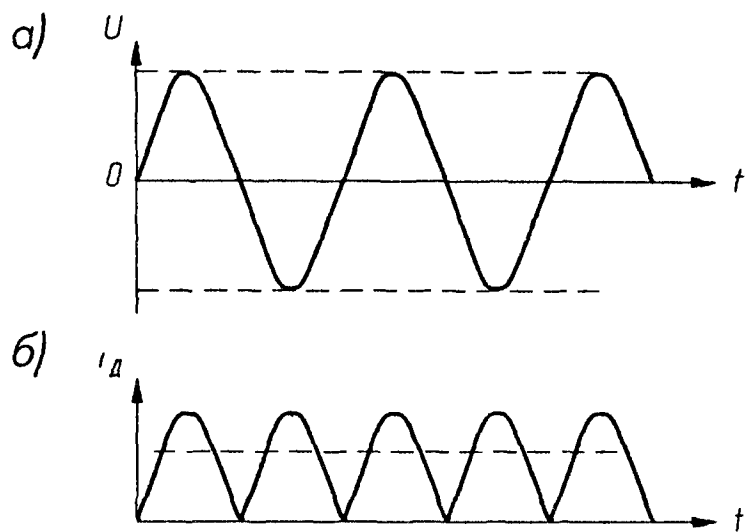


Рис 3 13 Осциллограммы напряжений и токов в двухполупериодном детекторе

синусоидальными, а постоянная составляющая этого тока (штриховая линия) должна достаточно точно соответствовать амплитуде колебаний.

Настройка контура приемника по-прежнему ведется сердечником катушки  $L_1$ , но надо предусмотреть еще возможность передвижения катушки связи  $L_2$  для регулировки нагрузки контура детектором. Катушка связи содержит примерно  $1/3-1/4$  числа витков контурной.

Ее для большей симметричности лучше наматывать одновременно двумя проводами. Затем конец одного провода соединяется с началом другого, образуя среднюю точку.

### 3.2.3. Ключевые детекторы

Значительный «прорыв» в области усовершенствования АМ детекторов сделали М. Балашов и В. Беляков [19]. Они совсем отказались от диодов, заменив их управляемыми транзисторными ключами. Схема ключевого транзисторного детектора показана на рис. 3.14а. Она напоминает схему преобразователя напряжения, включенного «наоборот»: высокочастотный сигнал подается на выход преобразователя, а продетектированный снимается с его входа. Для управления транзисторами имеются вспомогательные обмотки связи III и IV, напряжения на которых поочередно открывают транзисторы  $V_1$  и  $V_2$ . Через открытые переходы коллектор – эмиттер полуволны сигнала со вторичной обмотки ВЧ трансформатора  $T_1$  передаются в нагрузку. Если бы не было сглаживающего конденсатора  $C$ , напряжение на нагрузке имело бы вид, как на рис. 3.13б. При наличии конденсатора напряжение на нагрузке сглажено, но, вероятно, появляются значительные коммутационные токи через транзисторы.

Тем не менее ключевой транзисторный детектор имеет ряд преимуществ сравнительно с диодным двухполупериодным детектором. Его амплитудная характеристика (кривая 1 на рис. 3.14б) более линейна, чем у диодного детектора (кривая 3), и имеет большую крутизну. При инверсном включении транзисторов, когда выводы

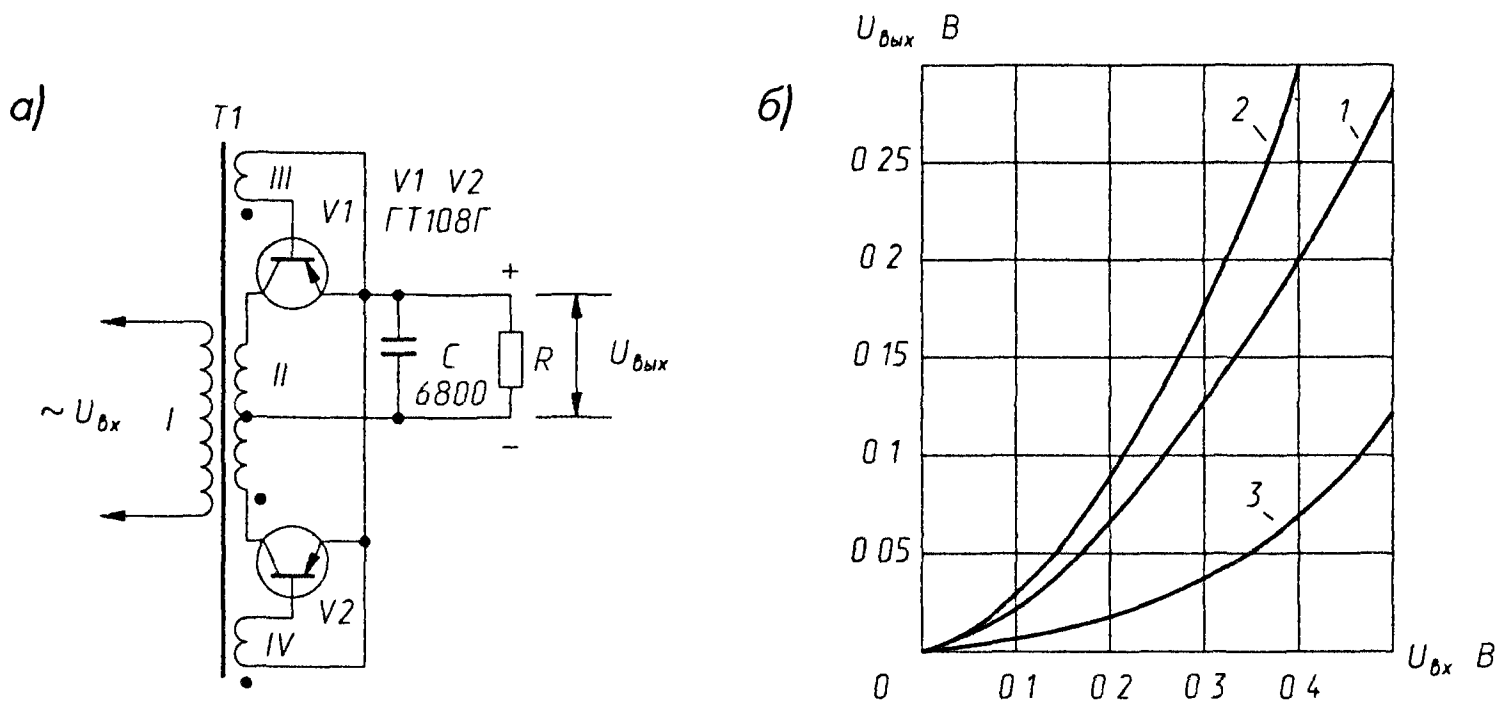


Рис 3 14 Ключевой транзисторный детектор  
а – схема, б – амплитудные характеристики

эмиттера и коллектора меняются местами, наблюдается дальнейшее повышение крутизны характеристики и увеличение ее линейности. Эти преимущества объясняются тем, что сопротивление перехода коллектор-эмиттер меньше прямого сопротивления диода при тех же значениях входного напряжения.

При испытаниях ключевого детектора использовался трансформатор Т1 на двух сложенных вместе кольцах типоразмера К7×4×2 из феррита 600НН. Обмотка I содержала 75 витков провода ПЭВ 0,11, обмотка II – 2×45, обмотки III и IV – по 15 витков того же провода. Двухполупериодный детектор на диодах Д9Б (для сравнения) подключался к обмотке II. В ключевом детекторе, хорошо работают транзисторы ГТ108Г, ГТ109В, ГТ109Г, ГТ115В–Д и другие германиевые с коэффициентом передачи тока 100–200.

Практическая схема приемника дана на рис. 3.15. В антенной цепи установлен переключатель S1, позволяющий переходить с последовательной схемы настройки на параллельную, для перестройки по частоте служит КПЕ С1. Катушки неподвижно закреплены на ферритовом стержне от магнитной антенны

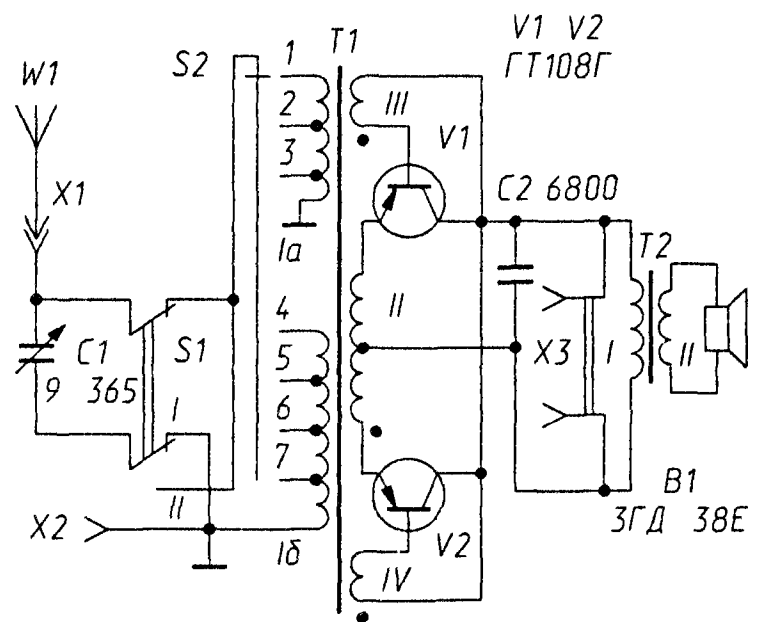


Рис 3 15 Принципиальная схема приемника с ключевым детектором

радиоприемника «Альпинист-405», причем секции обмотки I размещены ближе к краям, а обмотки II–IV в середине стержня. Индуктивность контурной катушки (обмотка I) можно изменять скачками, переключателем S2. Число витков изменяется от 17 до 125. Обмотка II содержит 2×15 витков, базовые обмотки – по 10 витков провода ПЭВ 0,18–0,44. Точками на схеме обозначены начала обмоток, все они наматываются в одну сторону. Полярность включения существенна по самому принципу работы детектора.

Выходной трансформатор намотан на пермалловом сердечнике Ш8×10. Обмотка I содержит 1650 витков ПЭВ 0,1, обмотка II – 165 витков ПЭВ 0,59. Гнезда X3 служат для подключения телефонов при приеме удаленных станций. Весь приемник собран в корпусе трансляционного громкоговорителя, автор рекомендует головки ЗГД-38Е, 4ГД-8Е, 4ГД-35. Приемник обеспечивал громкоговорящий прием радиостанции на частоте 173 кГц в 60 км от Москвы с антенной длиной 20 м и высотой подвеса около 18 м.

Анализируя полученные авторами результаты, заметим, что детектор работает при очень низком сопротивлении нагрузки (470 Ом), а следовательно, и при низком входном сопротивлении детектора. В этих условиях ключевой детектор, действительно, должен давать значительный выигрыш в коэффициенте передачи мощности, то есть в КПД. Оценим, примерно, уровень мощности сигнала, при котором снимались характеристики рис. 3.14. При максимальном выходном напряжении 0,3 В и сопротивлении нагрузки 470 Ом ток составит 0,64 мА и мощность 0,2 мВт. Этого едва достаточно для громкоговорящего приема.

Диодный детектор лучше работает при высоких сопротивлениях нагрузки, малых токах и значительных напряжениях. Ту же мощность можно получить при напряжении, скажем, 2 В, токе 0,1 мА и сопротивлении нагрузки 20 кОм. В этих условиях амплитудная характеристика диодного детектора достаточно линейна, а прямое сопротивление диода не превосходит 0,5–1 кОм, что дает и небольшие потери. При больших уровнях мощности потери в диодном детекторе еще меньше – вспомните про выпрямители, работающие с КПД почти 100%.

Тем не менее автор вовсе не является категорическим сторонником диодных детекторов, немало экспериментов было проведено и с транзисторами. Одна из удачных схем транзисторного детектора приведена на рис. 3.16. Работает детектор следующим образом: положительные полуволны сигнала с катушки связи L2 открывают переход

база – эмиттер транзистора и создают на базе, благодаря цепочке R1C1, небольшое положительное смещение. Теперь транзистор работает в режиме отсечки, открываясь лишь на вершинах положительных полуволн сигнала (здесь вполне подходят осциллограммы рис. 3.10б). Коллектор при этом оказывается под отрицательным напряжением относительно базы и эмиттера, и практически весь импульс эмиттерного тока передается в коллекторную цепь. Там он сглаживается конденсатором C2, и продетектированный ток питает первичную обмотку выходного трансформатора.

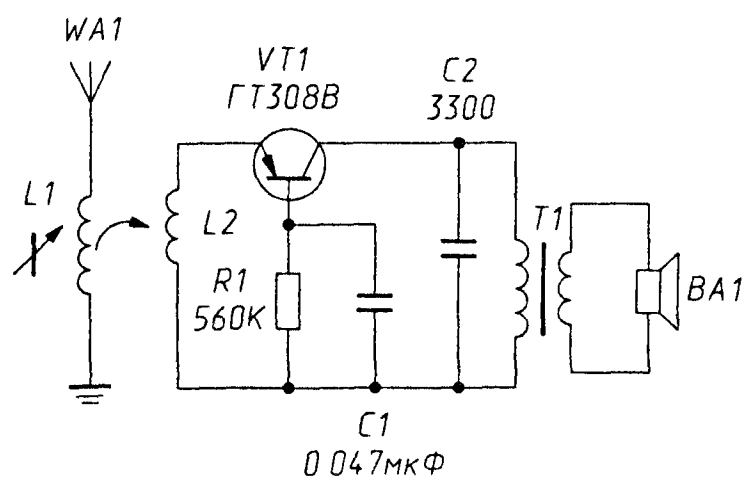


Рис 3.16 Приемник с детектором на транзисторе

Чтобы выяснить, какая же именно часть эмиттерного тока ответвляется в коллекторную цепь, были сняты характеристики этого транзистора при малых токах базы (рис. 3.17).

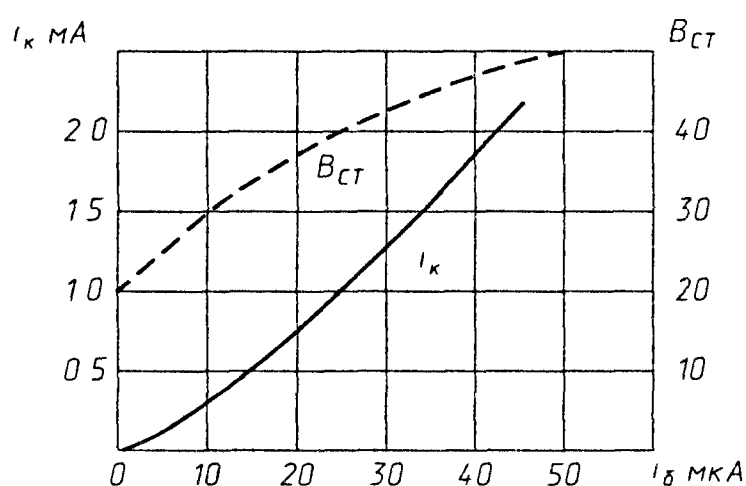


Рис 3.17 Характеристики транзистора при малых токах базы

Оказалось, что даже при очень малых токах базы, коэффициент передачи тока  $B_{ст}$  в схеме с ОЭ не падает ниже 20, а это означает, что 95% тока эмиттера поступает в коллекторную цепь, что и обеспечивает хороший КПД при детектировании. В экспериментах выяснилось, что при слабых сигналах транзистор может работать и без смещения, при замкнутой цепочке R1C1.

### 3.2.4. Двухполупериодные детекторы на комплементарных транзисторах

Дальнейшим развитием идеи был переход к двухполупериодному детектору на транзисторах разного типа проводимости (рис. 3.18). Очень хорошо (даже на УКВ) в нем работали германиевые СВЧ транзисторы ГТ311 и ГТ313. Двухполупериодный детектор не требует гальванической связи с источником сигнала, поэтому используется регулируемая емкостная связь через конденсатор C1, уже описанная выше. Еще одно достоинство этого детектора в том, что на коллекторах транзисторов выделяется разнополярное напряжение

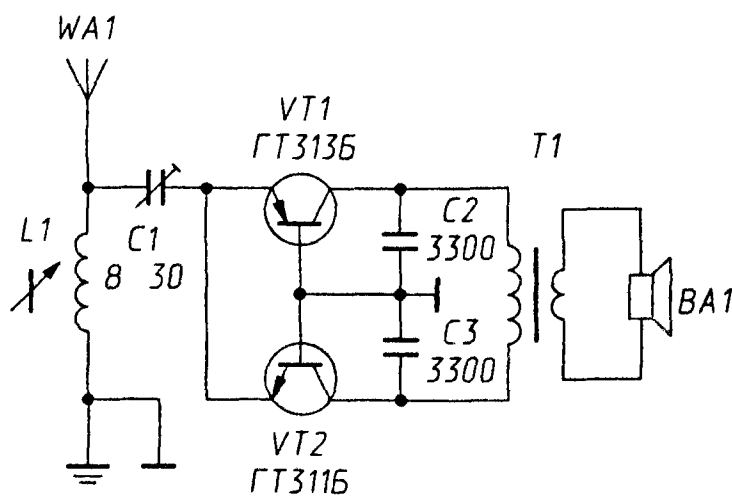


Рис 3 18 Двухполупериодный транзисторный детектор

продетектированной постоянной составляющей: на коллекторе VT1 – положительное, а на коллекторе VT2 – отрицательное. Поскольку коллекторы соединены через первичную обмотку выходного трансформатора, эти напряжения компенсируются, отчего работа детектора улучшается.

В обоих приемниках с транзисторными детекторами использовалась ДВ катушка магнитной антенны транзисторного приемника (около 250 витков). Катушка связи L2 (рис. 3.16) имеет 40–60 витков на отдельном каркасе, чтобы его передвижением по ферритовому стержню можно было регулировать связь. В приемнике по схеме, представленной на рис. 3 18, регулировка связи гораздо удобнее. В случае слабых сигналов (еле-еле громкоговорящий прием) последний приемник давал несколько большую громкость, чем с детектором на диодах. Однако при большой антенне и сильных сигналах, когда начинается настоящий громкоговорящий прием, в этом приемнике появляются искажения – приходилось ослаблять связь с антенной конденсатором C1.

В обоих транзисторных приемниках был использован выходной трансформатор от трансляционного громкоговорителя типа ТАГ-III-4. Он намотан на магнитопроводе Ш6×12, первичная обмотка содержит 2230 витков провода ПЭВ 0,1, вторичная – 63 витка ПЭВ 0,47. В АС была установлена одна головка типа 1ГД-40. Надо заметить, что приемник с двухполупериодным детектором очень хорошо работал и с высокоомными телефонами, включенными вместо первичной обмотки выходного трансформатора.

### 3.3. ПИТАНИЕ ПРИЕМНИКА «СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИЕЙ»

Совершенно ясно, что громкоговорящие детекторные приемники получают энергию для своей работы только из эфира – эта энергия является частью энергии радиопередатчика и переносится в точку

приема радиоволнами. Поскольку, будучи излученной, она уже не зависит от передатчика и существует самостоятельно, ее назвали «свободной энергией». Оптимизировав антенну, изготовив и опробовав один-два вышеописанных приемника, вы вправе задаться вопросом: а все ли мы сделали, чтобы максимально использовать эту энергию?

### 3.3.1. Открывающиеся возможности

В этом плане очень интересна развернувшаяся среди радиолюбителей дискуссия о возможности усиления продетектированного ЗЧ сигнала радиостанции при питании усилителя свободной энергией поля той же самой станции. (То, что можно усилить сигнал слабой станции за счет энергии более мощной, сомнений не вызывает.) Дискуссия развернулась после публикации в журнале «Радио» краткого сообщения о детекторном приемнике с усилителем на биполярном транзисторе [21, 22]. Авторы из Radio-Electronics сообщали, что приемник звучит громче обычного детекторного, то же самое утверждал и автор [23], повторивший приемник и изменивший лишь схему входного контура (к сожалению, не в лучшую сторону). Противники же придерживались убеждения, что такой приемник принципиально не может звучать громче обычного детекторного, поскольку дополнительной энергии для усиления сигнала ЗЧ взять неоткуда.

Для внесения ясности в этот вопрос обратимся к схеме простейшего приемника (рис. 3.19) и посмотрим, что же получается на его нагрузке. Пусть контур, образованный емкостью антенны  $WA1$  и индуктивностью катушки  $L1$ , настроен на частоту АМ сигнала (см. осциллограмму слева), детектор на диоде  $VD1$  согласован подбором отвода катушки, блокировочный конденсатор  $C1$  сгладил высокочастотные пульсации, и на нагрузке  $R1$  появилось напряжение  $U$ . Через нагрузку потечет постоянный ток  $I = U / R1$  и выделится мощность  $P_{\text{пост}} = UI$ . Все это в режиме несущей, без модуляции.

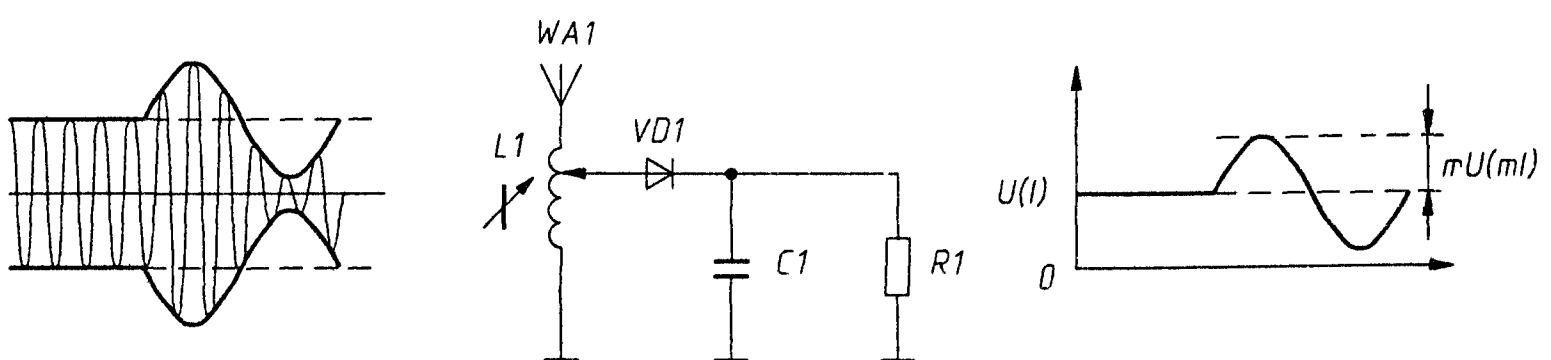


Рис 3 19 Простейший приемник и осциллограммы сигналов на его входе и выходе

При модуляции с коэффициентом  $m$  на нагрузке появится еще и переменное напряжение ЗЧ с амплитудой  $mU$  и потечет переменный ток с амплитудой  $mI$ . Мощность переменной составляющей будет  $P_{\text{пер}} = mUmI / 2 = P_{\text{пост}} m^2 / 2$ . Как видим, отношение мощности переменного тока ЗЧ к мощности постоянного в нагрузке окажется  $m^2 / 2$ . Но создает звук только мощность переменного тока ЗЧ, в то время как мощность постоянного пропадает в нагрузке напрасно.

Такая потеря весьма ощутима. Чтобы избежать перемодуляции на пиках сигнала ЗЧ, на радиостанциях устанавливают коэффициент модуляции порядка 0,3 (30%), и эта норма вошла даже в ГОСТы. За счет продолжительных тихих звуков и пауз средний коэффициент модуляции получается еще меньше. Но даже при  $m = 0,3$  мощность переменной компоненты оказывается равной всего 4,5% от мощности постоянной составляющей. Если мощность постоянного тока использовать для усиления сигнала ЗЧ да еще с хорошим КПД, то теоретически выходную мощность громкоговорящего детекторного приемника можно увеличить в 20 раз. Таким образом, детекторный приемник с услителем [21–23] просто обязан дать выигрыш в громкости.

Схема его настолько проста, что воспроизведем ее полностью (рис. 3.20). Входной контур образован емкостью антенны  $WA1$  и индуктивностью катушки  $L1$ . Конденсатор  $C1$  служит для более точной настройки на частоту мощной местной станции. Его емкость, так же как число витков катушки и положение отвода, подбираются до получения максимального продетектированного сигнала на блокировочном конденсаторе  $C2$ .

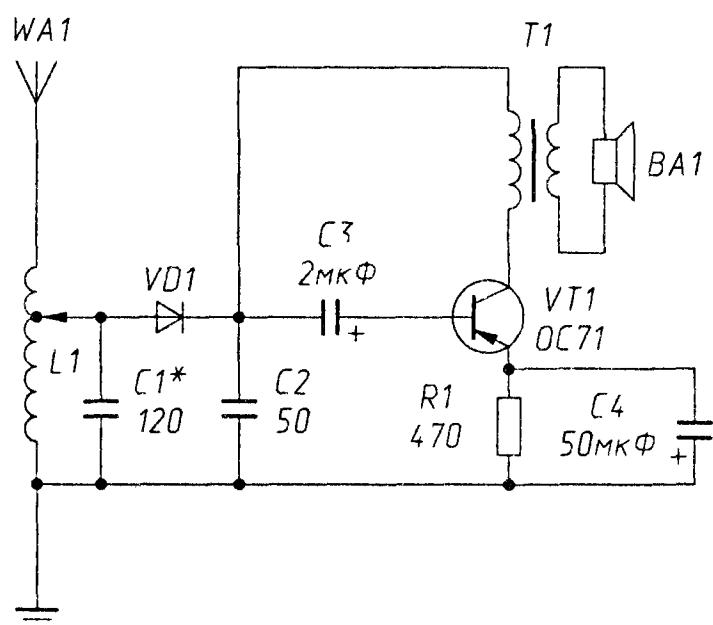


Рис 3 20 Схема приемника 1966 г с услителем, питаемым энергией сигнала

Постоянная составляющая продетектированного сигнала служит напряжением питания, а переменная — через разделительный конденсатор  $C3$  поступает на базу транзистора  $VT1$  для усиления. Трансформированное сопротивление громкоговорителя в коллекторной цепи должно составлять около 8 кОм. Смещение на базу транзистора не подается, поскольку старинные германиевые транзисторы при малых токах хорошо работают и без смещения, за счет

начального тока коллектора. Рекомендуемые замены: диод – любой германиевый из серий Д2, Д9, Д18, Д20, транзистор – П13 – П16, МП39 – МП42 с любым буквенным индексом.

Как показала экспериментальная проверка, приемник работает неплохо и дает заметное увеличение громкости по сравнению с детекторным. Цепочка смещения R1C4 совершенно не нужна, и эмиттер транзистора просто соединяется с общим проводом. Если начальный ток коллектора недостаточен, разделительный конденсатор C3 следует шунтировать резистором с сопротивлением 0,5–2,7 МОм. Трансформатор – любой выходной от лампового радиоприемника или телевизора, или даже от трансляционной радиоточки.

Эту конструкцию 1966 г. в дальнейшем удалось еще несколько усовершенствовать, и то, что получилось, показано на рис. 3 21. Собственно приемник содержит входной контур, образованный емкостью антенны и катушкой L1, подстроечный конденсатор связи C1 и детектор на германиевых высокочастотных диодах (любого типа) VD1, VD2. Использована средневолновая катушка стандартной магнитной антенны от любого приемника, настройка ведется передвижением ферритового стержня. На длинных волнах используется длинноволновая катушка, антенна по-прежнему присоединяется прямо к контуру, а при недостаточной индуктивности можно присоединить КПЕ параллельно катушке. Конденсатор C2 – блокировочный, сглаживающий высокочастотные пульсации протектированного сигнала.

Усилитель собран на германиевом низкочастотном маломощном транзисторе (любого типа) VT1. Сигнал ЗЧ на базу подается через разделительный конденсатор C3 (керамический), а смещение – через резистор R1. Нагрузкой служит динамическая головка или АС ВА1,

включенная через согласующий трансформатор Т1. Конденсатор C4 выравнивает АЧХ на высоких звуковых частотах и еще раз фильтрует высокочастотные пульсации. Коллекторный ток транзистора протекает не только через нагрузку, но еще и через внутреннее сопротивление «источника питания» – того же детектора, создавая, таким образом, довольно сильную отрицательную

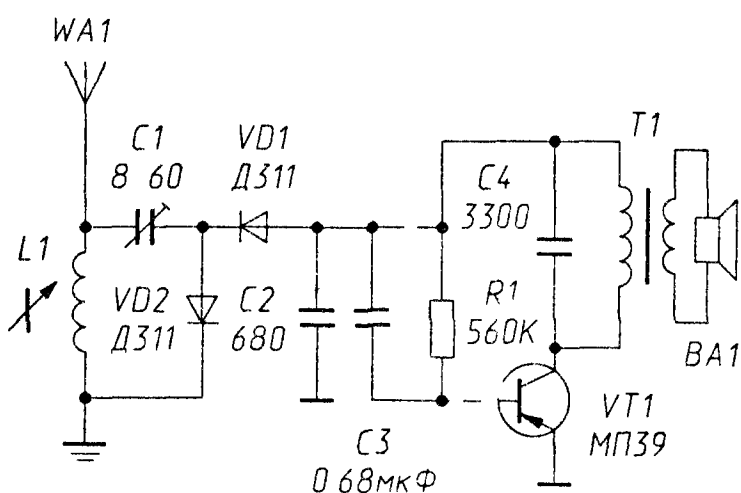


Рис 3 21 Модифицированный приемник с усилителем

обратную связь. Она уменьшает коэффициент усиления по напряжению и снижает нелинейные искажения.

Оптимальное сопротивление нагрузки усилителя составляет 6–10 кОм, а поскольку оно равно сопротивлению АС (здесь и далее 4 Ом), помноженному на квадрат коэффициента трансформации, последний должен составлять 40–50. Подойдет выходной трансформатор от старых ламповых телевизоров, имеющий, например, 3000 витков в первичной обмотке и 60 во вторичной. Вряд ли следует использовать миниатюрные трансформаторы, поскольку они намотаны тонким проводом и вносят большие потери. Акустические системы описывались выше. Автор использовал полированный деревянный корпус старого телевизора, закрытый спереди отражательной доской из ДСП, обтянутой редкой декоративной тканью. На доске были смонтированы четыре головки 4ГД-4 РРЗ от старых радиоприемников.

Налаживание приемника сводится к настройке входного контура на частоту мощной радиостанции при одновременной подстройке емкости  $C1$  и затем подбору сопротивления  $R1$ , все по максимальной громкости звучания. КПД однотактного трансформаторного усилителя, работающего в классе А, не превосходит 50%, поэтому выигрыш по выходной мощности этого приемника по сравнению с обычным детекторным не превосходит 10 раз, что соответствует, тем не менее, трехкратному увеличению звукового давления.

### 3.3.2. Питание полем мощных станций

Энергию радиосигнала мощной радиостанции можно использовать не только для усиления ее собственного продетектированного звукового сигнала, но для приема сигналов других, менее мощных станций. Схема такого устройства, разработанного Ю. Прокопцевым [24], показана на рис. 3.22. По сути, оно состоит из двух радиоприемников, один из которых, детекторный, служит источником питания для другого, транзисторного. Контур  $L1C3C5$  настроен на частоту наиболее мощной в данном регионе радиостанции. Сигнал от антенны на этот контур подается через конденсатор связи  $C1$ . Радиочастотное напряжение выпрямляется диодами  $VD1, VD2$ , включенными по схеме с удвоением напряжения.

Конденсаторы  $C7$  и  $C9$  фильтруют продетектированный сигнал, сглаживая и радиочастотную, и звуковую составляющие. Постоянная составляющая подается на транзисторы второго приемника и служит для них напряжением питания. Колебательный контур

второго приемника L2C4 настраивается на частоты СВ диапазона. Он связан с той же антенной конденсатором C2. Через катушку связи L3 СВ сигнал подается на базу транзистора VT1, детектирующего и несколько усиливающего сигнал. Транзистор VT2 усиливает сигнал ЗЧ желаемой, слабой станции. В его коллекторную цепь включены высокоомные телефоны.

Катушка L1 – ДВ катушка магнитной антенны приемника «Абава», катушка L2 – СВ катушка той же антенны, но размещенная на отдельном ферритовом стержне. Катушка связи L3 содержит 20 витков и может передвигаться относительно контурной L2 для регулировки связи с транзисторным детектором. КПЕ и подстроечный конденсатор могут быть любого типа. Автор сообщает о достаточно громком приеме СВ радиостанций при питании полем мощной ДВ станции.

Думается, что приемник можно улучшить согласно рекомендациям, изложенным в этой книге: конденсаторы C1 и C3 исключить, подсоединив антенну прямо к катушке L1, вместо C6 поставить подстроечный конденсатор C5 и отрегулировать его емкость до получения максимального напряжения питания. Транзисторная часть – СВ приемник – может иметь бо́льшую чувствительность и бо́льшее усиление, если на транзистор VT1 подать небольшое напряжение смещения. Впрочем, можно попытаться применить и другие транзисторные приемники, описанные ниже.

### 3.3.3. Более полное использование энергии несущей

Но вернемся к вопросу громкоговорящего приема одной мощной станции и посмотрим, нельзя ли сделать усилитель более эффективным. Анализ работы детектора (см. рис. 3.19) приводит к заключению, что усиливать надо не напряжение продетектированного сигнала ЗЧ, а главным образом ток, поскольку амплитуда ЗЧ и так на пиках сигнала достигает уровня постоянной составляющей, то есть напряжения питания усилителя (см. правую осциллограмму). В этих

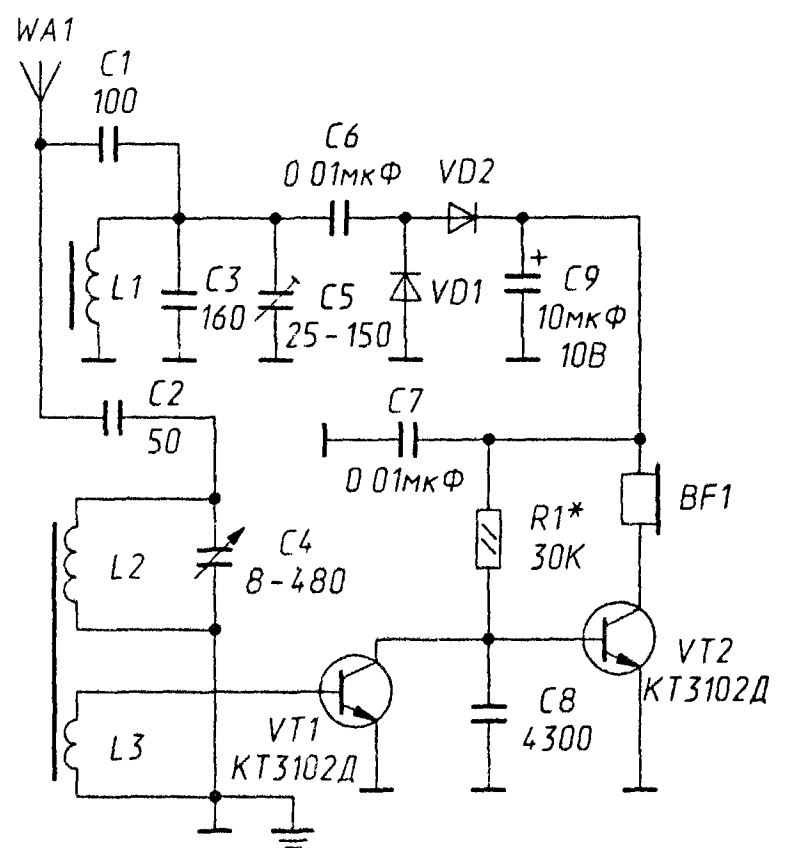


Рис 3 22 Приемник с питанием энергией поля мощной радиостанции

условиях усиление напряжения неизбежно приведет к ограничению пиков сигнала.

Это навело на мысль о целесообразности применения двухтактного эмиттерного повторителя на комплементарной паре транзисторов, работающего в классе АВ и хорошо известного из схемотехники транзисторных УЗЧ. Он имеет большой КПД и потребляет меньший ток при тихих звуках и паузах, что позволяет накапливать энергию продетектированной несущей и затем использовать ее на пиках сигнала ЗЧ.

Схема приемника с таким усилителем приведена на рис. 3.23. Поскольку он использовался в СВ диапазоне, а антенна имела довольно большую емкость, контур приемника L1–С1 выполнен по схеме последовательной настройки. Оптимальная связь с детектором подбиралась уменьшением индуктивности при одновременном увеличении емкости или наоборот. Использовалась СВ катушка магнитной антенны со стержнем из феррита 400НН.

Переменная составляющая продетектированного сигнала через разделительные конденсаторы С3, С4 подается на базы транзисторов усилителя, а постоянная составляющая – через дроссель L2 на накопительный конденсатор С5. Подсоединить его непосредственно к выходу детектора нельзя, так как в этом случае были бы сглажены и подавлены звуковые колебания. Параметры дросселя не критичны – он должен обладать лишь достаточным индуктивным сопротивлением на звуковых частотах. Подойдет любой дроссель или трансформатор с обмоткой, содержащей не менее 2000 витков при сечении сердечника не менее 1 см<sup>2</sup>. Можно использовать первичную обмотку такого же трансформатора как Т1. Выводы его вторичной обмотки остаются свободными.

Оптимальный коэффициент трансформации Т1 получился меньше, чем в предыдущей схеме (рис. 3.21), и составил около 30 для 4-омной нагрузки. Удобно использовать маленький «силовик» – трансформатор питания транзисторных приемников с первичной обмоткой на 220 и вторичной на 6,5–9 В. Можно подобрать подходящий трансформатор из серий ТВЗ и ТВК от ламповых телевизоров; не исключено, что придется перемотать вторичную обмотку. В последнем случае полезно сделать несколько отводов, чтобы подбирать нужный коэффициент трансформации, в частности и под разные головки. Габариты устройства с двумя довольно большими и довольно тяжелыми сердечниками трансформатора и дросселя смущать не должны, поскольку большая антенна и «напольная» акустическая система уже определяют статус конструкции: она заведомо стационарная.

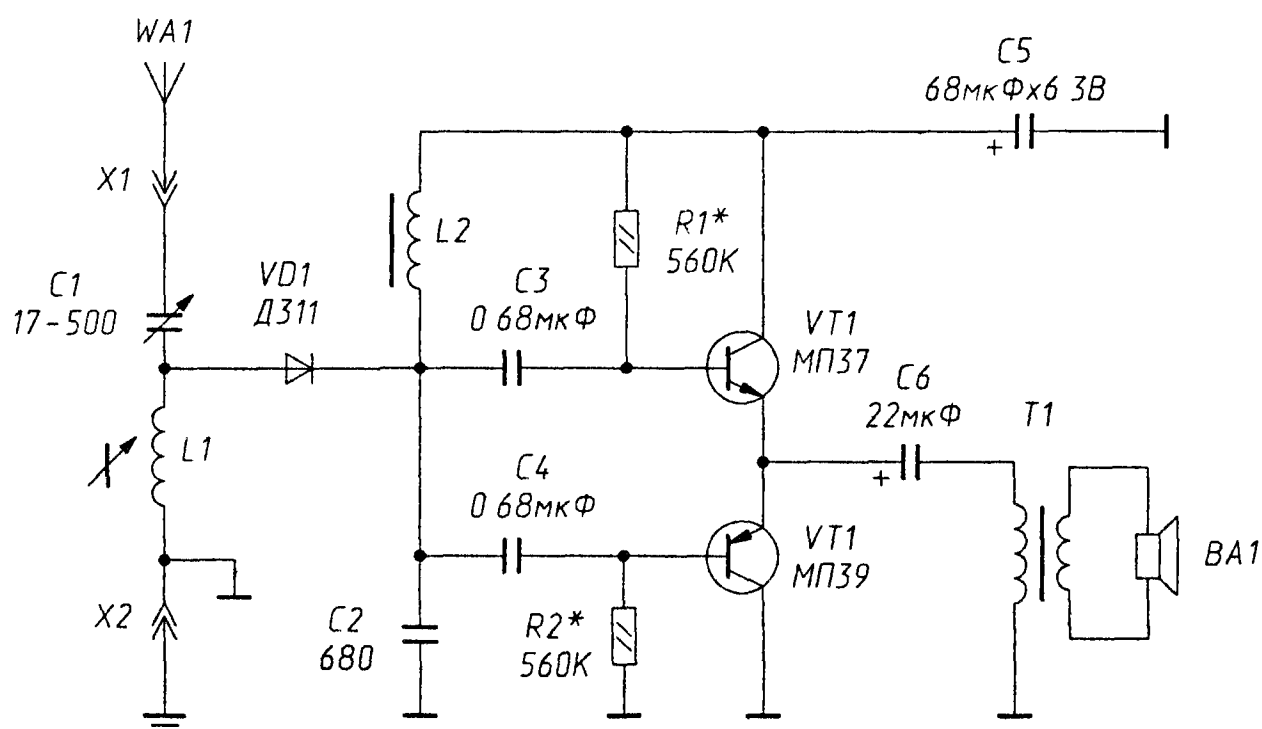


Рис. 3.23. СВ приемник с двухтактным усилителем

Приемник эксплуатировался в дачном деревянном доме в 33 км к юго-востоку от Москвы. Провод антенны был проложен вдоль всего чердака под железной крышей (поэтому антенна и имела значительную емкость). Заземлением служили трубы водозаборной скважины, заглубленные на 7 м. Проволочная антенна длиной всего около 12 м, протянутая из окна к коньку крыши и затем к соседней березе, дала еще лучшие результаты. Очень громко принимались две СВ радиостанции – «Радио России» на частоте 873 кГц и «Радио-1» на частоте 1305 кГц. К лету 2000 г. последняя почему-то прекратила вещание. После настройки приемника на радиостанцию емкость накопительного конденсатора С5 целесообразно увеличить до 500–1000 мкФ – это практически устранит колебания напряжения питания усилителя и уменьшит искажения звукового сигнала.

Внимательный читатель мог заметить, что на пиках модуляции, когда  $m = 1$ , амплитуда колебаний ЗЧ на выходе детектора равна постоянной составляющей, служащей напряжением питания, а это вдвое больше, чем необходимо для правильной работы усилителя этого приемника. По этой причине неизбежно ограничение пиков звукового сигнала. Однако прослушивание приемника показало, что такие случаи довольно редки и искажения на слух практически мало заметны. Видимо, входное сопротивление усилителя шунтирует детектор на звуковых частотах и несколько снижает амплитуду колебаний. К тому же и коэффициент модуляции редко достигает 100%.

### 3.3.4. Приемники с мостовыми усилителями

Увеличить напряжение питания до необходимого позволяет двухполупериодный детектор-выпрямитель с удвоением напряжения.

Искажения на пиках при этом должны снизиться, а для того чтобы совсем симметрично нагрузить диоды детектора и еще уменьшить искажения, было решено построить усилитель по мостовой схеме. Она же позволила избавиться от разделительного конденсатора на выходе.

Схема приемника с двухполупериодным детектором, двуполярным питанием и мостовым услителем показана на рис. 3.24. Его входная цепь сначала была выполнена так же, как и у предыдущего, и приемник работал в СВ диапазоне за городом, а после «переезда» на городскую квартиру цепь была изменена. В ней использована ДВ катушка L1 с настройкой ферритовым сердечником и емкостная связь с детектором через подстроечный конденсатор C1. Кроме того, в качестве входной части с успехом использовался универсальный детекторный приемник по схеме (рис. 2.22).

Итак, положительные полуволны высокочастотного сигнала детектируются диодом VD1 (рис. 3.24), сглаживаются конденсатором C2 и фильтруются низкочастотным дросселем L2 с накопительным конденсатором C8, создавая положительное напряжение питания. Аналогичным образом элементы VD2, C3, L3 и C9 создают отрицательное напряжение питания (два дросселя и трансформатор нас по-прежнему не смущают).

Составные эмиттерные повторители на транзисторах VT1, VT2 и VT3, VT4 возбуждаются в противофазе от разных детекторов, создавая противофазный сигнал ЗЧ на выводах первичной обмотки согласующего трансформатора T1. Так же, как и в предыдущей схеме, его оптимальный коэффициент трансформации оказался около 30,

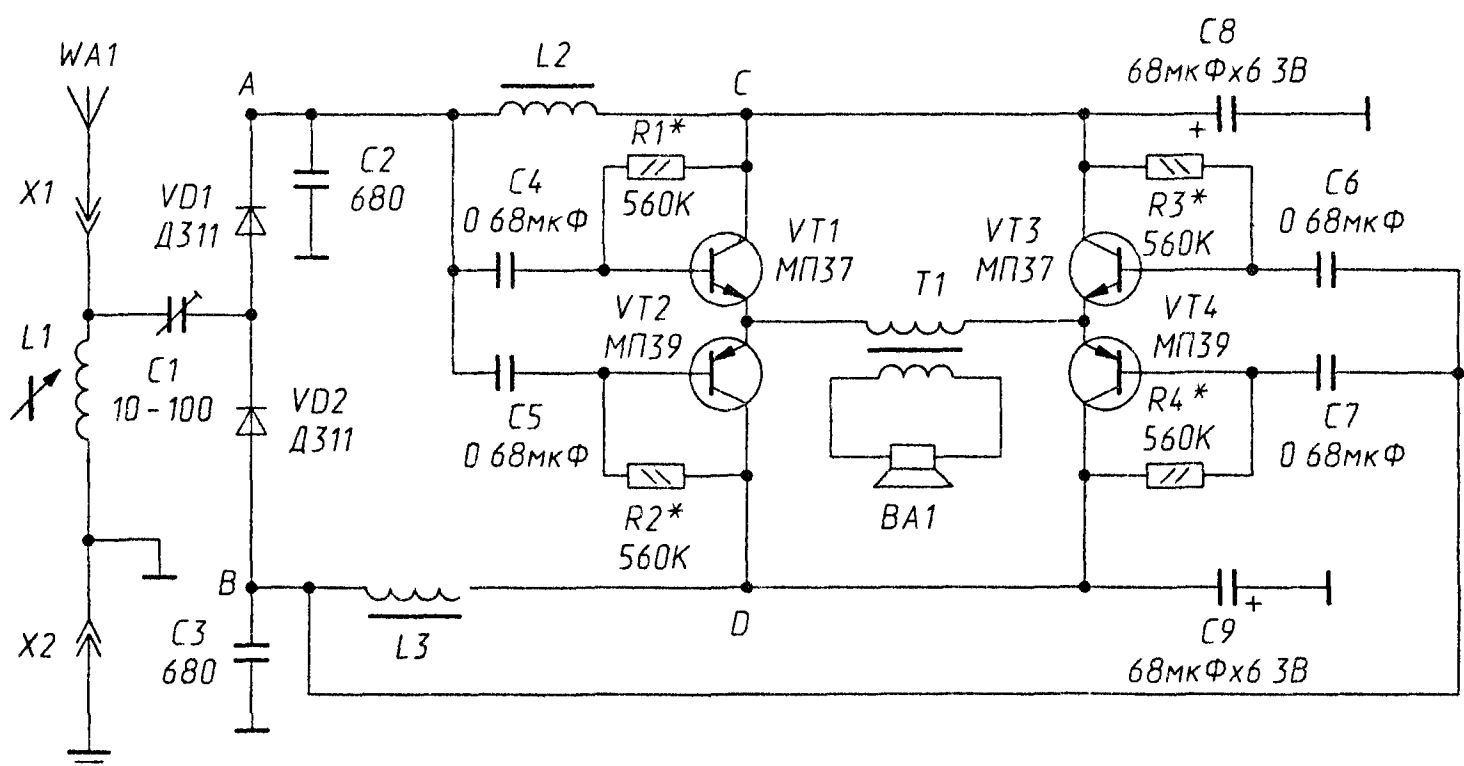


Рис. 3.24. Громкоговорящий приемник с мостовым услителем

но за счет противофазного возбуждения первичной обмотки мостовым усилителем выходная мощность получается больше. Назначение остальных элементов схемы (рис. 3.24) такое же, как на рис. 3.23. Остаются в силе и рекомендации по выбору дросселей.

Налаживание приемников с питанием свободной энергией имеет ряд особенностей. В отличие от обычного, этот приемник не работает, пока не настроен на мощную радиостанцию, поскольку нет напряжения питания. Но и после настройки должно пройти какое-то время, пока не зарядятся накопительные конденсаторы (С5 на рис. 3.23 и С8, С9 на рис. 3.24). Время заряда прямо пропорционально их емкости, поэтому при первых экспериментах она не должна быть большой. Но при этом в случае продолжительных громких звуков (особенно при музыкальных пассажах) напряжение питания и продетектированное напряжение ЗЧ заметно падают из-за возрастающего тока усилителя, что приводит к ограничению динамического диапазона. Это вовсе не приводит к каким-то особым нежелательным последствиям и даже улучшает разборчивость речи, но ухудшает качество воспроизведения музыки.

Когда же приемник будет «сдан в постоянную эксплуатацию», емкость накопительных конденсаторов можно увеличить даже до нескольких тысяч микрофард, это улучшит динамику приемника и позволит отрабатывать пики сигнала ЗЧ. В любом случае все конденсаторы приемника должны иметь малую утечку (проверяется омметром), чтобы не нагружать наш слабенький эфирный источник питания лишним током. Осциллограмма сигнала в точке А (рис. 3.24) полностью соответствует осциллограмме справа на рис. 3.19, в точке В она точно такая же, но отрицательной полярности. Контролировать продетектированное постоянное напряжение (напряжение питания усилителя) очень удобно любым высокоомным вольтметром, подключенным к точкам С и D. Автор использовал вольтметр на 25 В, состоящий из измерительной головки на 50 мкА и добавочного резистора сопротивлением 500 кОм. Вольтметр служит и индикатором настройки.

Подбор резисторов смещения во всех описанных приемниках производится с учетом следующих соображений: чем больше сопротивление, тем меньше потребляемый ток (ток покоя в приемниках на рис. 3.23 и 3.24), тем хуже усилительные свойства транзистора, но выше напряжение питания! Компромисс можно найти только опытным путем для данной конкретной антенны по максимальной громкости и качеству звука. В приемниках по схемам на рис. 3.23 и 3.24 резисторы смещения совсем не обязательно должны быть

одинаковыми, особенно если транзисторы не подбирались по парам с одинаковым усилением по току и начальным током коллектора. Исходить надо из того, чтобы постоянное напряжение на эмиттерах (измеряется высокоомным вольтметром относительно общего провода – «земли») было равно половине напряжения питания (рис. 3.23) или нулю (рис. 3.24).

Начать эксперимент лучше вообще не устанавливая резисторов, затем попробовать установить номиналы от 2,7 до 1 МОм, и лишь располагая хорошей антенной и мощным сигналом, переходить к сотням килоом, поскольку напряжение питания при этом заметно «подсаживается». Если же транзисторы комплементарной пары имеют большой начальный ток стока, уменьшить его можно, включив резистор между базами или даже соединив базы вместе и высвободив при этом один из разделительных конденсаторов. Включать какие-либо термостабилизирующие резисторы и диоды, как это обычно делается в подобных УЗЧ, при наших мощностях в единицы милливольт и расположении приемника в жилой комнате, то есть в «тепличных» условиях, особого смысла нет.

Городская квартира на восточной окраине Москвы была оборудована наружной антенной с общей длиной провода ПЭЛ 0,7 около 30 м. Провод проходил вертикально от балкона к краю крыши, где был закреплен на деревянной рейке с роликовым фарфоровым изолятором, затем наклонно вверх, к вершине деревянного шеста, установленного на будке лифта, также с роликовым изолятором, и затем наклонно вниз к другому краю крыши, причем последние несколько метров провода были заменены капроновой леской, привязанной к концу провода уже без всяких изоляторов. Получилось что-то вроде коротковолновой антенны «Inverted V», питаемой с конца. Максимальная высота провода над крышей дома не превышала 7 м. Заземлением служили трубы центрального отопления.

Тем не менее с этой антенной был получен громкоговорящий прием пяти радиостанций и одного нелегального радиолобителя, «вещавшего» на верхнем краю СВ диапазона. Продетектированные напряжения, токи и мощности приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3 Питание энергией поля различных станций

Частота, кГц	198	261	549	873	918
Напряжение, В	4,2	3,5	2,5	3	1,2
Ток, мА	0,3	0,25	0,17	0,2	0,1
Мощность, мВт	1,25	0,9	0,42	0,6	0,12

Надо заметить, что детектор значительно нагружался усилителем, поскольку в последнем были установлены резисторы смещения по 330 кОм, обеспечивающие, по субъективной оценке, лучшее качество звука. Любопытно и поучительно было пронаблюдать уровень высокочастотного напряжения на катушке L1 при отключенном конденсаторе связи C1 (рис. 3.24). Осциллограф со входным сопротивлением выносного пробника-делителя 1:10 порядка 10 МОм практически не шунтировал катушку, и при настройке в резонанс на частоте 198 кГц напряжение на ней достигало 60 В. Неоновая лампочка МН-3, установленная около грозопереключателя, светилась!

При экспериментах с различными детекторами и усилителями было бы удобнее подсоединять усилитель только двумя проводниками, а не тремя, как в предыдущей конструкции. Раздумья на эту тему привели к разработке еще одного приемника с мостовым усилителем, «дважды балансного», как он был в шутку назван по аналогии с часто используемым английским термином «double balanced». В общих чертах он повторяет предыдущий, но имеет несколько интересных отличительных особенностей.

Схема приемника полностью симметрична (рис. 3.25): детектор соединяется со входом усилителя двухпроводной линией, и такой же линией выход соединяется с выходным трансформатором и громкоговорителем (разумеется, линий может и не быть, если все собрано в одной конструкции). В приемнике установлен очень хорошо зарекомендовавший себя, особенно при работе на индуктивную

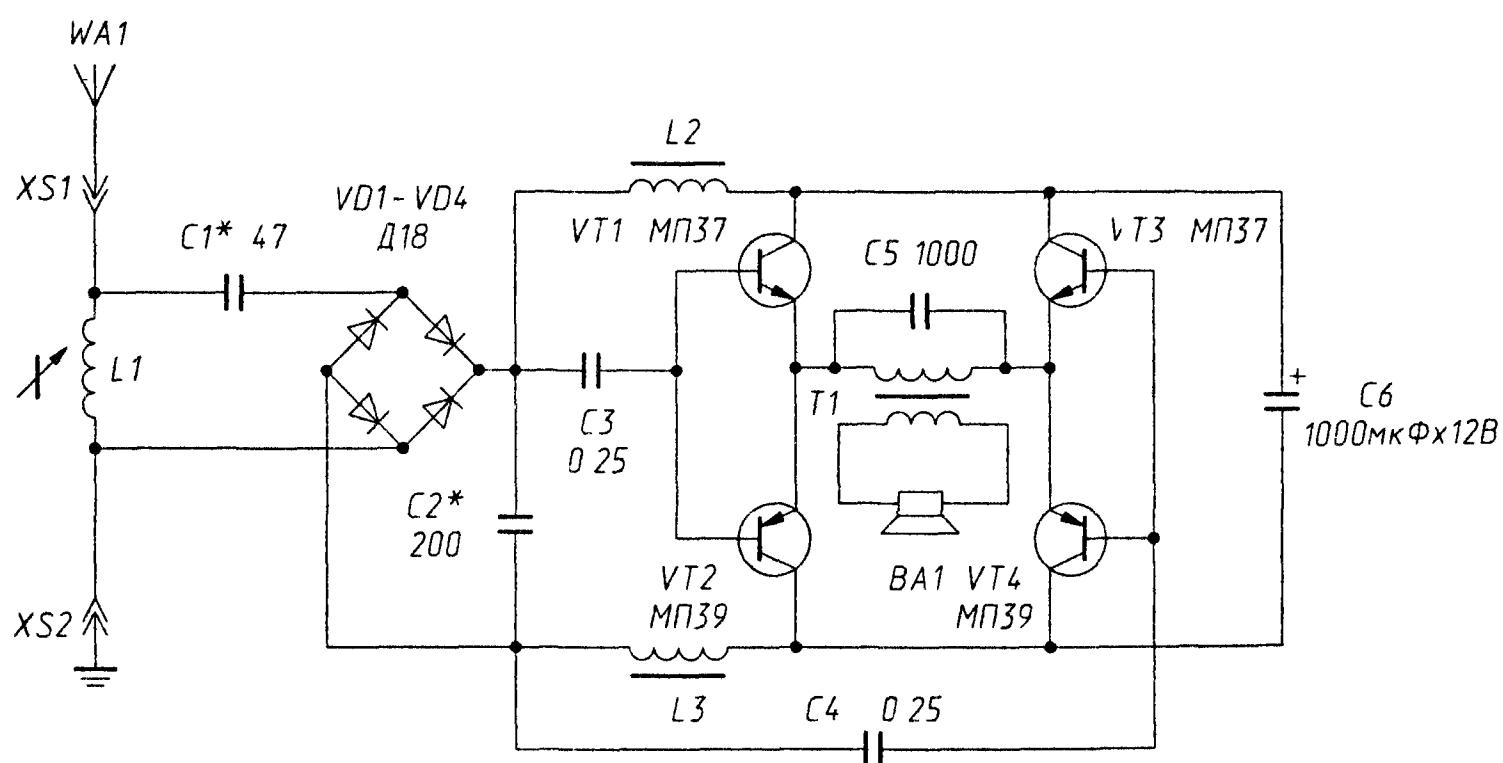


Рис 3.25 Принципиальная схема «симметричного» приемника с мостовыми детектором и усилителем

нагрузку, мостовой детектор на диодах VD1 – VD4. Конденсатор связи с антенным контуром C1 однажды подобран по максимуму напряжения питания на усилителе и заменен постоянным.

Симметричное относительно заземления выходное напряжение детектора разделяется на переменную и постоянную составляющие. Первая через разделительные конденсаторы C3 и C4 подается на базы транзисторов мостового усилителя, а вторая через дроссели L2 и L3 заряжает накопительный конденсатор большой емкости C6 и служит напряжением питания. Общего провода у приемника нет, и балансировка плеч усилителя происходит автоматически, поскольку базы комплементарных транзисторов каждого плеча просто соединены вместе.

Но транзисторы в усилителях, собранных по такой схеме, не имеют начального смещения и работают даже не в классе В, а скорее в классе С и поэтому создают искажения типа «ступенька», как показано на рис. 3.26а. График дает зависимость выходного тока одного плеча усилителя (например, VT1, VT2) от входного напряжения. Видно, как искажается выходной ток при синусоидальном входном напряжении. Эти искажения особенно велики у кремниевых транзисторов, имеющих порог открывания около 0,5 В. У германиевых транзисторов порог значительно ниже, около 0,15 В, поэтому-то они и используются во всех описанных усилителях.

Тем не менее «ступеньку» надо устранять полностью, так как «центральные» искажения, относящиеся к моментам перехода сигнала через нуль, очень заметны и неприятны на слух. Обычно на каждый транзистор комплементарной пары подают небольшое начальное смещение  $U_{см}$ , как показано на рис. 3.26б. Искажения пропадают, но появляется некоторый начальный ток  $i_0$ , несколько ухудшающий экономичность усилителя. Тот же самый эффект можно получить, если на сигнал ЗЧ наложить другой, высокочастотный, как показано на рис. 3.26в. Именно так поступают в магнитофонах при записи с высокочастотным подмагничиванием, ведь кривая намагничивания ленты очень напоминает характеристику комплементарной пары транзисторов без смещения. Регулируя амплитуду «высокочастотного смещения», можно установить и ток покоя.

Нам не надо далеко ходить за ВЧ смещением, у нас уже есть ВЧ пульсации продетектированного напряжения. Просто надо уменьшить емкость сглаживающего конденсатора C2 (рис. 3.25) и подобрать его до получения желаемого тока покоя. Делать это лучше в паузах передачи, поскольку при наличии сигнала ЗЧ ток усилителя возрастает. На выходе усилителя пульсации замыкаются конденсатором C5.

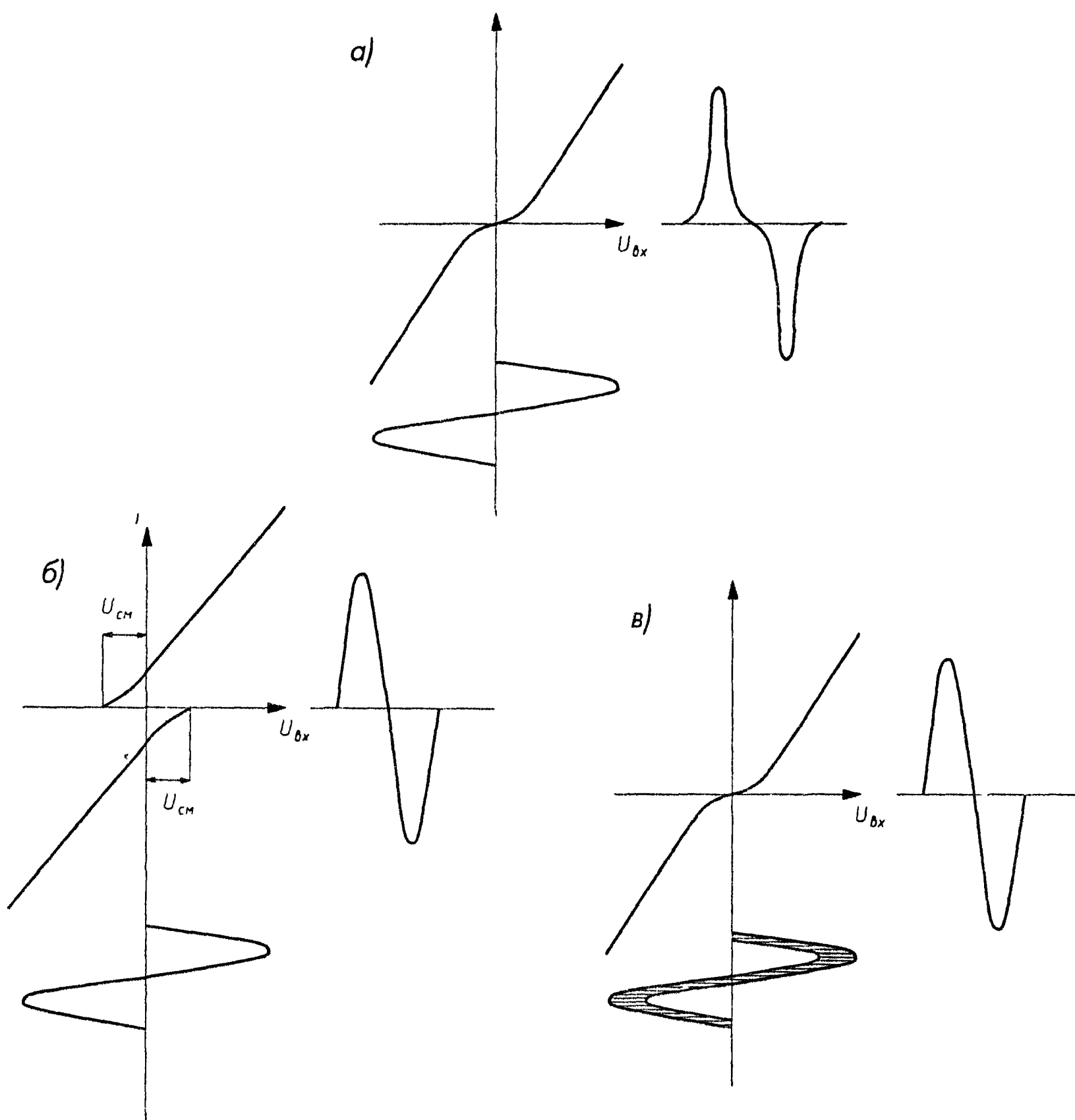


Рис 3.26. Искажения типа «ступенька» и их коррекция

Этот приемник был собран в корпусе АС от проигрывателя «Аккорд» с головкой 4ГД-35, настроен на «Маяк» (198 кГц) и сдан в постоянную эксплуатацию как радиоточка. Катушка L1 намотана на бумажной гильзе проводом ЛЭШО 7×0,07 в один слой, содержит около 200 витков и подстраивается ферритовым стержнем 1000НН диаметром 8 и длиной 160 мм. Трансформатор Т1 – от старого трансляционного громкоговорителя. Он намотан на сердечнике сечением 1,5 см<sup>2</sup>, первичная обмотка содержит 2700 витков ПЭЛ 0,12, вторичная – 90 витков ПЭЛ 0,5. Первичные обмотки аналогичных трансформаторов использованы и как низкочастотные дроссели L2, L3.

Годятся также трансформаторы ТВЗ и ТВК от телевизоров. Транзисторы – любого типа, низкочастотные, германиевые, соответствующей проводимости. Если есть возможность, полезно подобрать их по одинаковому коэффициенту передачи тока  $h_{21э}$ , у автора разброс значений был в пределах 40–60.

Налаживается приемник за несколько минут. Подключив вольтметр параллельно конденсатору С6, настраиваются на частоту радиостанции и подбирают емкость конденсатора связи С1 по максимуму показаний. Имейте в виду, что напряжение питания нарастает довольно медленно (несколько секунд) из-за большой емкости накопительного конденсатора. Подключив параллельно С2 другой конденсатор емкостью несколько тысяч пикофарад и выждав несколько секунд, замечают показания вольтметра. Затем подбирают такую емкость С2, чтобы напряжение упало на 20–30% из-за выросшего тока покоя транзисторов. У автора эти значения были 5,5 и 4 В. Больше в приемнике регулировать нечего.

Недолгая эксплуатация приемника показала необходимость регулятора громкости. Проще всего включить реостат сопротивлением 30–50 Ом последовательно с динамической головкой. Можно расстраивать контур, но это сложнее, и есть опасность «пролезания» соседней станции. Выключателем приемника служил грозопереключатель, замыкающий накоротко катушку L1. Звучание приемника нельзя даже сравнить со звучанием обычных портативных и карманных «дребезжалок» – слушать последние вам больше не захочется.

### **3.4. РАДИОТРАНСЛЯЦИЯ**

Несмотря на огромное число выпускаемых радиоприемников, до сих пор остаются в употреблении трансляционные громкоговорители, содержащие в небольшом корпусе всего три элемента: регулятор громкости, трансформатор и динамическую головку. Работа их возможна лишь при наличии подведенной к данному помещению (дому, квартире) исправной трансляционной сети.

#### **3.4.1. Концепции и организация трансляционной сети**

Сама идея создания проводных трансляционных сетей или, как их еще называют, систем проводного вещания, возникла в нашей стране в далекие 20–30-е гг. и нигде в мире не получила такого широкого развития, как у нас. Поставленная задача сплошной радиофикации страны могла решаться различными путями, но выбран был именно этот, как тогда казалось, самый дешевый. Играли роль и идеологические соображения: наладив массовый выпуск радиоприемников,

невозможно было бы контролировать программы, которые предпочитают слушатели (а вдруг будут слушать за границу!). Для подвешивания проводов трансляционной сети использовали, как правило, столбы имеющихся или строящихся линий электропередачи. Возможно, это и было относительно дешевым решением в те годы, когда радиодетали были дороги (штучное кустарное производство), радиоприемник – редкостью.

Основа сети проводного вещания – радиоузел, располагающийся где-то в середине поселка или района крупного города. Радиоузел оборудован хорошим радиоприемником, микрофоном, проигрывателем и, самое главное, мощным усилителем звуковых частот (УЗЧ), нагруженным на систему линий, веером расходящихся от радиоузла. Мощность УЗЧ достигает сотен ватт, но едва ли не большая ее часть тратится на потери в линиях. Сначала, для уменьшения потерь, передача ведется при довольно высоком напряжении в сотни вольт. Ближе к потребителям установлены необслуживаемые трансформаторы, понижающие напряжение до стандартных значений 15 В для города и 30 В для сельской местности. Предусматриваются также «ограничители» – вставки в линию из параллельно включенных резистора и конденсатора, предотвращающие нарушение работоспособности всей системы при коротком замыкании проводов в одном месте.

Вся эта громоздкая и неуклюжая система передает, как правило, только одну программу центрального радиовещания со вставками на полчаса или час местной программы. В последние десятилетия в крупных населенных пунктах получили развитие сети трехпрограммного проводного вещания. Первая программа передается на звуковых частотах, вторая и третья – на РЧ поднесущих с частотами 78 и 120 кГц, лежащих ниже диапазона ДВ, и со значительно меньшим уровнем сигнала (доли вольта). Используется традиционная АМ. Трехпрограммный громкоговоритель содержит, по сути, приемник прямого усиления с фиксированной настройкой на поднесущие, усилитель ЗЧ и сетевой блок питания. По сложности он практически не уступает обычному радиоприемнику.

В последние годы система проводного вещания испытывает кризис, связанный с дороговизной ее поддержания и обслуживания (скупой платит дважды). Он особенно силен в сельской местности, где велика протяженность воздушных линий. Сейчас установка одного столба с проводами стоит столько же, сколько пять дешевых портативных или карманных приемников с диапазонами СВ и УКВ. Многие деревни и поселки остались вообще без проводного вещания: столбы повалены, провода оборваны и растащены. Снова разруха,

как и в 20-х гг., и, как это ни странно, снова встала проблема радификации села. Впрочем, и в городах скудная абонентская плата не компенсирует затрат на поддержание сети, а тысячи тонн металлических проводов, висящие в воздухе между крышами домов, отнюдь не украшают городской пейзаж. Электрические кабели давно спрятаны под землю, но это почему-то не касается проводной сети вещания, упорно базирующейся на воздушных линиях.

### 3.4.2. Громкоговорящий детекторный приемник – альтернатива радиоточке

В то же время проблема радиоточки в сельской местности, оказывается, имеет достаточно простое решение. Стоимость установки антенны над крышей дома не выше, чем стоимость подвода проводов трансляционной сети только от ближайшего столба до дома. В местах с напряженностью поля самой мощной радиостанции 0,1 В/м и выше даже очень простые антенны с действующей высотой 3–4 м обеспечат громкоговорящий прием. Неоценимую помощь в исследовании этой возможности и создании оптимального варианта «беспроводной» радиоточки могли бы оказать радиолюбители, поскольку помощи официальных чиновников ожидать вряд ли придется. Все необходимые начальные сведения, включая карты полей некоторых радиостанций, приведены выше.

В местах с меньшей напряженностью поля возможно использование детекторных приемников с УЗЧ, имеющих сетевое или батарейное питание. Нагрузкой детекторного приемника (любого из описанных выше) в этом случае служит потенциометр регулятора громкости с сопротивлением от 100 кОм и более, с движка которого и снимается сигнал на УЗЧ. Выгодно использовать высокоомную нагрузку диодного детектора, поскольку при этом выше и коэффициент передачи по напряжению, и линейность детектирования. Желательно выбирать и УЗЧ с высоким входным сопротивлением, вполне подойдет ряд УЗЧ, использованных в приемниках прямого усиления, описанных ниже.

Весьма интересным и полезным было бы создание карт напряженности полей радиостанций, не теоретических, а на основе практических измерений. Правда, это довольно сложная для радиолюбителей задача, требующая прежде всего разработки простых и надежных измерительных приборов, дающих достоверные и воспроизводимые результаты. Создание таких измерителей поля – также достойная радиолюбителей задача. Разумеется, приборы должны быть легкими, портативными, автономными и простыми в обращении.

Один из главных аргументов защитников систем проводного вещания состоит в том, что необходима возможность трансляции местных сообщений о стихийных бедствиях, экологической опасности и т.п. Аргумент веский, но не абсолютный, поскольку сведения о больших катаклизмах передаются и по центральному вещанию, а что касается местных, то скорее надо огораживать территорию и вывешивать предупреждающие таблички. Тем не менее есть интересная возможность решения и этой проблемы.

### 3.4.3. Беспроводные радиоузлы

Суть предложения состоит в следующем: в каждой деревне, поселке и населенном пункте, возможно на базе существующего радиоузла, устанавливается АМ передатчик малой мощности, работающий в верхней части СВ диапазона. Он постоянно транслирует передачу центральной радиостанции, лишь при необходимости переходя на местное вещание. Его несущая должна быть «привязана» с точностью до фазы к несущей этой центральной радиостанции. Тогда сеть таких местных передатчиков становится синхронной и взаимные помехи отсутствуют.

Поясним примером. Пусть передатчик работает на частоте 1584 кГц и транслирует программу центральной радиостанции «Маяк» с частотой 198 кГц. Частота 1584 кГц выбрана не случайно: это восьмая гармоника частоты 198 кГц. Получить ее несложно – надо выделить несущую «Маяка» узкополосным фильтром и подать на линейку из трех каскадно включенных удвоителей частоты. Удвоителем может служить обычный двухполупериодный детектор, создающий на выходе, кроме постоянной составляющей, еще и пульсации с удвоенной частотой. Выделив умноженную несущую частоту, ее следует усилить и промодулировать сигналом ЗЧ, полученным при детектировании сигнала исходной центральной станции. Оконечный транзисторный усилитель мощности поднимет ее до необходимой. Предлагаемый «радиоузел» получается ненамного сложнее и дороже хорошего радиоприемника, явно проще существующих радиоузлов, и вполне может быть необслуживаемым.

Разумеется, можно применить и более сложные методы частотно-го синтеза (с использованием современных микросхем это просто), и получить другие частоты, но и эта неплоха. По данным справочника WRTN [52], на частоте 1584 кГц работают лишь десятикиловаттный передатчик в Анголе, двухкиловаттный в Испании и несколько чешских, немецких и польских передатчиков с мощностью

1 кВт и менее, так что помех от посторонних радиостанций ожидать не приходится.

При мощности нашего местного передатчика всего 100 Вт (мощность обычной электрической лампочки), возникает напряженность поля больше 0,1 В/м в радиусе одного километра, то есть как раз в пределах данного населенного пункта, и обеспечит возможность громкоговорящего детекторного приема. На расстояниях же более 10 км напряженность поля упадет ниже 10 мВ/м и передачу можно будет слушать лишь на чувствительные транзисторные приемники, как обычную программу «Маяк». Заметим, что земная (поверхностная) волна убывает на этих частотах быстрее, чем  $1/D$ , из-за конечной проводимости почвы. Возможность же приема пространственной волны в вечернее и ночное время от столь маломощного передатчика, во-первых, сомнительна, а во-вторых, если и возможна, то опять-таки не создаст помех другим синхронным передатчикам, передающим ту же программу. Для местных же передач, не нарушая синхронизма несущей, целесообразно (как, кстати, это и делается) использовать дневное время.

Выбор частот в верхней части СВ диапазона для местного вещания целесообразен еще и с точки зрения упрощения приемных антенн. Используя шест высотой всего 3–4 м с небольшой верхней емкостной нагрузкой, как показывают расчеты (формулы приводились выше), можно получить в рассматриваемом примере мощность до нескольких милливольт на границе зоны обслуживания ( $D = 1$  км) и значительно больше вблизи «радиоузла». Что же касается передающей антенны беспроводного радиоузла, то, как показывает опыт работы автора с передвижными и мобильными антеннами, ее высота для эффективного излучения должна быть не менее  $0,05\lambda$ . Неужели силами деревни трудно поставить десятиметровую мачту? Еще лучше использовать имеющиеся трубы местных заводов, котельных и т.п.

<b>1</b>	На чем основано радиовещание	9
<b>2</b>	Детекторные радиоприемники	55
<b>3</b>	Громкоговорящие детекторные приемники	97

## **4 ПРИЕМНИКИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ**

Антенны транзисторных приемников	138
Экономичные приемники	150
Усовершенствованные приемники прямого усиления	166

<b>5</b>	Регенераторы, автодины и синхродины	199
----------	--	-----

В этой главе мы переходим к транзисторным приемникам, питающимся от батарей или сетевых блоков питания. Будут описаны как законченные конструкции, так и элементы схем. Их можно повторять, а можно использовать как радиоконструктор, взяв, скажем, антенну от одного приемника, УРЧ от другого, детектор или УЗЧ от третьего – все эти элементы при разумном подходе сочетаются в любых комбинациях.

Описываемым приемникам уже не нужны большие антенны, поскольку недостаток входного сигнала компенсируется усилением транзисторов, которое бывает очень большим. Но такое усиление порождает риск самовозбуждения, усложнения схемы и конструкции. Поэтому и здесь от антенны желательно получить все, на что она способна. С антенны и начнем.

## **4.1. АНТЕННЫ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ**

В разделе 2.2 мы уже рассказывали о структуре поля приходящей волны и делении всех антенн на два больших класса – электрические и магнитные. Начнем с электрических антенн и в какой-то мере продолжим тот анализ, который мы провели в главе о детекторных приемниках, но уже с другой целью.

### **4.1.1. Мистика коротких антенн**

Когда хотят похвалить приемник или отметить высокий уровень поля радиостанции, говорят «принимается даже на кусок провода». В этом разделе автор доказывает и теоретически, и экспериментально, что пресловутый «кусок провода» далеко не самая плохая антенна и при надлежащем согласовании со входом приемника может обеспечить весьма большое напряжение сигнала.

Для радиовещательного приема на длинных и средних волнах раньше применялись повсеместно, да и теперь, несмотря на широкое распространение ферритовых магнитных антенн, все еще часто используются электрические антенны в виде отрезка обычного провода, расположенного по возможности вертикально. Очень часто применяют телескопические штыревые антенны длиной 0,5–1,5 м, выпускаемые промышленностью. Штыревые антенны могут работать в любых диапазонах волн, от ДВ до УКВ.

Такой антенне нужны заземление или противовес. В самом простейшем случае противовесом служит корпус приемника, а если последний

имеет сетевое питание, – провода сетевого шнура и самой электрической сети. Маленькой антенне нужен и небольшой противовес. На него должны замыкаться силовые линии электрического поля антенны. Небольшой проволочный противовес по сравнению с заземлением имеет и незначительные потери. Горизонтальные проволочные антенны применяются редко, поскольку все радиостанции диапазонов ДВ и СВ излучают волны исключительно с вертикальной поляризацией, что, как мы уже говорили, связано со свойствами поверхности Земли, близкими к свойствам проводника в этих диапазонах.

Радиолюбителям, особенно тем, кто экспериментировал с простейшими и недостаточно чувствительными приемниками прямого усиления, известно, что короткие проволочные антенны весьма эффективны, в частности, отрезок провода длиной 1–2 м развивает зачастую значительно больший сигнал, чем ферритовая антенна. В чем же секрет, ведь длина проволочной антенны неизмеримо меньше длины волны и по всем канонам она не должна быть эффективной? Попытки проанализировать работу короткой вертикальной радиоприемной антенны, а также оптимизировать ее, привели к очень любопытным, и даже, можно сказать, удивительным результатам, которыми автор и спешит поделиться с читателями.

Оптимизация, в смысле получения максимального напряжения на входе приемника – именно напряжения, а не мощности! – свелась к исключению конденсатора входного контура и замене его емкостью самой антенны (рис. 4.1). При этом входное сопротивление УРЧ предполагалось бесконечно большим, что при использовании полевого транзистора на ДВ и СВ близко к истине. Входная емкость УРЧ и емкость катушки суммируются с емкостью антенны. При анализе их учитывать не будем. На рис. 4.1 показано также распределение тока в антенне, представляющее собой начальный участок синусоиды, и с большой точностью его можно считать треугольным. Заменяв его прямоугольником той же площади, получаем действующую высоту антенны  $h_d$ , равную половине ее геометрической высоты,  $h_d = h / 2$ .

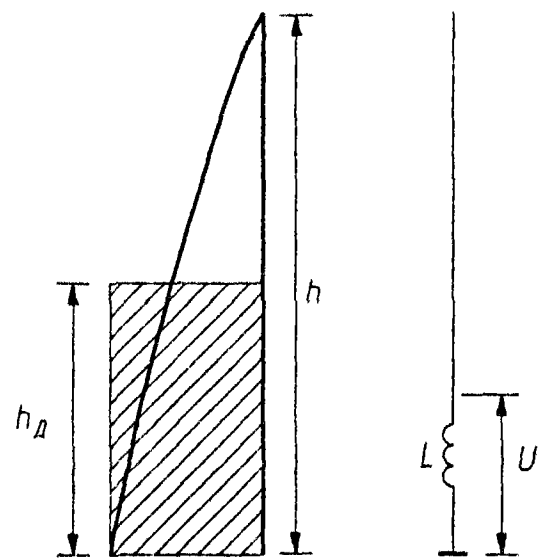


Рис 4.1 Настроенная вертикальная антенна

Индуктивность катушки подбирается так, чтобы совместно с емкостью антенны получить резонанс на принимаемой частоте. Эквивалентная схема получившейся цепи

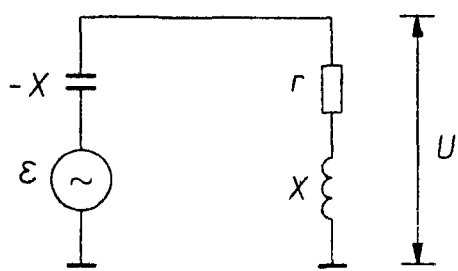


Рис 4.2 Эквивалентная схема антенной цепи

показана на рис. 4.2. При резонансе емкостное сопротивление антенны  $-X$  равно индуктивному  $X$  и они компенсируют друг друга, поэтому ток в цепи максимален и равен  $\varepsilon / r$ , где  $\varepsilon$  – ЭДС сигнала, развиваемая в антенне,  $\varepsilon = E \cdot h_d$ , где  $E$  – напряженность поля, а  $r$  – активное сопротивление цепи. Поскольку напряжение на вход УРЧ снимается с катушки,

оно равно току в цепи, помноженному на индуктивное сопротивление катушки.  $U = Eh_d X / r$ .

У нас получилась простая и удобная формула для расчета напряжения, развиваемого описанной антенной. Величина  $X$  определяется длиной антенны, от которой зависит ее емкость  $C$  (7–15 пФ на метр длины, в зависимости от толщины провода), и принимаемой частотой:  $X = 1 / 2\pi f C$ . Соответствующую индуктивность также легко найти:  $L = X / 2\pi f$ . Напряженность  $E$  должна быть известна, а  $h$  измеряется линейкой. Но формулу можно и еще более упростить, заметив, что отношение  $X / r$  есть не что иное, как добротность  $Q$  антенной цепи:  $U = Eh_d Q$ . При короткой антенне с противовесом добротность всей цепи практически равна добротности катушки.

В качестве примера сосчитаем сигнал от достаточно удаленной ДВ или СВ радиостанции с напряженностью поля 10 мВ/м, принимаемой на отрезок провода длиной 2 м ( $h_d = 1$  м). Добротность антенного контура положим равной 100. Перемножьте величины сами – и то, что получите, вас удивит:  $U = 1$  В! Этого напряжения вполне достаточно для детектирования сигнала даже без УРЧ, но надо сделать некоторые оговорки. Во-первых, катушка должна иметь довольно большую индуктивность. В нашем примере даже в середине СВ диапазона, на частоте 1 МГц, реактивное сопротивление  $X$  составляет около 10 кОм, индуктивность – около 1,5 мГн, а резонансное сопротивление антенного контура, равное  $XQ$ , близко к 1 МОм. Входное сопротивление УРЧ или детектора должно быть еще больше. Такова плата за высокое напряжение, развиваемое антенной.

Возникает вопрос, а нельзя ли катушку большой индуктивности в схеме рис. 4.1 заменить, как это обычно и делается, обычным колебательным контуром? Конечно, можно, но развиваемое на контуре напряжение сигнала будет меньше. Избавляя читателя от довольно трудоемкого математического анализа, сообщим только, что напряжение сигнала уменьшается примерно пропорционально отношению емкости антенны к полной емкости контура. Объясняется это тем, что дополнительные реактивные токи, протекая через сопротивление катушки  $r$ , вызывают и дополнительные потери. Ясно, что собственная емкость катушки и входная емкость УРЧ также играют вредную роль, уменьшая развиваемое напряжение. В приведенном примере, применив стандартную средневолновую катушку индуктивностью 200 мкГн с подключенным параллельно ей конденсатором емкостью около 130 пФ для настройки на частоту 1 МГц, мы получим на контуре напряжение сигнала около 0,15 В, что, в общем-то, тоже не так уж мало.

Далее ради интереса предположим, что катушка идеальна и не имеет потерь. Теперь эквивалентная схема будет выглядеть, как на рис. 4.3. Кстати, в этом случае можно безболезненно уменьшить индуктивность катушки и подсоединить параллельно контурный конденсатор. Получившийся контур придется настроить на несколько более высокую частоту, чем нужная, на которой он будет обладать тем большим индуктивным сопротивлением, чем меньше расстройка. Подбирая расстройку, получаем индуктивное сопротивление контура  $X$ , в точности равное емкостному сопротивлению антенны  $-X$ , и снова приходим к эквивалентной схеме рис. 4.3. Практически настройка производится, как обычно, по максимуму напряжения сигнала на контуре и соответствует точному резонансу контура на нужной частоте, с учетом емкости антенны.

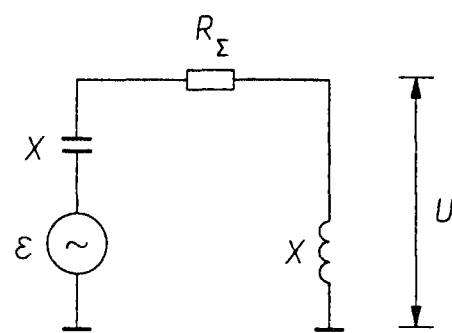


Рис. 4.3 Эквивалентная схема антенной цепи без потерь

Что же представляет собой теперь активное сопротивление антенной цепи? Раньше оно складывалось из сопротивления потерь катушки и сопротивления излучения антенны, причем последнее было значительно меньше и мы им пренебрегли. Теперь сопротивление потерь катушки равно нулю, конденсатор, если он есть, также

практически не вносит потерь, и остается только сопротивление излучения. Как известно из теории, для коротких антенн  $R_{\Sigma} = 1600 (h_d / \lambda)^2$ . Подставив это выражение в полученную нами формулу для напряжения, развиваемого на катушке, получаем  $U = EX\lambda^2 / 1600h_d$ , то есть при укорочении антенны напряжение даже возрастает!

Предвижу возражения, что этот фантастический результат получен для нереальных условий, когда потери в катушки отсутствуют, а ее добротность стремится к бесконечности. Разумеется, мы не собираемся окунать катушку в жидкий гелий, чтобы получить сверхпроводимость и отсутствие потерь – это можно сделать, но слишком дорого и хлопотно. Давным-давно известен и широко используется другой способ – компенсация потерь в катушке с помощью положительной обратной связи, или регенерация. При подходе к порогу самовозбуждения в регенераторе эквивалентная добротность контура намного возрастает, а с ней увеличиваются и напряжение сигнала и чувствительность. Получается, что легенды о необыкновенных приемных качествах Q-умножителей, использующих регенерацию во входном контуре, возникли совсем не на пустом месте! Здесь же лежит и объяснение того, что если цепь с высокой добротностью не должна принимать радиоволны, то экранировать ее надо очень и очень тщательно.

На длинных и средних волнах регенерацию во входном контуре используют нечасто, в основном потому, что при большой добротности сужается полоса пропускания  $2\Delta f$  и ослабляются высшие частоты звукового спектра АМ сигналов, ведь  $2\Delta f = f_0/Q$ . Но на коротких волнах и требуемые полосы поуже и частоты повыше, поэтому там большую добротность входного контура можно только приветствовать. Измерения автора показывают, что получить довольно стабильную добротность 10 000 в хорошо спроектированном Q-умножителе вполне реально. Посчитаем, какое напряжение разовьет довольно слабый сигнал с  $E = 10$  мкВ/м в нашей антенне длиной 2 м, присоединенной к такому контуру:  $U = Eh_d Q = 0,1$  В! Комментарии, как говорят, излишни. Q-умножители заслуживают отдельного раздела, пока же вернемся к реальным антеннам ДВ и СВ.

Для подтверждения всего здесь сказанного автор собрал устройство, показанное на рис. 4.4. Это «истоковый» детектор на полевом транзисторе (когда-то такие детекторы делались на лампах и назывались катодными). Сопротивление в цепи истока выбрано довольно большим, транзистор работает вблизи отсечки, на нижнем сгибе характеристики и поэтому хорошо детектирует АМ сигнал. Потребляемый

от источника питания ток не превосходит 0,2 мА.

Большое запирающее смещение на затворе (относительно истока) гарантирует высокое входное сопротивление, а стопроцентная отрицательная обратная связь (ООС) по звуковым частотам обеспечивает малые искажения. Конденсатор С2 и цепочка R3C4 отфильтровывают звуковой сигнал от оставшихся радиочастотных компонентов, а потенциометр R4 служит регулятором громкости. С него звуковой сигнал подавался на «универсальный УЗЧ», описанный ниже. Разумеется, годится и любой другой УЗЧ. Цепочка R1C3 «развязывает» цепь питания. Если источник питания недостаточно мощный и имеет значительное внутреннее сопротивление, то колебания напряжения питания, вызванные работой УЗЧ, будут проникать через канал транзистора VT1 на регулятор громкости и снова на вход УЗЧ, искажая его работу или даже приводя к самовозбуждению. Цепочка устраняет этот паразитный путь сигнала.

Конденсатор входного контура заменяли емкостью антенны, катушки и входная емкость транзистора. Антенной служил полтора-метровый отрезок провода, протянутый от рабочего стола на окно, а заземлением – труба центрального отопления под окном. Катушка была взята готовая, от магнитной антенны ДВ. Она содержала около 250 витков провода ПЭЛ 0,2, намотанных в один слой виток к витку на каркасе диаметром 12 мм. Для настройки послужил стержень той же антенны,двигаемый в катушку. Ввиду малой емкости контур настроился на частоты средневолнового диапазона. Четыре московских радиостанции развивали сигнал от 0,5 до 1,5 В на затворе транзистора, так что теория полностью подтвердилась: регулятор громкости приходилось выкручивать на минимум!

Измерить высокочастотное напряжение на затворе было совсем не просто: осциллограф к затвору подключить нельзя из-за шунтирования сигнала. Щуп осциллографа подключался к истоку вместо конденсатора С2. Детектирование при этом становилось хуже, зато транзистор передавал ВЧ сигнал в режиме истокового повторителя. Другой способ состоит в использовании выносного щупа-делителя

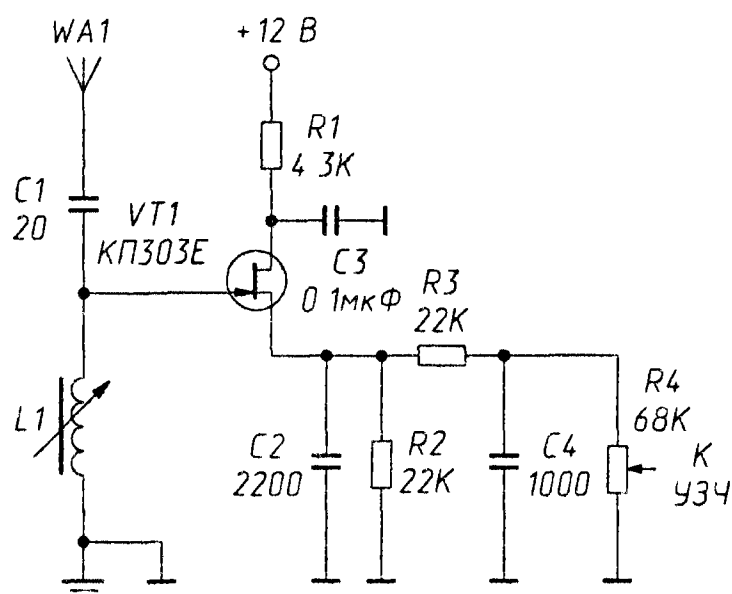


Рис 4.4 Истоковый детектор на полевом транзисторе

осциллографа со входным сопротивлением более 10 МОм и входной емкостью менее 10 пФ. Такой щуп можно подключать непосредственно к затвору транзистора.

Уменьшая емкость  $C_2$ , можно наблюдать регенерацию и даже самовозбуждение. Обратная связь при этом получается по схеме емкостной трехточки, образованной емкостью затвор-исток и конденсатором  $C_2$ . При достаточной регенерации можно было в вечернее время слушать и дальние станции. Любопытно, что когда при экспериментах провод антенны оторвался от контура, московские станции продолжали приниматься, хоть и со значительно меньшей громкостью, на ферритовый стержень. Вы когда-нибудь слышали, чтобы магнитная антенна могла работать непосредственно на детектор, без УРЧ? Но о причинах этого – в следующем разделе.

#### 4.1.2. Магнитные антенны

Почти во всех современных приемниках на ДСВ используют магнитные антенны. Достоинства их очевидны: малые габариты, незначительное влияние «рук» и окружающих предметов, лучшая работа внутри зданий, удобство монтажа в корпусе приемника. Магнитная антенна выполняется в виде замкнутого витка, рамки или катушки. ЭДС в ней наводится по закону электромагнитной индукции М. Фарадея:  $\varepsilon = -Nd\Phi/dt$ , где  $N$  – число витков,  $\Phi$  – магнитный поток, пронизывающий витки и равный, в свою очередь,  $\Phi = \mu\mu_0 NS$ , где  $N$  – напряженность магнитного поля проходящей волны,  $S$  – площадь поперечного сечения витка, рамки или катушки,  $\mu$  – действующая (эффективная) магнитная проницаемость сердечника,  $\mu_0$  – магнитная константа,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

Так же, как электрическая, магнитная антенна характеризуется действующей высотой. Учитывая связь  $E$  и  $H$  (см. главу 1), можно вывести:  $h_d = 2\mu SN/\lambda$ . Теперь ЭДС, развиваемую антенной, определяем по прежней формуле:  $\varepsilon = E \cdot h_d$ . Все величины в приводимых формулах в единицах системы СИ (м, В, Гн и т.д.).

Для ферритовых антенн  $\mu$  определяется размерами и магнитной проницаемостью сердечника. Ориентировочные ее значения для широко распространенных ферритовых стержней лежат в пределах от 160 (феррит 1000НН) до 130 (феррит 400НН). Число витков катушки ферритовой антенны определяется требуемой индуктивностью (типичное значение которой для СВ диапазона 200–230 мкГн, для ДВ диапазона 1–1,3 мГн) и составляет, соответственно, 45–55 и 170–230.

Расчет показывает, что действующая высота ферритовой магнитной антенны составляет 0,4–1,2 см и растет с увеличением частоты. Это означает, что ЭДС, наводимая в магнитной антенне, измеряется микровольтами. Для увеличения напряжения, поступающего на вход приемника, магнитную антенну настраивают в резонанс, подключая параллельно катушке антенны КПЕ. Определить это напряжение поможет эквивалентная схема контура магнитной антенны со включенным в него источником ЭДС (рис. 4.5).

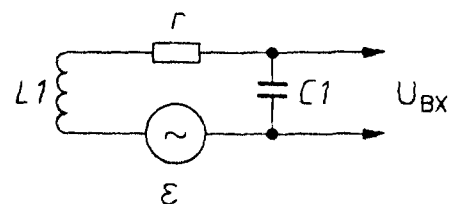


Рис 4.5 Эквивалентная схема контура магнитной антенны

Если высокоомный вход приемника присоединен параллельно конденсатору контура  $C1$ , то сигнал, поступающий на вход приемника,  $U_{вх} = \varepsilon \cdot Q = E h_d Q$ , где  $Q$  – добротность контура, практически целиком определяемая добротностью катушки магнитной антенны. Если же используется традиционная катушка связи или автотрансформаторное подключение низкоомного входа усилителя РЧ, выполненного на биполярном транзисторе, то, во-первых,  $U_{вх}$  понижается в  $n$  раз (где  $n$  – коэффициент трансформации, равный отношению числа витков катушки связи к числу витков катушки контура), во-вторых, из-за шунтирования контура трансформированным входным сопротивлением уменьшается добротность, причем увеличение числа витков катушки связи увеличивает и шунтирование.

Существует оптимальное соотношение числа витков катушек  $n$ , при котором напряжение сигнала на входе УРЧ максимально, но добротность контура уменьшается вдвое. Оно соответствует условиям согласования входного сопротивления УРЧ с резонансным сопротивлением контура и отдаче из контура в УРЧ максимальной мощности. Если по каким-либо причинам уменьшать добротность нежелательно (например, чтобы не ухудшить селективность одноконтурного приемника), приходится ослаблять связь УРЧ с контуром магнитной антенны, уменьшая число витков катушки связи. Магнитная антенна в этом случае работает менее эффективно.

Отсюда следует, что на входе приемника целесообразно установить каскад с входным сопротивлением, раз в десять превосходящим резонансное сопротивление контура, равное, в свою очередь,  $2\pi f_0 LQ$ , и подключить его к контуру полностью, безо всяких катушек связи. Лучше всего этим условиям удовлетворяет истоковый повторитель, собранный на полевом транзисторе (см. рис. 4.4). Теперь легко объяснить описанный в конце предыдущего раздела

эксперимент с оторвавшейся антенной. Число витков магнитной антенны было раза в 4 больше обычного (поскольку контурная емкость была очень мала) и действующая высота составила сантиметров пять. При напряженности поля московских станций порядка  $0,1 \text{ В/м}$  и добротности контура  $200\text{--}250$  входное напряжение составит  $U_{\text{вх}} = E h_{\text{д}} Q = 1,2 \text{ В}$ .

На входе УРЧ можно также использовать и обычный усилительный каскад на полевом транзисторе, желательно с небольшим усилением, чтобы ООС через емкость сток–затвор незначительно понижала входное сопротивление. Применение же биполярных транзисторов в УРЧ и катушек связи оправдано лишь в самых простых и дешевых конструкциях.

При экспериментах с магнитными антеннами плоскость витков катушки должна быть вертикальной, а ось ферритового стержня – горизонтальной, поскольку вектор напряженности магнитного поля  $H$  проходящих волн на ДСВ горизонтален. Но надо учитывать и направленность магнитной антенны. Приема не будет, если вектор  $H$  окажется в плоскости витков, и ЭДС будет максимальна, когда плоскость витков перпендикулярна вектору  $H$ . Это свойство магнитных антенн широко используется для радиопеленгации.

Сориентируйте приемник с ферритовой антенной так, чтобы прием отсутствовал, – и ось ферритового стержня укажет направление на радиостанцию! Диаграмма направленности магнитной антенны описывается простой функцией  $\cos \varphi$ , она имеет два пологих максимума и два острых минимума, поэтому пеленгация по минимуму точнее. Правда, нельзя узнать, с какой стороны от приемника находится станция. Для устранения неоднозначности используют комбинации рамочной (ферритовой) и штыревой антенн, двух взаимно перпендикулярных магнитных антенн и т.д. Еще лучше произвести пеленгацию из двух разных мест; тогда пересечение пеленгов, продолженных на карте, укажет место станции.

### 4.1.3. Рамочная средневолновая антенна

Неплохой заменой ферритовой магнитной антенны может оказаться рамочная. Она легче и дешевле, а в некоторых случаях у нее более удобная конструкция. Ее электрические параметры оказываются даже лучше, чем у ферритовой, к тому же она совершенно не подвержена перекрестной модуляции в сильных посторонних магнитных полях, следовательно, помехоустойчивость ее также выше, чем у ферритовой. По этим причинам и было решено поделиться

практическим опытом изготовления рамочной антенны СВ диапазона [25].

Потребовав, чтобы действующая высота рамочной антенны была не меньше, чем у ферритовой, и учитывая, что сердечника нет и  $\mu = 1$ , можно оценить ее необходимые размеры. При этом число витков определяем по формуле для расчета индуктивности круглой рамки диаметром  $D$ :  $L = kN^2D$ , где  $k$  – коэффициент, зависящий от плотности намотки, его значение лежит в пределах  $(1-3)10^{-6}$ . Для «корзиночной» обмотки, описанной ниже,  $k = 1,6 \cdot 10^{-6}$ .

Расчеты показали, а эксперимент подтвердил, что в СВ диапазоне при диаметре рамки  $D = 12$  см и числе витков  $N = 37$  рамочная антенна не уступает даже хорошей ферритовой, намотанной на стержне из феррита 400НН длиной 200 и диаметром 10 мм. Рамки большего диаметра по своим параметрам превосходят ферритовые антенны. Здесь уместно вспомнить, что на выделенных приемных радиостанциях в начале 20-х гг. применялись рамки на деревянном каркасе в виде квадрата, поставленного на угол, причем сторона квадрата доходила до 20 м!

Но вернемся к нашей миниатюрной рамке. Чтобы не шунтировать контур, образованный рамкой и КПЕ, первый каскад УРЧ был собран по схеме истокового повторителя на полевом транзисторе VT1 (рис. 4.6). Нагрузкой каскада служит резистор R3, элементы R2C2 развязывают цепь питания. Резистор R1 предотвращает самовозбуждение каскада на верхнем краю диапазона из-за паразитных емкостей полевого транзистора затвор–исток и исток–земля, образующих «емкостную трехточку», создавая тем самым положительную обратную связь. Уменьшая сопротивление этого резистора, можно достичь благоприятного эффекта – увеличения добротности антенного контура на высокочастотном краю диапазона.

Какая же нам необходима добротность? В простых одноконтурных приемниках прямого усиления, работающих в диапазоне СВ, желательно, чтобы она составляла 120–300, возрастая с повышением частоты. Тогда полоса пропускания контура, равная  $f_0/Q$ , сохраняется равной примерно 4–5 кГц во всем диапазоне, обеспечивая разумный компромисс между воспроизведением верхних частот звукового

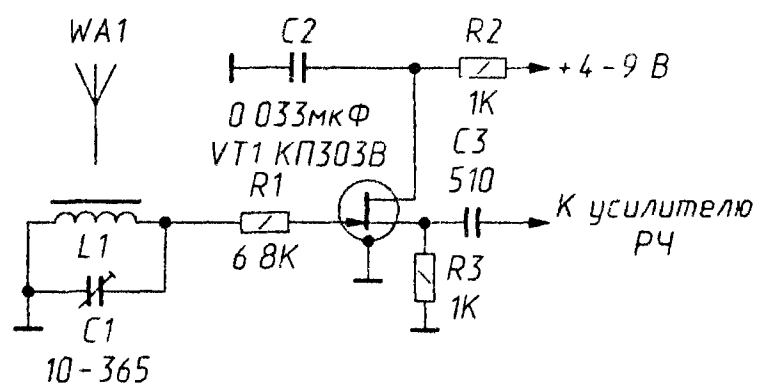


Рис. 4.6 Входной каскад УРЧ с рамочной антенной

спектра и селективностью приемника. В супергетеродинах, где селективность определяется трактом ПЧ и имеется большой запас усиления, добротность контура магнитной антенны бывает существенно ниже.

Добротность ферритовой магнитной антенны даже при намотке одножильным проводом может достигать 150–250, плавно уменьшаясь к высокочастотному краю диапазона из-за увеличения потерь в феррите и проводе. Намотка ферритовой антенны литцендратом позволяет довести добротность до 350–380, но на низкочастотном краю диапазона, где это не очень нужно. Добротность же на высокочастотном краю при этом составит 250–270.

Добротность рамочной антенны зависит от многих факторов и почти не поддается расчету. Для решения вопроса был проведен ряд экспериментов по определению добротности. Первая рамка была на-

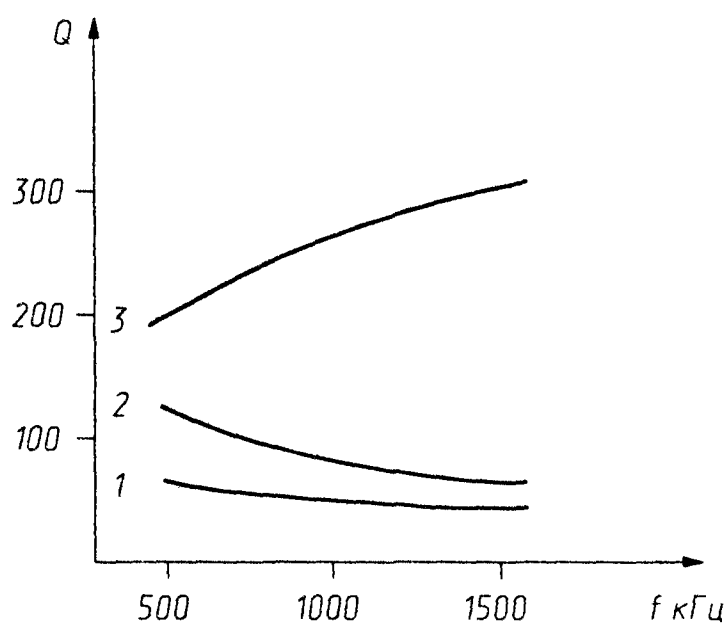


Рис. 4.7. Зависимость добротности различных рамочных антенн от частоты

мотана на пенопластовом кольце диаметром 14 и шириной 1,5 см. 24 витка провода ПЭЛ 0,23 располагались плотно, внавал. Для настройки контура использовалась секция стандартного сдвоенного блока КПЕ с воздушным диэлектриком от радиоприемников, емкостью 10–365 пФ. Добротность получилась низкой (кривая 1 на рис. 4.7), да к тому же уменьшалась к высокочастотному краю диапазона. Увеличение диаметра провода до 0,5 мм положения не исправило.

Низкая добротность объясняется увеличением сопротивления провода на высокой частоте из-за вытеснения тока к поверхности металла (скин-эффект). На верхних частотах СВ диапазона толщина скин-слоя в меди составляет всего лишь 0,08 мм. Только для более тонких проводов их сопротивление на высокой частоте можно считать равным сопротивлению на постоянном токе. Отсюда ясен смысл применения литцендрата – многожильного провода, свитого из нескольких (от 4 до 81) тонких изолированных проводников. При намотке той же рамки литцендратом ЛЭШО 21×0,07 добротность контура возросла вдвое, но неблагоприятная частотная зависимость сохранилась (кривая 2).

Следующий фактор, влияющий на добротность, – это эффект близости витков друг к другу, вызывающий потери на вихревые токи

в соседних витках. Кроме того, при плотном расположении витков создаваемое ими магнитное поле как бы вытесняет ток из обмотки, приводя к увеличению ее сопротивления, особенно на высоких частотах. Явление аналогично скин-эффекту в сплошных проводниках. При плотной намотке возрастает и собственная междувитковая емкость катушки, также увеличивающая потери из-за протекания дополнительного реактивного тока в проводе.

Эксперимент подтвердил большое значение эффекта близости витков. Та же рамка, намотанная внавал самодельным литцендратом из шести проводников ПЭЛ 0,09, причем проводники не были скручены, оказалась вообще неработоспособной. Ее добротность была низкой, а собственная емкость велика настолько, что со стандартным КПЕ даже не перекрывался весь СВ диапазон. Произошло это, видимо, потому, что отдельные проводники разных витков тесно перемешались друг с другом.

Уменьшение «эффекта близости» достигается в однослойной цилиндрической обмотке, лучше с шагом в 1–2 диаметра провода. Многослойные высокочастотные катушки нельзя наматывать так, как наматывают низкочастотные, например сетевые трансформаторы. Хороша намотка «универсаль», еще лучше сотовая. Предпочтительнее провод с толстой изоляцией, ПЭЛШО, ПШД и т.д. Для рамочных антенн цилиндрическая форма намотки неудобна, предпочтительнее радиальная. Очень удобна «корзиночная» обмотка, автоматически обеспечивающая шаг между витками, равный диаметру провода. В этом случае катушку наматывают на плоском каркасе из диэлектрика с нечетным числом радиальных прорезей, в которые и укладывают провод, проходящий попеременно с одной или с другой стороны каркаса.

Был изготовлен каркас с 11 прорезями из листа органического стекла толщиной 4 мм (рис. 4.8). Края прорезей следует скруглить острым ножом или надфилем, чтобы не повредить провод при намотке. Центральную часть каркаса целесообразно вырезать и удалить (вообще, чем меньше диэлектрика в каркасе, тем лучше). Обмотка содержала

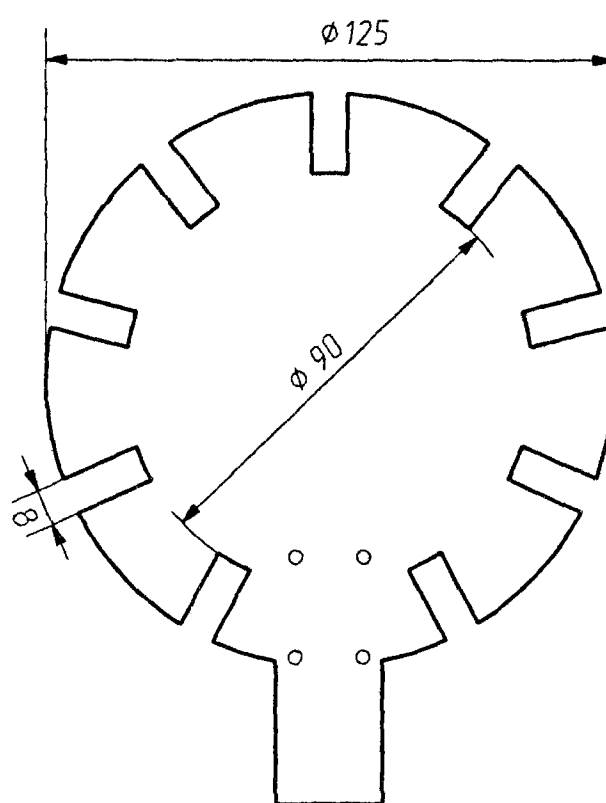


Рис. 4.8. Каркас для рамочной антенны с корзиночной обмоткой

37 витков провода ЛЭШО 21×0,07, выводы были закреплены в специально просверленных отверстиях каркаса. Можно припаять выводы к специально прикрепленным к каркасу лепесткам. Нижний выступ каркаса предназначен для крепления всей антенны. Добротность рамочной магнитной антенны с корзиночной обмоткой значительно возросла и, кроме того, стала увеличиваться с частотой, достигнув значения 280 на частоте 1600 кГц (кривая 3 на рис. 4.7). Это обеспечило полосу пропускания контура антенны не шире 6 кГц во всем СВ диапазоне. Напряжение, наводимое полем центральных радиостанций на выводах контура магнитной антенны, составило от 15 до 300 мВ в условиях Москвы, на девятом этаже панельного дома.

Несколько слов о конструктивном оформлении приемника с рамочной антенной. Безусловно, нежелательно наматывать рамку на самом корпусе приемника, поскольку все детали оказываются в ее поле. Не говоря уж о вероятных наводках и паразитных связях, при этом трудно получить и высокую добротность из-за обилия «металла» внутри рамки. Если габариты позволяют, можно разместить рамку на задней

стенке корпуса, придав ей овальную или даже прямоугольную форму.

Но лучше всего расположить магнитную антенну в «свободном пространстве», на расстоянии не менее одного ее диаметра от окружающих предметов. «Корзиночная» обмотка на каркасе из оргстекла или цветной пластмассы красива и послужит оригинальным элементом дизайна приемника. Рамку целесообразно расположить над приемником в вертикальной плоскости и сделать поворотной, достаточно в пределах 90°, чтобы ориентировать ее по максимуму приема.

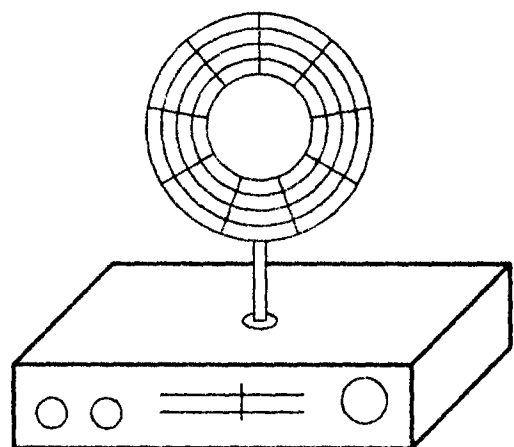


Рис 4.9 Вариант конструктивного оформления приемника с рамочной антенной

Эскиз возможного варианта конструктивного оформления приемника с рамочной антенной показан на рис. 4.9. Если рамку предполагается поворачивать вокруг вертикальной оси просто рукой, то с общим проводом лучше соединить внешний виток рамки.

## 4.2. ЭКОНОМИЧНЫЕ ПРИЕМНИКИ

Для батарейных приемников очень важна экономичность, которой, увы, не отличаются фабричные приемники. Прежде всего установим терминологию. Приемник, потребляющий в режиме покоя (при

молчании) 10–20 мА от 9-вольтовой «Кроны» к экономичным отнести никак нельзя. Приемник же, потребляющий 2–3 мА при трехвольтовом питании, явно экономичен. Ясно, что важна мощность, потребляемая от батареи питания, которая в первом случае составляет 0,1–0,2 Вт, а во втором – менее 10 мВт.

Для гальванических элементов и батарей всегда указывается ЭДС в вольтах и несколько реже емкость в ампер-часах. Произведение этих двух параметров дает запас энергии в ватт-часах. Продолжительность работы батареи определяется делением либо емкости на потребляемый ток, либо запаса энергии на потребляемую мощность. Последний способ лучше, поскольку позволяет сравнивать батареи с разными ЭДС и приемники с разным напряжением питания. В приведенном примере во втором случае источник питания прослужит в 10–20 раз дольше.

Номинальную емкость батарея отдает лишь при глубоком разряде, когда напряжение падает примерно вдвое. Для марганцево-цинкового элемента, например, конечным напряжением считается 0,7 В при начальной ЭДС 1,5 В. Поэтому очень важно, чтобы экономичный приемник мог работать при двукратном изменении напряжения питания.

Именно такие приемники и предлагаются вниманию радиолюбителей. Все они работают на телефоны и служат прекрасной заменой плеера.

#### 4.2.1. Экономичный приемник прямого усиления

Он очень прост, практически не требует налаживания и совершенно не критичен к напряжению питания. Громкоговорителя в приемнике нет: он работает на миниатюрный телефонный капсюль или телефоны. Приемник выполнен по схеме прямого усиления с одним настраиваемым контуром (рис. 4.10). Катушкой индуктивности контура L1 является магнитная ферритовая или рамочная антенна WA1. На частоту принимаемой радиостанции контур настраивается конденсатором переменной емкости (КПЕ) C1.

Радиочастотный (РЧ) сигнал с антенного контура L1 – C1 через катушку связи L2 поступает на трехкаскадный усилитель РЧ (УРЧ),

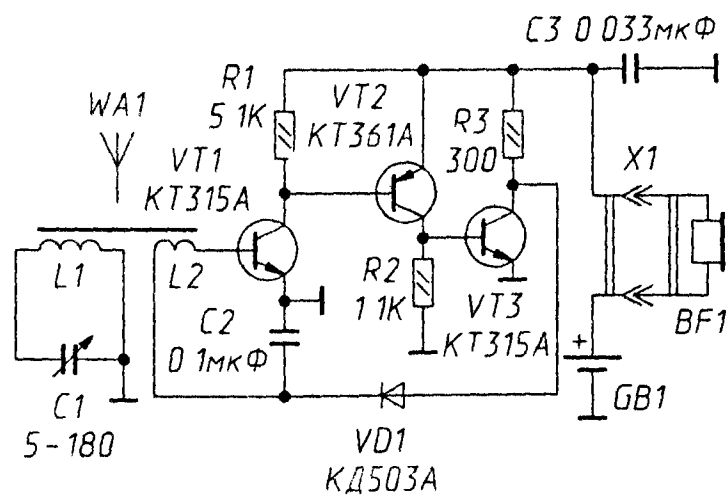


Рис 4 10 Принципиальная схема экономичного приемника

выполненный по схеме с непосредственной связью между каскадами на транзисторах  $VT1 - VT3$ . Усиленный сигнал детектируется диодом  $VD1$ , его высокочастотная составляющая отфильтровывается конденсатором  $C2$ . Выделившийся на этом конденсаторе сигнал звуковой частоты (ЗЧ) через катушку связи, представляющую для токов ЗЧ пренебрежимо малое сопротивление, снова подается на базу транзистора  $VT1$ .

Так обычно устроены рефлексные приемники, где одни и те же каскады усиливают токи радио- и звуковой частоты. Но этот приемник лишь с долей условности можно назвать рефлексным. Дело в том, что через детекторный диод  $VD1$  замыкается цепь стопроцентной отрицательной обратной связи (ООС), действующей на постоянном токе и на звуковых частотах, поэтому усиление по напряжению на ЗЧ равно единице.

В то же время ООС жестко стабилизирует режим транзисторов по постоянному току и в отсутствие сигнала напряжение на коллекторе  $VT3$  равно сумме напряжения открывания транзистора  $VT1$  и диода  $VD1$  (оба этих напряжения равны примерно по 0,5 В, поскольку приборы кремниевые). При этом ток смещения базы транзистора  $VT1$  будет очень небольшим, как раз таким, что диод начнет работать на участке вольтамперной характеристики с максимальной кривизной, что и нужно для детектирования.

При поступлении сигнала РЧ диод  $VD1$  детектирует его положительные полуволны, сильнее открывая транзистор  $VT1$ . Вслед за ним больше открываются и транзисторы  $VT2$  и  $VT3$ . В результате среднее (за период РЧ) напряжение на коллекторе  $VT3$  падает, а ток

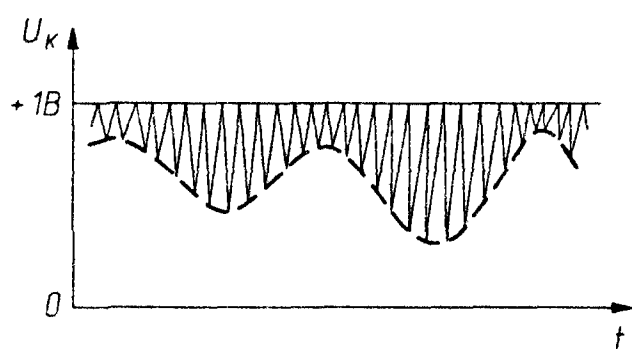


Рис 4.11 Осциллограмма коллекторного напряжения транзистора  $VT3$

всех трех транзисторов увеличивается. Форма напряжения на коллекторе транзистора  $VT3$  показана на рис 4.11, ее можно наблюдать с помощью осциллографа. На его экране видно, что положительные полуволны АМ сигнала жестко «привязаны» к уровню напряжения +1 В, в то время как огибающая колебаний ЗЧ удвоенной амплитуды модулирует отрицательные полуволны.

Благодаря ООС детектирование получается очень линейным. Если же уровень сигнала слишком велик, и отрицательные полуволны достигают нулевой отметки, огибающая АМ колебаний ограничивается и приемник начинает работать с искажениями. Устранить их можно, ослабив сигнал РЧ расстройкой

входного контура, поворотом антенны или включением резистора с небольшим сопротивлением (20–100 Ом) в эмиттерную цепь транзистора VT1. Чувствительность приемника при этом уменьшается. Если этот резистор сделать переменным, он будет служить регулятором громкости.

Поскольку для колебаний ЗЧ все три транзистора являются усилителями тока, а их коллекторные токи складываются в общем проводе питания, в него же включен и телефон BF1, причем отдельного выключателя питания не требуется – приемник начинает работать, как только вилка телефона вставлена в гнезда разъема X1. Конденсатор СЗ замыкает токи РЧ на общий провод, чтобы они не попадали в цепь телефона и батареи питания.

Несколько слов о деталях. Подойдут транзисторы VT1 и VT3 типов КТ315 или КТ312 с любыми буквенными индексами. Это же относится и к транзистору типа КТ361 (VT2) другого типа проводимости. Можно попробовать применить и транзисторы КТ3102 (VT1, VT3) и КТ3107 (VT2). Подбора транзисторов по коэффициенту передачи тока не требуется, просто транзисторы с большим коэффициентом передачи обеспечат несколько большую чувствительность приемника, а режим их все равно окажется жестко стабилизирован. Диод VD1 – любой маломощный высокочастотный, но обязательно кремниевый.

Конденсатором настройки может служить любой подходящий КПЕ с воздушным или твердым диэлектриком. Подойдет, например, КП-180, выпускавшийся в наборах для детского технического творчества, или блок КПЕ от любого транзисторного приемника. Обе секции блока для расширения диапазона перестройки лучше соединить параллельно. Максимальная емкость КПЕ должна быть не меньше 180 пФ.

Можно использовать готовые катушки L1 и L2 от магнитных антенн транзисторных приемников. При самостоятельном изготовлении провод наматывается на круглый или прямоугольный ферритовый стержень 400НН, 600НН или 1000НН длиной не менее 50 мм. Для приема в диапазоне СВ катушка L1 должна содержать 60–70 витков, а катушка связи L2 – 6–7 витков провода ПЭЛ (лучше ПЭЛШО) 0,25–0,35. Для повышения добротности контура еще лучше использовать литцендрат. Намотка ведется в один слой, виток к витку, на бумажном каркасе, пропитанном парафином для влагозащиты и повышения изолирующих свойств. Расстояние между катушками 5–7 мм.

Была испытана и рамочная антенна квадратного сечения 55×55 мм, намотанная внавал проводом ПЭЛ 0,25 прямо на корпусе приемника.

Число витков для диапазона СВ – 60, катушка связи наматывается поверх контурной и имеет 5 витков. Чувствительность приемника даже с такой антенной оказалась достаточной, а селективность – несколько хуже из-за меньшей добротности катушки без сердечника. При изготовлении приемника для диапазона ДВ число витков катушек следует увеличить примерно втрое.

Телефоном служит миниатюрный капсюль ТМ-2А или любой другой с сопротивлением 50 Ом. С таким телефоном приемник может работать при напряжении питания от 1,2 В и выше. Потребляемый ток составляет 1,2 мА при питании от одного дискового аккумулятора и 1,8 мА при питании от одного элемента А316 или импортного – размера АА с напряжением 1,5 В. Если использовать высококачественный телефон ТМ-6 с сопротивлением 180 Ом, напряжение питания лучше увеличить до 2,4–3 В (два дисковых аккумулятора или два элемента 316, соединенные последовательно). Потребляемый ток при этом возрастет до 3–5 мА.

Отличные результаты получились с высококачественными телефонами ТДС-1 при напряжении питания 3 В и токе 5 мА. С приемником можно использовать и высокоомные телефоны, например ТА-4 с сопротивлением постоянному току 4,4 кОм. В этом случае напряжение питания придется увеличить до 4,5–9 В (одна-две батареи 3336Л или одна «Крона»). Потребляемый ток составит 1–2 мА. Вообще же приемник допускает широкие вариации сопротивления телефонов и напряжения питания без ухудшения качества работы и без подбора элементов.

Поскольку через телефоны проходят не только токи ЗЧ, но и постоянная составляющая тока транзисторов, при подключении телефона, особенно со слабым магнитом, желательно соблюдать полярность, указанную на вилке телефона. Вывод, обозначенный знаком +, должен соединяться с батареей питания. Если же обозначений на вилке или корпусе телефона нет, полярность его включения подбирают по наилучшему звучанию. Смысл подбора полярности в том, чтобы постоянное магнитное поле катушек телефона, создаваемое постоянной составляющей тока, складывалось с собственным полем магнита телефона, усиливая его.

Внешнее оформление приемника может быть весьма разнообразным. Скорее всего корпусом станет пластмассовая коробочка, легко помещаемая в нагрудный карман, с ручкой настройки и миниатюрным разъемом для подключения телефона. Монтаж приемника может быть

как печатным, так и навесным. Самовозбуждение вероятно лишь при размещении коллекторной цепи транзистора VT3 вплотную к контуру магнитной антенны из-за емкостной связи между ними. Устраняют его подбором взаимного расположения деталей. Если это не помогает, полезно окружить коллекторную цепь транзистора VT3 полоской «заземленной» фольги на печатной плате или установить небольшой экран из фольги, жести и т.п. при навесном монтаже. Помогает переключение выводов контурной катушки или катушки связи.

Приемник можно выполнить и с фиксированной настройкой на одну радиостанцию, заменив КПЕ С1 постоянным конденсатором и подобрав его емкость в пределах 50–240 пФ до получения предварительной настройки на нужную станцию. Окончательная настройка производится подбором числа витков и положения контурной катушки L1 на стержне магнитной антенны.

#### 4.2.2. Карманный приемник прямого усиления

Этот приемник похож на предыдущий, его основные особенности – небольшие габариты, простота схемы, конструкции и налаживания, высокая экономичность. Ток, потребляемый от одного элемента питания типа 316 или АА, не превосходит 1–1,5 мА, а при некоторой разрядке элемента снижается до 0,3–0,5 мА. Работает приемник на малогабаритный головной телефон типа ТМ-1, ТМ-2 или ТМ-4 с сопротивлением постоянному току 50–160 Ом. Звучит приемник негромко, но в условиях небольшого окружающего шума передачи местных радиостанций прослушиваются вполне уверенно. По сравнению с плеером приемник имеет раз в десять меньшие объем и вес, и неизмеримо больший срок службы единственного элемента питания. Чувствительность его по напряженности поля составляет около 10 мВ/м

Схема простейшего варианта приемника показана на рис. 4.12. Сигнал принимается магнитной ферритовой антенной WA1. Ее контур образован катушкой L1 и КПЕ С1 настраивается на частоту принимаемой станции. Двухкаскадный УРЧ приемника собран на транзисторах VT1 и VT2 по схеме с непосредственной связью

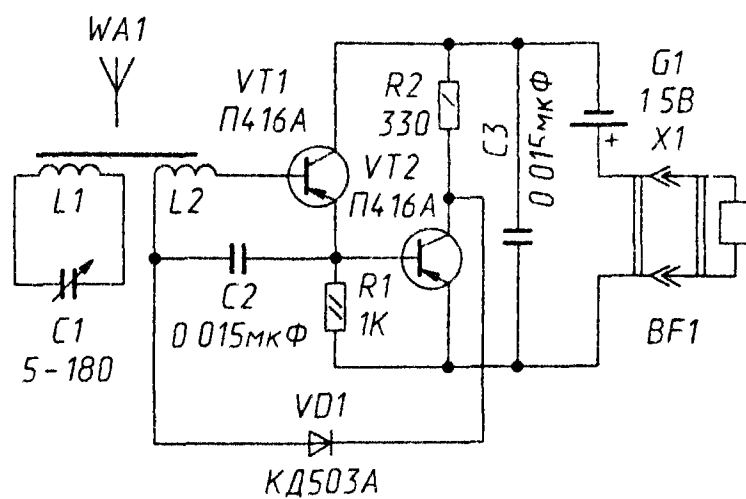


Рис 4 12 Принципиальная схема двухтранзисторного приемника

между каскадами. Сигнал от антенны через катушку связи  $L2$  и разделительный конденсатор  $C2$  подводится к переходу база – эмиттер транзистора  $VT1$  и усиливается им. Резистор нагрузки  $R1$  включен не как обычно в коллекторную, а в эмиттерную цепь, то есть источник питания и резистор нагрузки как бы поменялись местами, но на работе каскада это не отражается. Сигнал с резистора нагрузки поступает на базу второго транзистора  $VT2$  и вновь усиливается.

Усиленное напряжение РЧ, выделенное на нагрузке  $R2$ , детектируется диодом  $VD1$ . Конденсатор  $C2$  при этом выполняет роль фильтрующего, сглаживая высокочастотные пульсации продетектированного сигнала. Для сигнала ЗЧ, поступающего с детектора, транзистор  $VT1$  служит эмиттерным повторителем, а  $VT2$  – усилителем тока. Коллекторные токи обоих транзисторов складываются в цепи пита-

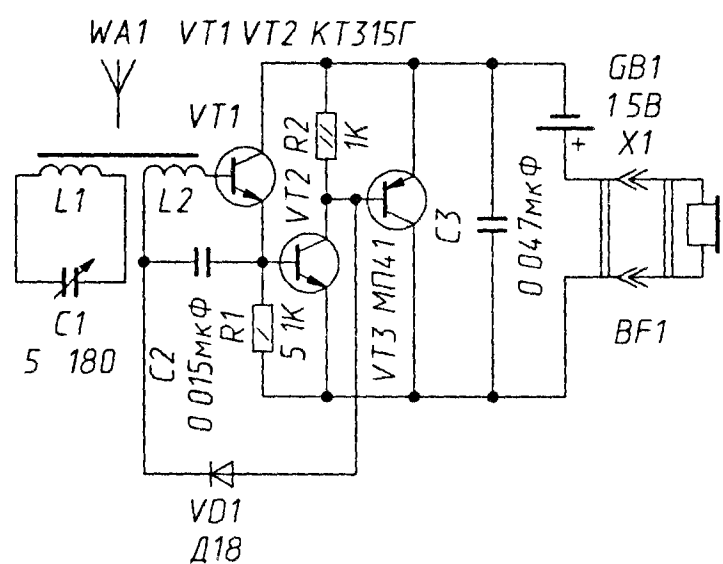


Рис 4.13 Принципиальная схема трехтранзисторного приемника

ния, куда и включены головной телефон и элемент питания. Включается приемник при подключении телефона к разъему  $X1$ . Блокировочный конденсатор  $C3$  замыкает токи РЧ, не позволяя им протекать через источник питания и телефон.

Схема второго варианта приемника показана на рис. 4.13. Она подобна предыдущей, и принцип действия приемника тот же, но в УРЧ применены широко распространенные кремниевые транзисторы  $KT315Г$ . В связи с заменой структуры транзисторов ( $n-p-n$  вместо  $p-n-p$ ) полярность источника питания и полярность включения детекторного диода изменились на обратные. Поскольку порог открывания кремниевых транзисторов довольно велик ( $0,5-0,6$  В), а напряжение питания всего  $1,5$  В, детектором пришлось использовать германиевый диод, имеющий порог всего  $0,15$  В. Напряжение на коллекторе транзистора  $VT2$ , устанавливающееся автоматически, составило около  $1,3$  В.

Падения напряжения на резисторе нагрузки  $R2$  оказалось достаточным для начала открывания низкочастотного германиевого транзистора  $VT3$ , служащего дополнительным усилителем тока. При поступлении сигнала транзисторы  $VT1$  и  $VT2$  открываются сильнее, коллекторное напряжение  $VT2$  уменьшается, что приводит к открыванию транзистора  $VT3$  и увеличению тока, протекающего через телефон.

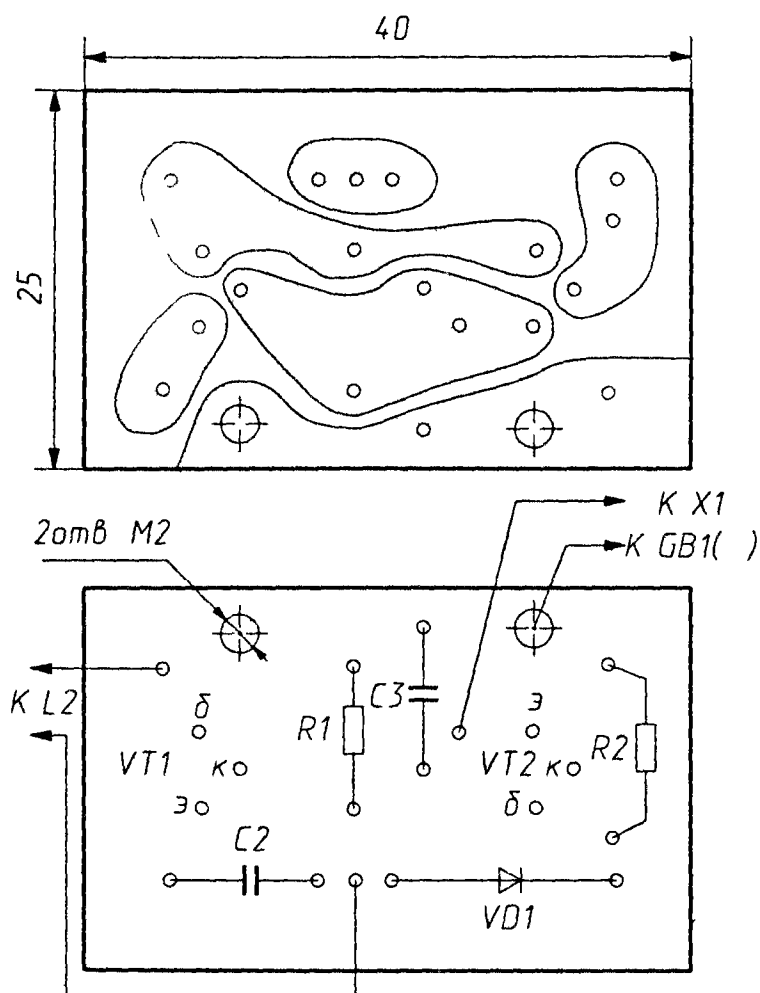


Рис 4 14 Печатная плата двухтранзисторного приемника

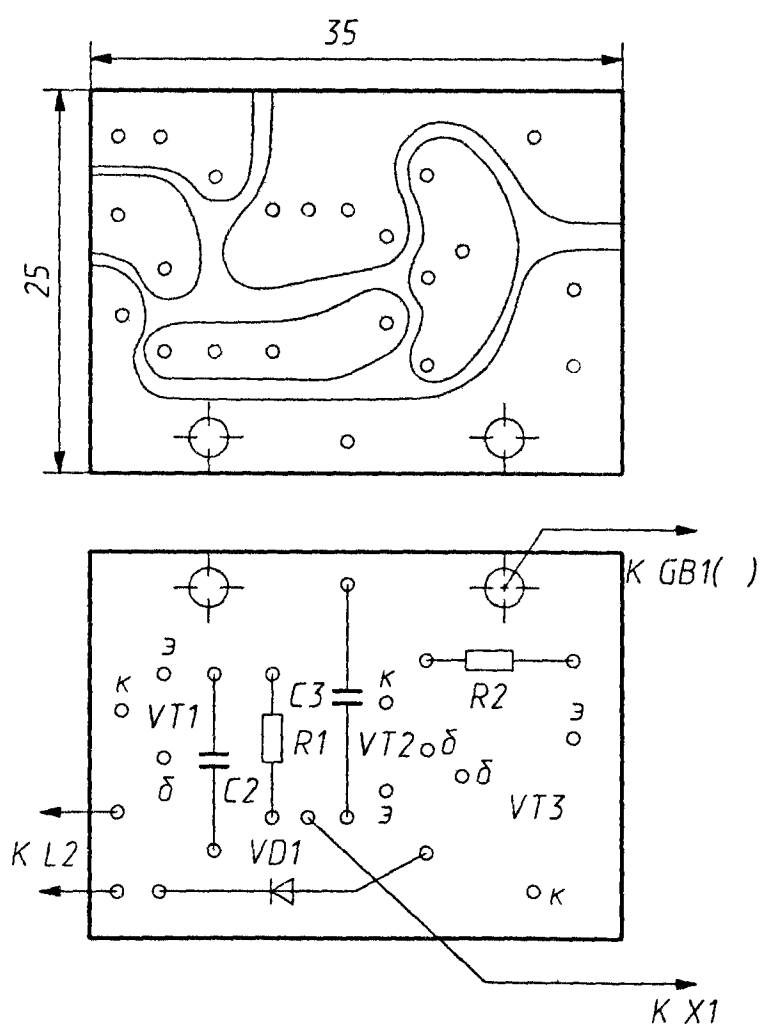


Рис 4 15 Печатная плата трехтранзисторного приемника

Эскизы печатных плат двухтранзисторного и трехтранзисторного приемников приведены, соответственно, на рис. 4.14 и 4 15. Платы изготавливают из одностороннего фольгированного гетинакса или

стеклотекстолита. Годится любая технология: изолирующие дорожки между проводящими участками фольги можно протравить, вырезать острым скальпелем или резак. Более того, допустимо обойтись и без фольгированного материала, соединив выводы деталей, пропущенных в отверстия платы.

Корпусом приемника послужит любая пластмассовая коробочка подходящих размеров (у автора 80×60×20 мм). Печатную плату и КПЕ (типа КП-180) крепят ко дну корпуса винтами М2. Под один из винтов подкладывают пружинящую пластинку, контактирующую с одним выводом элемента питания. Пластинку для другого

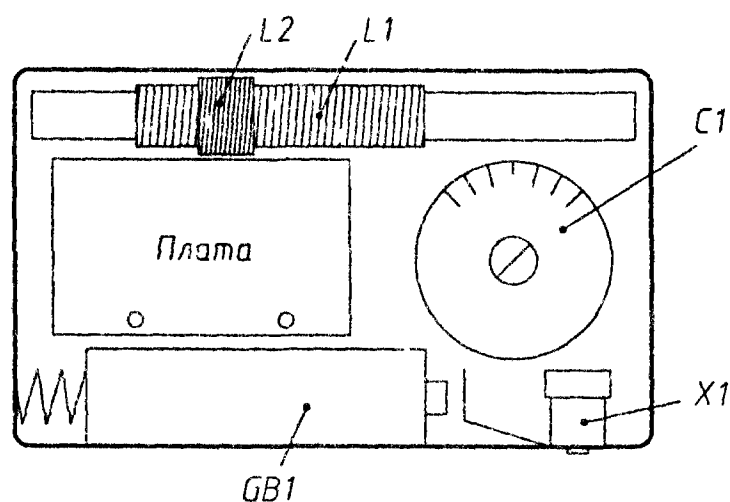


Рис 4.16. Конструкция карманного приемника

вывода закрепляют на разъеме телефона X1. Стержень ферритовой антенны длиной 80 мм фиксируют торцами на боковых стенках корпуса (при помощи клея) или в углублениях, сделанных паяльником. Расположение деталей в корпусе приемника показано на рис. 4.16.

Приемник в авторском варианте выполнен однодиапазонным. В зависимости от числа витков ферритовой антенны, он может работать

на ДВ, СВ или частично захватывать оба диапазона. Можно сделать и переключатель диапазонов, намотав катушку с отводом. При использовании ферритового стержня 600НН длиной 80 и диаметром 8 мм катушка L1 содержит около 90 витков для диапазона СВ и около 300 витков для диапазона ДВ. Средневолновую катушку лучше намотать литцендратом, но допустимо использовать и провод ПЭЛШО 0,15. Для ДВ катушки годится ПЭЛ 0,1–0,15. Катушка связи L2 содержит 1/10 часть числа витков контурной, ее можно намотать любым проводом поверх витков контурной катушки.

Налаживание приемника сводится к проверке правильности монтажа и контролю потребляемого тока от элемента питания. Если ток слишком велик или слишком мал, следует проверить исправность деталей. Диапазон настройки приемника уточняется подбором числа витков контурной катушки.

### 4.2.3. Чувствительный амплитудный детектор

Способ детектирования, примененный в описанных выше приемниках, хорошо себя зарекомендовал и навел на мысль о разработке

более чувствительного амплитудного детектора для других конструкций. Известно, что диодные и транзисторные амплитудные детекторы, используемые в радиовещательных приемниках АМ сигналов, обладают невысокой чувствительностью. Их коэффициент передачи быстро уменьшается при уровнях сигнала ниже 100 мВ. Связано это с квадратичностью характеристики при малых сигналах: амплитуда протектированного сигнала пропорциональна квадрату амплитуды входного сигнала РЧ.

Гораздо большую чувствительность и больший динамический диапазон имеют активные детекторы, собранные на операционных усилителях (ОУ). Они получили некоторое распространение в измерительной технике, но так и не стали применяться в радиоприемниках, вероятно, из-за сложности, дороговизны и ограниченного частотного диапазона. Используя высокочастотный транзистор и диоды, удалось разработать амплитудный детектор с высокой чувствительностью [27], содержащий минимум деталей.

Схема детектора показана на рис. 4.17. Он представляет собой обычный резистивный усилительный каскад, в котором в цепи смещения базы транзистора VT1 вместо резистора установлен кремниевый диод VD1. Цепочка R2C2 фильтрует сигнал ЗЧ на выходе детектора от радиочастотных пульсаций. В отсутствие сигнала напряжение на коллекторе транзистора автоматически устанавливается около 1–1,1 В: оно равно сумме напряжений открывания диода и перехода база – эмиттер транзистора. Ток транзистора определяется напряжением питания и сопротивлением резистора нагрузки R1,  $I_o = (U_{\pi} - 1,1 \text{ В}) / R1$ . При номинале резистора, указанном на схеме, и напряжении питания 3 В ток составляет около 0,5 мА, но его можно сделать и значительно меньше, увеличив сопротивление резистора.

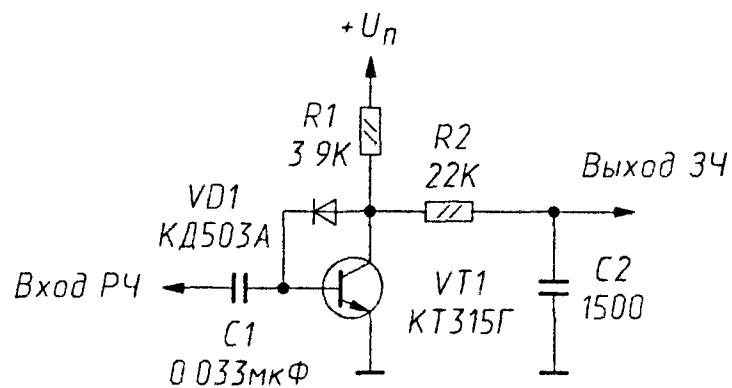


Рис. 4.17 Принципиальная схема чувствительного АМ детектора

Ток базы транзистора составляет не более нескольких микроампер, он протекает через диод в прямом направлении, устанавливая его на пороге открывания, на участке с максимальной кривизной вольтамперной характеристики, что и требуется для хорошего детектирования. Динамическое сопротивление диода составляет в этой точке десятки килоом – оно незначительно снижает усиление транзисторного каскада.

При поступлении на вход детектора АМ сигнала положительные полуволны, выделяющиеся на нагрузке  $R_1$ , выпрямляются диодом и увеличивают потенциал базы, открывая транзистор. Емкость разделительного конденсатора  $C_1$  должна быть значительно больше емкости обычных разделительных конденсаторов радиочастотных каскадов, чтобы он не успевал разряжаться током базы за период колебаний. Коллекторный ток открывающегося транзистора возрастает, а его коллекторное напряжение уменьшается. Максимумы положительных полуволн коллекторного напряжения оказываются как бы «привязанными» к уровню  $+1$  В, в то время как огибающая отрицательных полуволн промодулирована удвоенной амплитудой напряжения ЗЧ. Осциллограмма коллекторного напряжения точно такая же, как на рис. 4.11.

Отфильтрованное цепочкой  $R_2C_2$  среднее напряжение, соответствующее закону модуляции, поступает на выход. Его максимальный размах составляет  $0,5$  В, далее наступает ограничение. Параметры детектора таковы: при входном сигнале  $3$  мВ с глубиной модуляции  $80\%$  выходное напряжение ЗЧ составляет  $180$  мВ. Искажения огибающей визуально почти незаметны, к тому же они резко уменьшаются с понижением глубины модуляции. Входное сопротивление детектора невелико и составляет сотни ом, поэтому сигнал на него лучше подавать от эмиттерного (истокового) повторителя, но можно и от обычного апериодического каскада УРЧ с резистором нагрузки не более  $1-2$  кОм. Выходное сопротивление детектора определяется суммарным сопротивлением резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , поэтому желательно, чтобы входное сопротивление УЗЧ, подключенного к выходу детектора, составляло не менее  $20$  кОм.

Коэффициент передачи детектора и его выходное напряжение ЗЧ можно повысить вдвое, установив еще один диод, как показано на рис. 4.18. Резистор нагрузки детектора  $R_2$  присоединен к проводу

питания, обеспечивая небольшой начальный ток через дополнительный диод  $VD_2$ , чтобы вывести его на участок с максимальной кривизной характеристики. Этот диод выпрямляет отрицательные полуволны коллекторного напряжения, и потенциал верхней по схеме обкладки фильтрующего конденсатора  $C_2$  повторяет их огибающую.

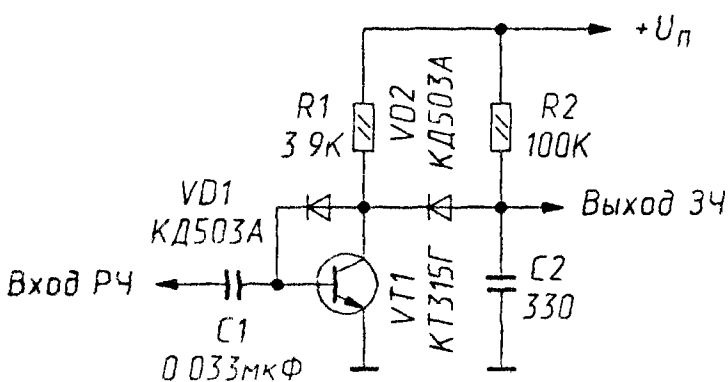


Рис 4 18 Вариант детектора с двумя диодами

Этот детектор вносит несколько большие нелинейные искажения, но развивает то же напряжение ЗЧ (180 мВ) при входном сигнале 1,5 мВ, а начинает детектировать при входных сигналах в сотни микровольт. Для сравнения была измерена чувствительность апериодического УРЧ (на том же транзисторе с тем же сопротивлением нагрузки 3,9 кОм), нагруженного на диодный детектор по схеме удвоения напряжения – она получилась втрое хуже, хотя схема получается сложнее и содержит больше элементов.

Постоянную составляющую продетектированного сигнала можно использовать в системе автоматической регулировки усиления (АРУ), учитывая, что в детекторе по схеме рис. 4.17 она изменяется по мере увеличения уровня сигнала от 1,1 до 0,55 В, а в детекторе по схеме на рис. 4.18 – от 1,65 до 0,55 В. Это позволяет управлять смещением кремниевых транзисторов УРЧ или УПЧ непосредственно с выхода детектора. При отсутствии сигнала смещение максимально, а при наличии сигнала уменьшается, снижая усиление каскадов. Дополнительная польза такого решения в том, что напряжение смещения будет мало зависеть от напряжения питания, поскольку детектор выступит в роли его стабилизатора.

Максимальная частота сигнала для обоих детекторов составляет около 3 МГц, поэтому их можно использовать в ДСВ приемниках прямого усиления и в супергетеродинах со стандартным значением ПЧ 450–470 кГц. Представляется интересным объединить этот детектор с описанным ранее истоковым повторителем для магнитной антенны, схема которого дана на рис. 4.6. Должен получиться довольно чувствительный приемник без усилителей напряжения РЧ.

#### **4.2.4. Приемник на биполярных транзисторах с АРУ**

В этом приемнике использован только что описанный чувствительный детектор, но есть и другие любопытные схемные решения. Катушка связи УРЧ на биполярном транзисторе порождает немало проблем. Затруднен подбор количества витков при настройке на нужный диапазон, потому что их число на двух катушках надо изменять пропорционально. Паразитный контур, образованный катушкой связи и входной емкостью транзистора, может служить источником шума и помех, поскольку он настроен на частоты КВ диапазона и из-за низкой добротности широкополосен.

Избавиться от катушки связи позволяет последовательная схема включения УРЧ в контур (рис. 4.19). Входное сопротивление каскада УРЧ с общей базой на транзисторе VT1 очень невелико, менее

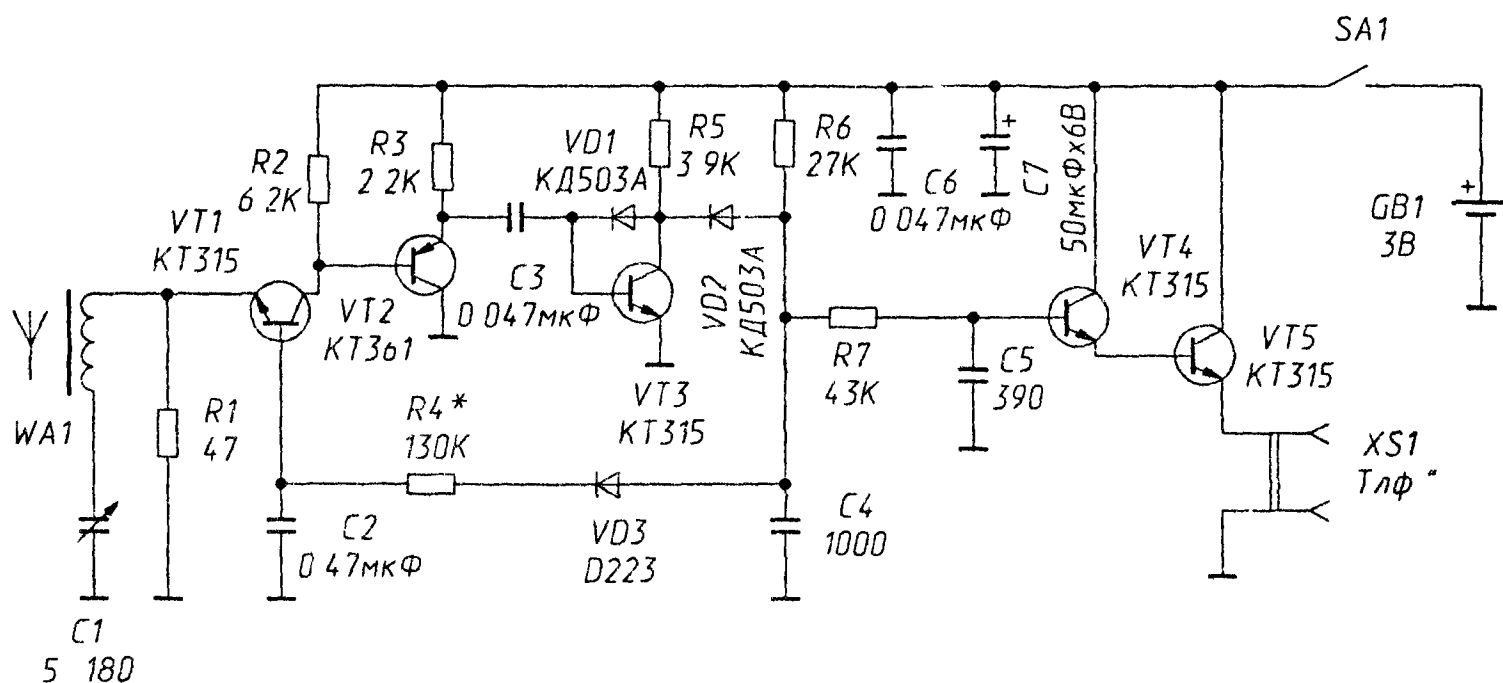


Рис 4 19 Принципиальная схема приемника с АРУ

100 Ом, и такое сопротивление вполне можно включить в контур последовательно, особенно если характеристическое сопротивление контура высокое (емкость мала, а индуктивность велика). Ориентировочно входное сопротивление каскада с ОБ можно найти по формуле  $R_{вх} \text{ (Ом)} = 25/i_k \text{ (мА)}$ . Напомним, что у каскада с ОЭ входное сопротивление в  $h_{21э}$  раз больше ( $h_{21э}$  – коэффициент передачи тока).

Проведем ориентировочный расчет для диапазона СВ. При изменении емкости контура примерно от 20 до 200 пФ (с учетом емкости катушки и монтажа) требуемая индуктивность составит 0,5 мГн. Характеристическое сопротивление изменяется от 1,6 кОм на частоте 500 кГц до 5 кОм на частоте 1600 кГц. При входном сопротивлении УРЧ 50 Ом и при катушке с малыми потерями добротность  $Q$  будет изменяться от 32 до 100, увеличиваясь с повышением частоты и обеспечивая полосу пропускания контура порядка 16 кГц, постоянную во всем диапазоне. Такая полоса вполне подходит для приема местных мощных радиостанций. В диапазоне ДВ ситуация еще благоприятнее, добротность выше и сопротивление резистора  $R1$  можно увеличить, например до 470 Ом.

Недостатком такого способа согласования является малый уровень сигнала, снимаемого с магнитной антенны, поскольку здесь амплитуда сигнала не возрастает в  $Q$  раз, как в параллельном контуре, и равна просто  $E \cdot h_d$ , составляя при напряженности поля 10 мВ/м примерно 100 мкВ. Малый уровень сигнала приходится компенсировать усилением УРЧ, благо оно в схеме с ОБ довольно высокое.

Второй транзистор в УРЧ (рис. 4.19) включен по схеме эмиттерного повторителя, согласуя высокое выходное сопротивление каскада с ОБ с низким входным сопротивлением детектора. Последний выполнен по уже описанной схеме. Смещение на базу первого транзистора УРЧ подается с выхода детектора через цепочку VD3R4. При поступлении сигнала напряжение на выходе детектора снижается, уменьшая и ток транзисторов VT1, а вслед за ним и VT2. Так осуществляется автоматическая регулировка усиления (АРУ). Поскольку она достаточно эффективна, регулятора громкости в приемнике нет.

УЗЧ выполнен по схеме составного эмиттерного повторителя на транзисторах VT4, VT5. Он усиливает только ток, поскольку напряжение ЗЧ на выходе детектора вполне достаточно для работы низкоомных телефонов. Сигнал ЗЧ и необходимое смещение подаются с выхода детектора через резистор R7. Конденсаторы C4 и C5 сглаживают радиочастотные пульсации сигнала ЗЧ. АРУ «вперед» действует и в этих каскадах, несколько снижая ток и усиление по току при возрастании РЧ сигнала. Нагрузкой УЗЧ служат любые телефоны с сопротивлением постоянному току 50–200 Ом, например ТМ-2 или ТМ-6.

В приемнике можно использовать любые маломощные высокочастотные кремниевые транзисторы соответствующего типа проводимости и любые маломощные кремниевые диоды. Антенна СВ диапазона содержит 80 витков ЛЭШО 7×0,07 на ферритовом стержне 600НН длиной 160 и диаметром 8 мм. Для ДВ диапазона нужно намотать 250 витков ПЭЛ 0,1–0,15. Намотка ведется в один слой. Можно также намотать две обмотки и сделать переключатель диапазонов. Монтаж выполняется любым способом, но желательно не размещать детали детектора вплотную к магнитной антенне.

Налаживание приемника сводится к подбору резистора R4 такого номинала, чтобы напряжение на эмиттере транзистора VT2 составило 1,5 В. Полезно проконтролировать потребляемый ток, он не должен превосходить 3 мА. Если ток транзисторов УЗЧ слишком велик (а это случается при малом сопротивлении телефонов и большом коэффициенте передачи тока транзисторов), последовательно с телефонами надо включить цепочку из резистора 100–300 Ом, зашунтированного конденсатором 50 мкФ: это стабилизирует режим. Работоспособность приемника сохраняется при изменении напряжения питания примерно от 1,7 до 6 В.

#### 4.2.5. Приемники с УРЧ на полевом транзисторе

Два последних приемника этого раздела, разработанные Д. Турчинским [28], содержат УРЧ на полевом транзисторе и детектор на биполярном. Приемники отличаются только УЗЧ: в первом он выполнен на двух биполярных транзисторах (рис. 4.20), а во втором – на микросхеме (рис. 4.21). Контур магнитной антенны  $L1L2C1$  в них выполнен по обычной параллельной схеме и полностью подключен ко входу УРЧ с высоким входным сопротивлением. Усиление УРЧ, а следовательно, и громкость звука регулируются переменным резистором  $R2$ , включенным в цепь истока полевого транзистора  $VT1$ . Транзисторный детектор (он отличается от обычного усилительного каскада лишь меньшим током смещения) собран на биполярном транзисторе  $VT2$ .

В первом приемнике (рис. 4.20) УЗЧ собран на транзисторах  $VT3$  и  $VT4$ , причем усиление по напряжению невелико, оно равно отношению сопротивлений резисторов  $R6/R5$ , зато входное сопротивление значительно повышается резистором  $R5$  и не шунтирует детектор. Второй каскад является эмиттерным повторителем и нагружен на включенные параллельно стереотелефоны. Печатная плата разработана только для этого приемника (рис. 4.22). Питается он от двух дисковых аккумуляторов Д-0,06, соединенных последовательно. Потребляемый ток составляет 2–2,5 мА.

Второй приемник имеет более «мощный» выход и может работать на малогабаритную динамическую головку с сопротивлением не менее 8 Ом. Предусмотрены и гнезда для стереотелефонов, головка

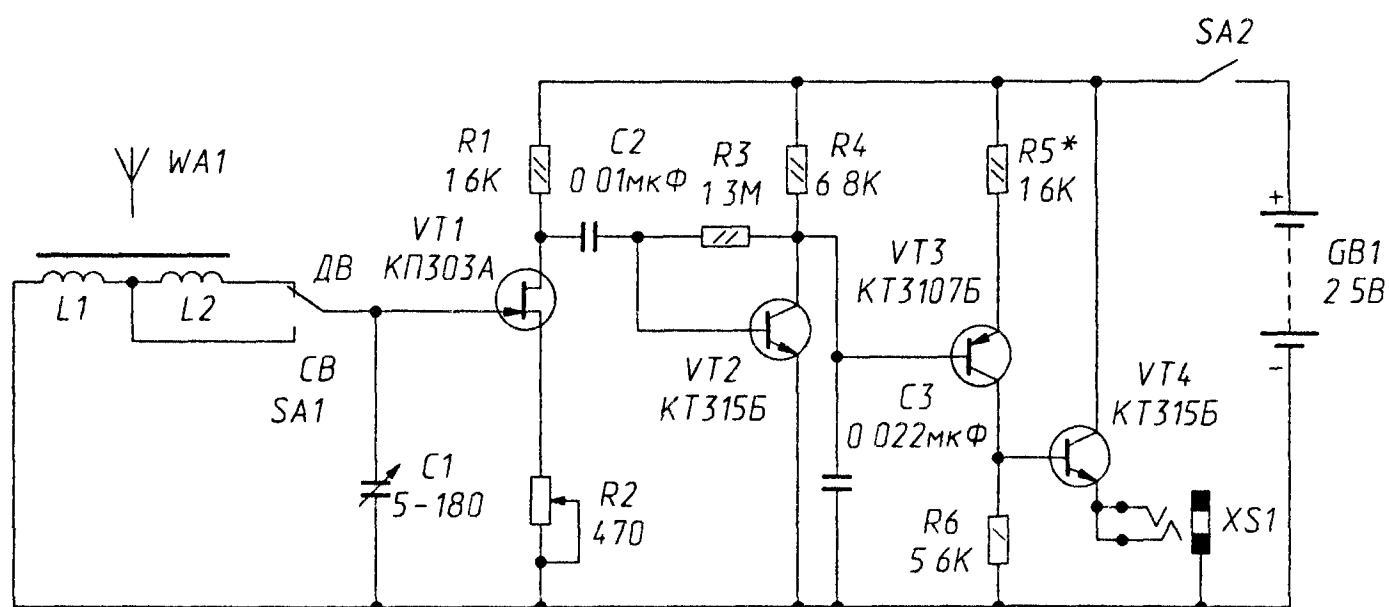


Рис. 4.20. Приемник с УЗЧ на транзисторах

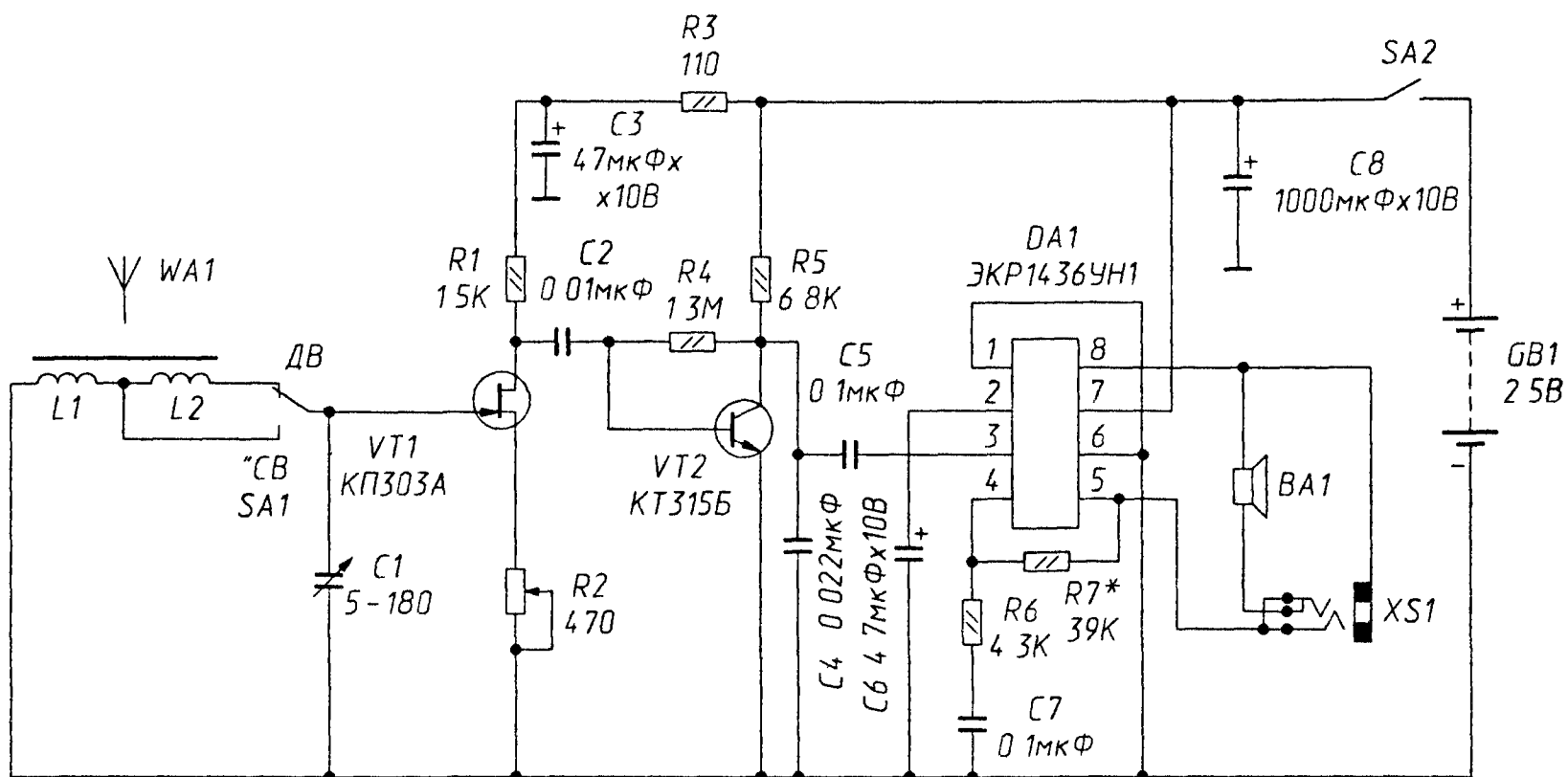


Рис 4 21. Приемник с УЗЧ на микросхеме

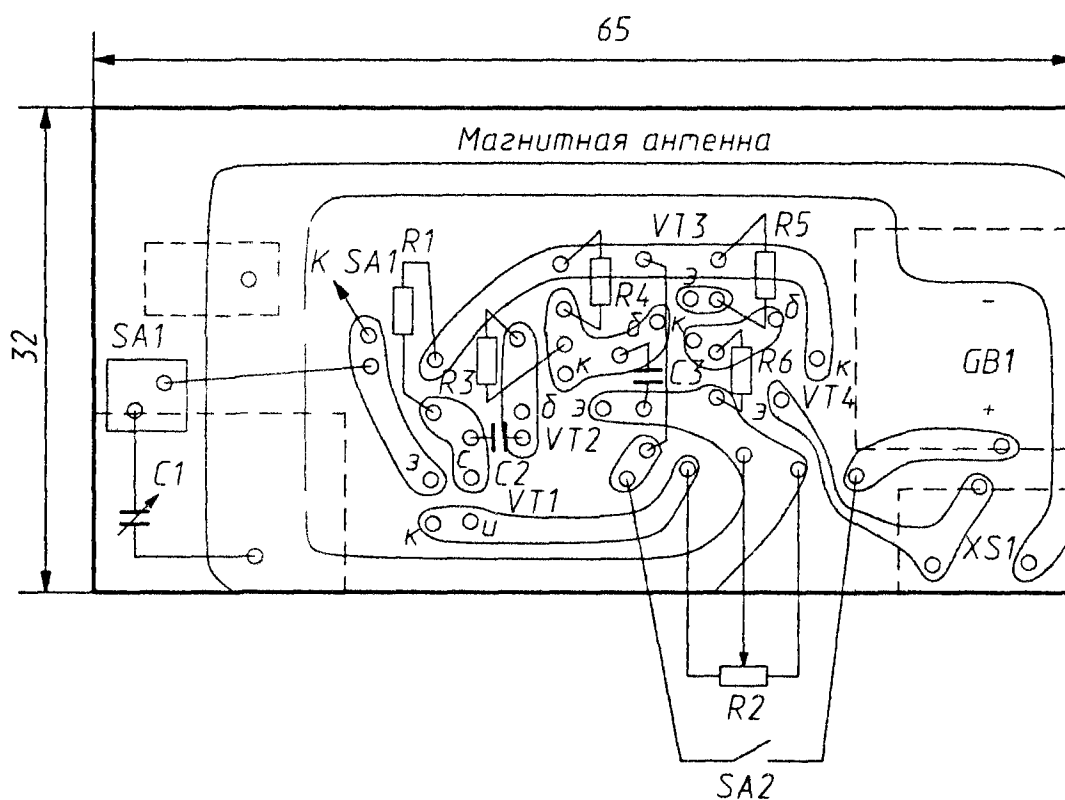


Рис. 4 22. Печатная плата приемника с УЗЧ на транзисторах

при этом отключается. Микросхема УЗЧ типа ЭКР1436УН1 имеет два противофазных выхода, что позволяет подключать головку без разделительного конденсатора, а напряжение на ней удваивается. Потребляемый ток со стереотелефонами составляет 4–4,5 мА, но с динамической головкой он может быть больше, и тогда надо использовать более энергоемкие батареи или аккумуляторы.

Для приемников желательно подобрать полевой транзистор с начальным током стока (при замкнутом на исток затворе) не более 1 мА.

Годятся транзисторы серии КП303 с индексами А, Б и И. Остальные транзисторы могут быть серий КТ315 и КТ361 с любыми буквенными индексами. Магнитная антенна намотана на плоском стержне из феррита 400НН размерами 4×12×60 мм. Катушка L1 содержит 82 витка ПЭЛ 0,21, намотанных виток к витку, а L2 – 250 витков ПЭЛ 0,1–0,15 в пяти секциях шириной по 2–3 мм с расстоянием между секциями 3–4 мм. Годится готовая антенна приемника «Сокол», ее катушки связи не используются (их лучше удалить). Налаживание приемников сводится к подбору полевого транзистора, проверке напряжения на его стоке (не менее 1 В) и подбору такого резистора R5 (в первом приемнике), чтобы ток покоя не превосходил 2 мА.

### 4.3. УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ПРИЕМНИКИ ПРЯМОГО УСИЛЕНИЯ

В этом разделе будут описаны более «серьезные» приемники прямого усиления, работающие на громкоговоритель и отличающиеся рядом усовершенствований, направленных как на увеличение чувствительности и селективности, то есть основных параметров приемника, так и на улучшение качества приема.

#### 4.3.1. Приемник-радиоточка

Простые приемники прямого усиления с одним колебательным контуром обеспечивают неплохое качество звучания при приеме местных радиостанций диапазонов ДСВ.

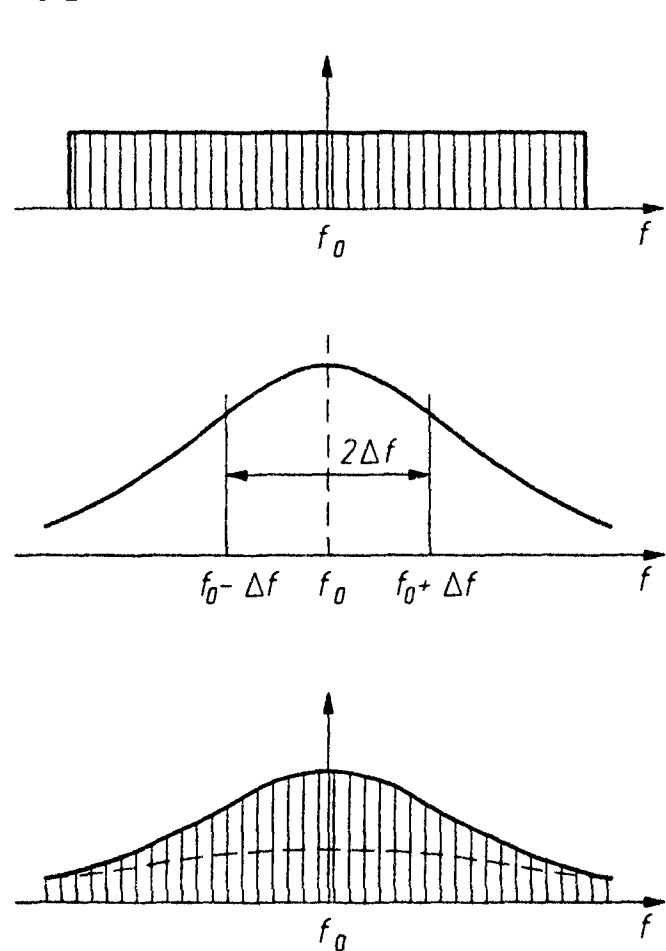


Рис 4.23 Спектр сигнала, АЧХ контура и частотные искажения

При приеме же менее сильных сигналов возникают проблемы, требующие решения. Одна из них состоит в уже упоминавшемся противоречии между полосой пропускания и селективностью. С повышением добротности контура – обычно это контур магнитной антенны – повышаются чувствительность и селективность, но сужается полоса пропускания, и высшие частоты в спектре звукового сигнала оказываются ослабленными. При низкой же добротности уменьшается подавление сигналов соседних по частоте станций.

Изложенное иллюстрирует рис. 4.23, где на верхнем графике изображен

спектр принимаемого РЧ сигнала шириной  $f_0 \pm 10$  кГц (такой спектр излучают отечественные радиостанции). На среднем графике показана АЧХ колебательного контура с полосой пропускания  $2\Delta f$  порядка 6–9 кГц, а на нижнем – искаженный спектр сигнала, подаваемого на детектор. Видно, что верхние частоты звукового спектра значительно ослаблены (напомним, что полоса обратно пропорциональна добротности:  $2\Delta f = f_0/Q$ ).

Другая проблема связана с искажениями сигнала при детектировании. Любой детектор для малых сигналов становится квадратичным и его коэффициент передачи снижается пропорционально уровню сигнала. Это приводит к увеличению положительных полуволн продетектированного сигнала ЗЧ и подавлению отрицательных (рис. 4.24). Коэффициент квадратичных нелинейных искажений, как можно показать, составляет  $m^2/4$ , где  $m$  – коэффициент модуляции. Обычно с искажениями при модуляции мирятся, поскольку средний коэффициент модуляции составляет примерно 0,3 (30%) и средний коэффициент нелинейных искажений, – соответственно, 2,5%. Но при 100% модуляции он возрастает до 25%.

Обе проблемы можно в значительной степени решить, если ввести в УРЧ быстродействующую автоматическую регулировку усиления (АРУ), действующую на нижних и средних частотах звукового спектра и в меньшей степени на верхних. При помощи такой АРУ произойдет как бы размодуляция сигнала на нижних и средних частотах, в результате уменьшится коэффициент модуляции сигнала на входе детектора, а с ним и нелинейные искажения. Выровняется также и АЧХ, оба эффекта показаны штриховыми линиями на рисунках. Некоторое уменьшение уровня продетектированного сигнала ЗЧ компенсируется соответствующим повышением усиления УЗЧ.

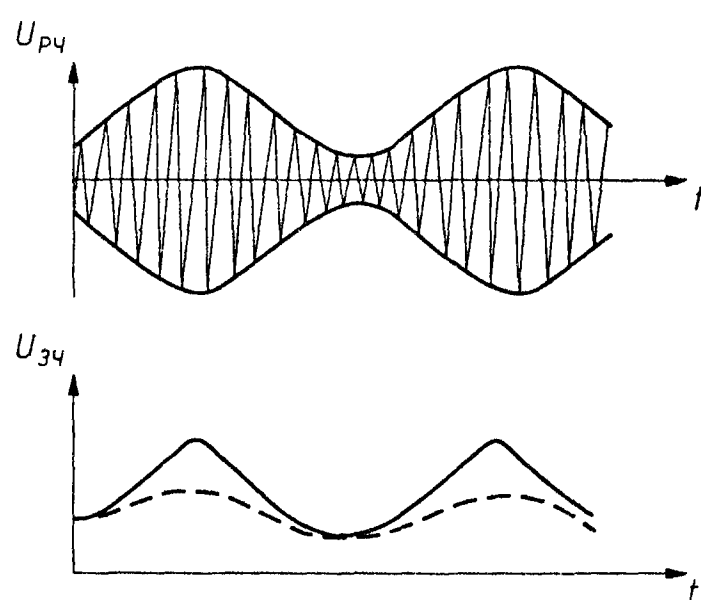


Рис 4.24 Квадратичные нелинейные искажения при детектировании

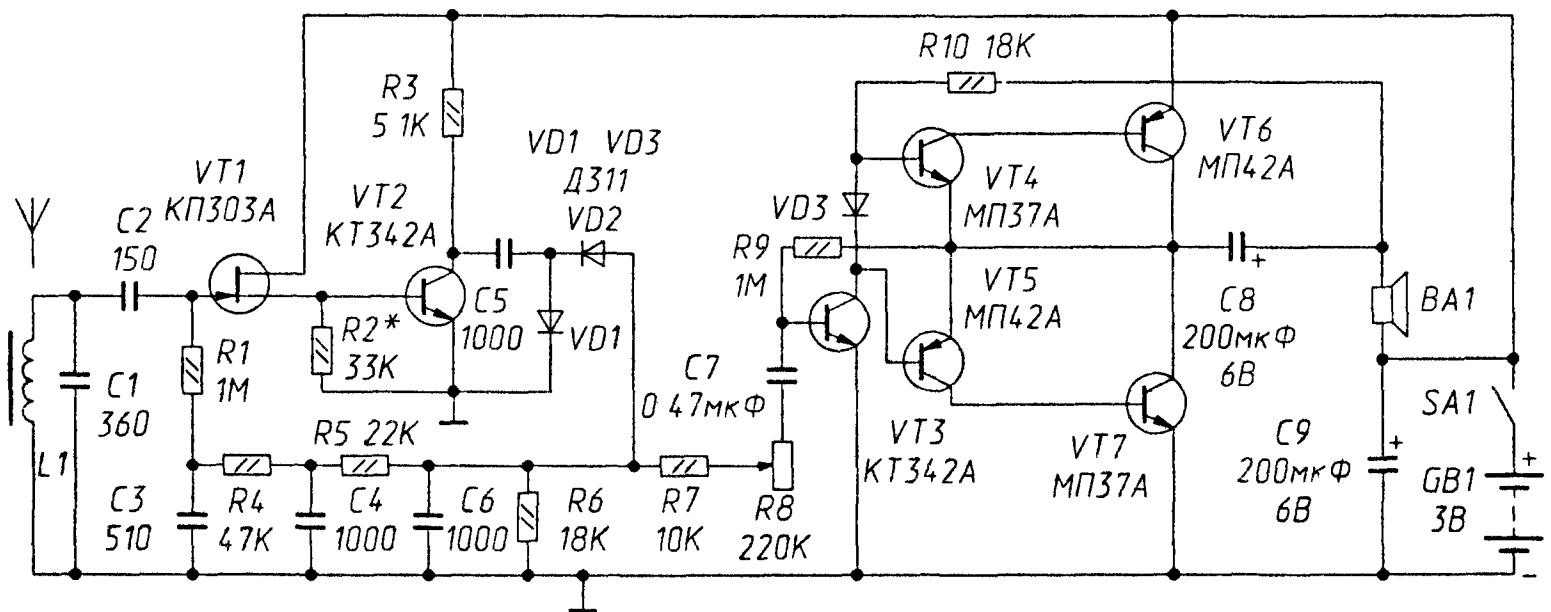


Рис 4.25 Принципиальная схема приемника-радиоточки

Изложенная идея реализована в простом приемнике-радиоточке с фиксированной настройкой на СВ радиостанцию «Маяк», работающую на частоте 549 кГц. Схема приемника изображена на рис. 4.25. Его контур образован катушкой L1 магнитной антенны WA1 и конденсатором C1. Выделенный контуром сигнал поступает на истоковый повторитель, собранный на полевом транзисторе VT1, а с него – на УРЧ, выполненный на транзисторе VT2. С нагрузки УРЧ (резистор R3) сигнал подается на детектор, собранный на диодах VD1 и VD2 по схеме с удвоением напряжения. Продетектированный сигнал ЗЧ поступает через регулятор громкости R8 на УЗЧ.

Отрицательное напряжение АРУ с нагрузки детектора R6 поступает на затвор полевого транзистора, закрывая его тем сильнее, чем больше амплитуда сигнала РЧ. Благодаря непосредственной связи транзисторов УРЧ при этом закрывается и транзистор VT2, что увеличивает глубину регулирования усиления. В цепи АРУ установлен фильтр, составленный из цепочек R5C4 и R4C3. Он отфильтровывает РЧ пульсации и задерживает верхние частоты звукового спектра выше 6 кГц.

УЗЧ приемника содержит предварительный каскад усиления на транзисторе VT3 и окончательный двухтактный каскад, собранный на транзисторах VT4 – VT7 разной структуры. Поскольку напряжение питания невелико, то в каждом плече для получения нужного усиления по току работают составные транзисторы VT4VT6 и VT5VT7. Даже при использовании транзисторов с небольшим коэффициентом передачи тока (порядка 30–40) коэффициент передачи тока составного транзистора получается более 1000, что и обеспечивает хорошую «раскачку» выходного каскада. А чтобы получить максимально

возможную амплитуду выходного сигнала, вторые транзисторы каждого плеча включены по схеме с общим эмиттером.

Для уменьшения искажений типа «ступенька», особенно неприятных при малых уровнях сигнала ЗЧ, в выходном каскаде использованы германиевые транзисторы, имеющие меньшее напряжение открывания. Кроме того, на их базы подано небольшое начальное напряжение смещения, получающееся при протекании коллекторного тока транзистора VT3 через открытый диод VD3. Чтобы повысить экономичность усилителя, а именно уменьшить ток покоя (ток, потребляемый при отсутствии сигнала), выбран резистор нагрузки предварительного каскада R10 довольно высокого сопротивления и подключен к выходу усилителя. Этим создается «вольтодобавка» к напряжению питания предварительного каскада, позволяющая полнее «раскачать» выходной каскад при положительной полуволне выходного сигнала, когда транзистор VT3 закрывается, а ток базы транзистора VT4 определяется только током через резистор R10.

Режим усилителя по постоянному току стабилизирован резистором смещения R9, подключенным к «средней» точке выходного каскада. Резистор создает отрицательную обратную связь (ООС) не только по постоянному току, но и по сигналу звуковой частоты, что также способствует снижению искажений. Регулятор громкости, переменный резистор R8, включен несколько необычно. При уменьшении громкости, то есть при увеличении его сопротивления, он оказывается соединенным последовательно со входным сопротивлением предварительного каскада. В результате транзистор управляется не напряжением, но током входного сигнала ЗЧ, а токовое управление повышает линейность усилителя. При этом возрастает и глубина ООС через резистор R9, что также снижает искажения. В частности, искажения типа «ступенька», особенно проявляющиеся при малой громкости, становятся вообще незаметными.

Единственный недостаток такого включения регулятора громкости состоит в том, что громкость уменьшается не до нуля. Но, во-первых, этот недостаток становится достоинством, когда слушатель убавляет громкость и забывает выключить приемник, напрасно разряжая батарею, во-вторых, остаточную громкость можно сделать сколь угодно малой, увеличив номинал переменного резистора.

В результате всех описанных мер приемник обеспечивает качество звучания, близкое к высокому. Ток покоя при напряжении питания 3 В не превосходит 3 мА, а работоспособность приемника

сохраняется при изменении напряжения питания от 1,5 до 4,5 В. Практически качество звучания приемника определяется используемым громкоговорителем. В стационарных условиях желательно подключать сравнительно мощный громкоговоритель с корпусом достаточного объема. Здесь годятся все рекомендации, данные в главе о громкоговорящих детекторных приемниках.

Сопротивление громкоговорителя может быть от 4 до 16 Ом, но желательно выбрать его равным 8 Ом. Еще раз обращаем внимание на отдачу: если другие параметры динамических головок поддерживаются достаточно точно, то отдача однотипных головок, особенно старых, бывших в употреблении, может отличаться в несколько раз. Поскольку выходная мощность этого, очень экономичного, приемника невелика, по возможности следует выбирать головки с максимальной отдачей. Автор в свое время смонтировал приемник вместе с двумя элементами питания типа 343 в корпусе трансляционного громкоговорителя, и это решение нельзя считать наилучшим. Когда потом к приемнику подключалась АС с двумя головками 4ГД-4 в корпусе старого телевизора, он зазвучал намного солиднее и приятнее.

Несколько слов о деталях: транзистор КП303А можно заменить на КП303Б или КП303И. Другие транзисторы этой серии имеют большее напряжение отсечки, и с ними транзистор VT2 будет слишком сильно открываться. На месте VT2 и VT3 могут работать транзисторы серий КТ312 и КТ315 с любыми буквенными индексами, но желательно с коэффициентом передачи тока более 100. Диоды могут быть любые высокочастотные германиевые, например серий Д2, Д9, Д18, но желательно с минимальным прямым сопротивлением (его можно измерить омметром). Для окончного каскада УЗЧ подойдут любые маломощные германиевые транзисторы соответствующей структуры, например МП37, МП38 (VT4, VT7), МП39 – МП42 (VT5, VT6). Желательно, чтобы транзисторы каждой пары, например VT4, VT5, имели близкие коэффициенты передачи тока. Желательно также, чтобы этот коэффициент был не менее 50.

Магнитную антенну для повышения ее эффективности лучше выполнить на ферритовом стержне больших размеров. Лучшим из распространенных будет стержень от приемников «Соната» или «Ленинград». Он изготовлен из феррита 400НН, диаметр стержня 10 мм, длина 200 мм. Подойдут и стержни из феррита с магнитной проницаемостью 600 или 1000, длиной 160 и диаметром 8 мм, но с последним добротность контура получается несколько меньше.

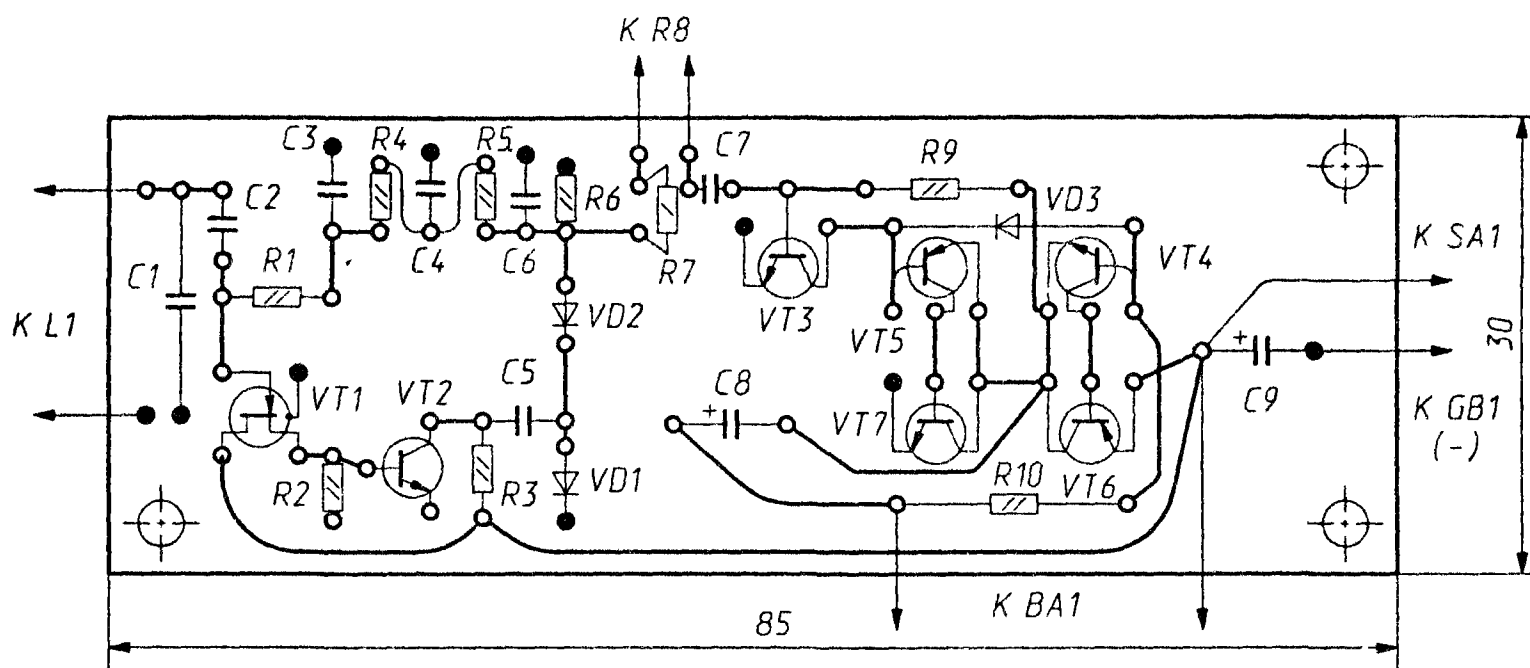


Рис. 4.26. Плата приемника радиоточки

Катушка содержит 50 витков провода ЛЭШО 21×0,07, намотанного виток к витку на бумажной пропарафинированной гильзе. Гильза-каркас должна перемещаться по стержню с небольшим трением. Литцендрат (несколько худшего качества) можно изготовить из провода ПЭВ или ПЭЛ 0,1, скрутив 7–11 отрезков нужной длины.

Подойдут резисторы МЛТ-0,125, переменный резистор любого типа, но спаренный с выключателем питания. Электролитические конденсаторы могут быть К50-6, остальные – типов КЛС и КМ. Под эти детали и рассчитана плата приемника (рис. 4.26), изготовленная из одностороннего фольгированного стеклотекстолита. Фольга на ней не вырезается и не протравливается – вся ее площадь служит общим проводом и экраном, улучшая стабильность работы приемника. Выводы деталей, соединяемые с общим проводом, пропускаются, как обычно, в отверстия платы и припаиваются к фольге. Другие же выводы пропускаются в раззенкованные со стороны фольги отверстия, а соединения между ними делаются тонким одножильным проводом в изоляции и также пропаиваются. Таким способом приемник изготовить легче и быстрее. После налаживания приемника монтаж можно покрыть клеем или лаком, чтобы изолированные проводники оказались прикрепленными к плате, но можно этого и не делать, жесткость монтажа оказывается достаточной.

Налаживание приемника начинают с УЗЧ. Подбором резистора R9 на коллекторах транзисторов VT6, VT7 устанавливают напряжение, равное половине напряжения питания. Ток покоя измеряют, отключив провод питания УРЧ и присоединив миллиамперметр параллельно разомкнутым контактам выключателя SA1. Подбором диода VD3 ток покоя можно установить порядка 2–2,5 мА. Выпаивать диод, не сняв напряжения питания, нельзя, поскольку ток

возрастет до опасной для транзисторов и миллиамперметра величины. Лучше, оставив один диод, параллельно ему подключать другие. Возможно, что в окончательном варианте так и останутся два-три диода.

Подключив питание УРЧ, подбирают резистор  $R_2$  таким, чтобы коллекторное напряжение транзистора  $VT_2$  равнялось примерно половине напряжения питания. Передвигая катушку магнитной антенны по стержню, настраивают приемник на частоту радиостанции, а поворачивая антенну в горизонтальной плоскости, ориентируют ее по максимальной громкости приема. Если надо настроить приемник на другую частоту, подбирают емкость конденсатора  $C_1$  и число витков катушки. Временно вместо конденсатора  $C_1$  можно подключить КПЕ.

Последний этап состоит в подборе конденсаторов фильтра цепи АРУ  $C_3$  и  $C_4$  до получения максимально плоской и широкой АЧХ всего приемника (оценивают на слух). В ряде случаев, особенно при недостаточной добротности контура магнитной антенны, конденсатор  $C_3$  можно не устанавливать. А если параллельно конденсатору  $C_4$  подключить другой, емкостью несколько микрофард, система АРУ превращается в обычную, без коррекции. При этом на слух оценивается выигрыш от коррекции в расширении полосы и качестве звучания приемника. Разумеется, описанные способы улучшения характеристик приемника годятся и для более сложных конструкций.

### 4.3.2. Двухконтурный преселектор

Приемники прямого усиления ДСВ диапазонов просты, дают хорошее качество приема, мало шумят и, в отличие от супергетеродинов, в них не возникают интерференционные свисты и ложные настройки. Чаще всего приемник собирают по стандартной структурной схеме (рис. 4.27), относящейся и к предыдущей конструкции. Селективность обеспечивает единственный настраиваемый контур

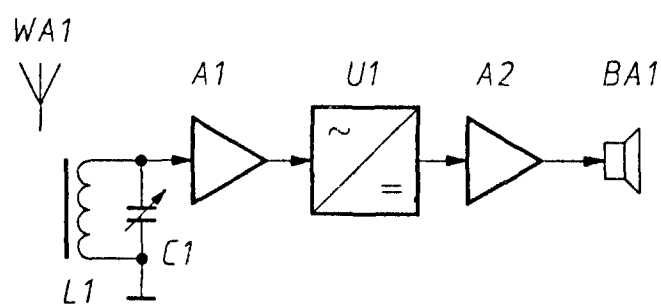


Рис 4.27 Стандартная структурная схема приемников прямого усиления

$L_1C_1$  магнитной антенны  $WA_1$ , далее следуют апериодический УРЧ  $A_1$ , детектор  $U_1$  и УЗЧ  $A_2$ , нагруженный на телефоны или громкоговоритель  $BA_1$ .

Схема настолько стандартна, что в 20–30-е гг. широко использовались сокращенные обозначения структуры приемников, например 2-V-3, или 0-K-2. Цифры обозначали число каскадов усиления,

первая – РЧ, вторая – ЗЧ. Буква в середине обозначала тип детектора: V – ламповый, К – кристаллический (транзисторов тогда не было). Первый из приемников содержал двухкаскадный УРЧ, ламповый детектор и трехкаскадный УЗЧ – солидная конструкция, содержащая 5–6 ламп! Второй приемник нашего примера – детекторный, с кристаллическим диодом и двухламповым УЗЧ. Кстати, ничто не мешает оснастить любой детекторный приемник любым УЗЧ из описанных в этой книге.

Недостаток приемников, построенных по схеме рис. 4.27, состоит в неподходящей форме резонансной кривой одиночного контура. Получается либо достаточная полоса пропускания при низкой селективности, либо очень узкая полоса при высокой. Мы уже говорили об этом, но разберем вопрос подробнее. АЧХ одиночного контура описывается кривой:  $S = 1 / (1 + x)^{1/2}$ , где  $x$  – обобщенная расстройка, или отношение расстройки к полуполосе пропускания:  $x = \Delta f / \Delta f_0$ ,  $2\Delta f_0 = f_0 / Q$ , где  $f_0$  – резонансная частота,  $Q$  – добротность. Обобщенная кривая селективности одиночного контура показана штриховой линией на рис. 4.28.

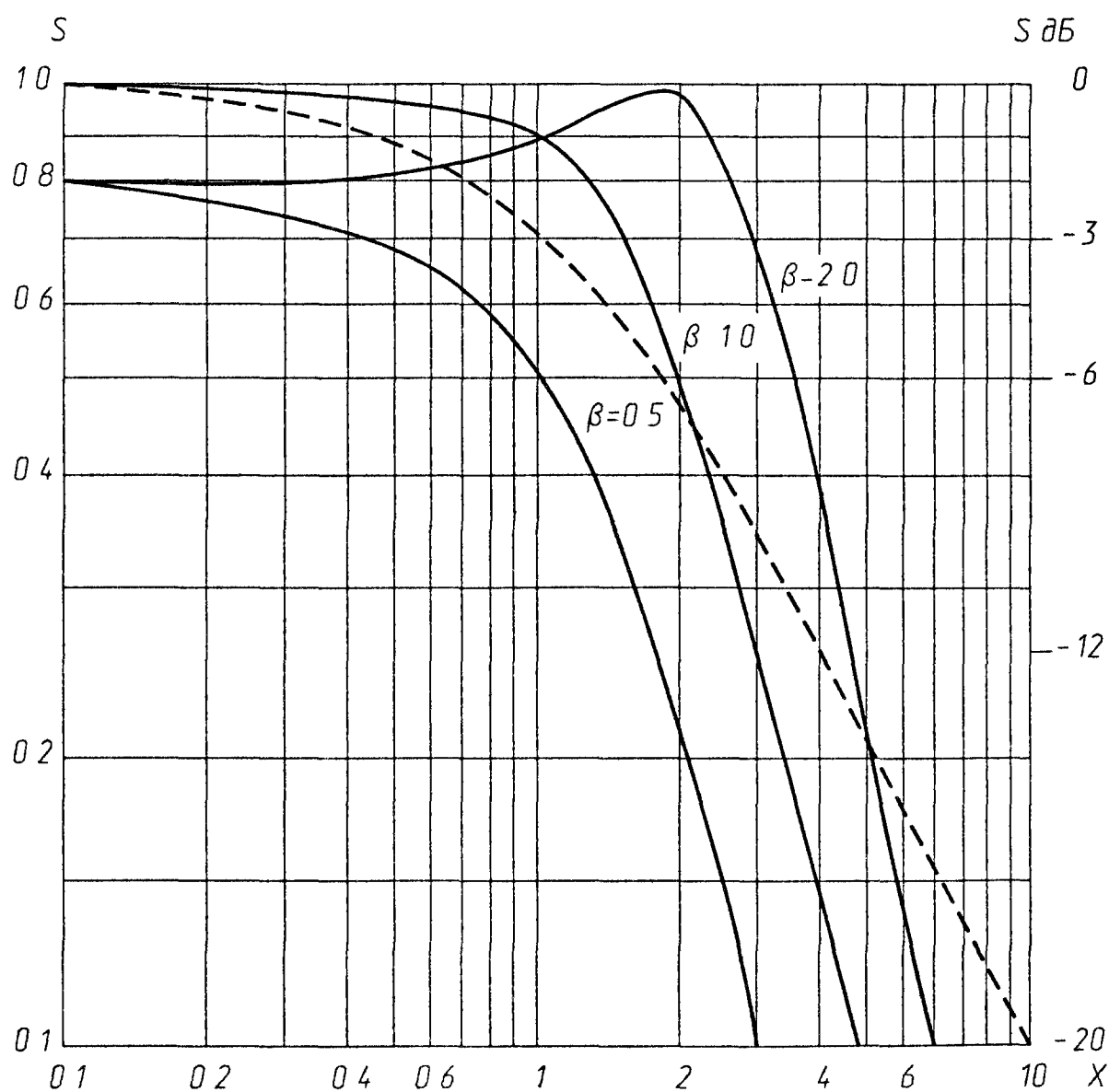


Рис 4 28 Обобщенные кривые селективности

Наклон этой кривой при больших расстройках невелик и составляет всего 6 дБ на октаву (двукратное увеличение расстройки). Так, например, при расстройке, равной двум полуполосам пропускания ( $x = 2$ ,  $\Delta f = 10\text{--}20$  кГц) селективность получается всего 7 дБ, а при  $x = 10$  ( $\Delta f = 50\text{--}100$  кГц) – едва достигает 20 дБ. Экспериментально установлено, что одноконтурные приемники по схеме на рис. 4.27 неплохо работают там, где можно принять всего несколько радиостанций, достаточно разнесенных по частоте и создающих примерно одинаковую напряженность поля в месте приема. Если же частоты станций близки, а сигналы их сильно различаются по уровню, то отстроиться от сильного сигнала практически невозможно.

Улучшить селективность можно, установив на входе приемника вместо одиночного контура двух-трехконтурный полосовой фильтр [30]. Изготовить и настроить такой фильтр не так уж и сложно, ведь перестраиваются одинаковые контуры, поэтому сопряжение настроек, как только оно достигнуто, получается идеальным во всем диапазоне, а не в «трех точках», как у супергетеродина. Настройка вполне осуществима без приборов, на слух, только по принимаемым сигналам. АЧХ двухконтурных фильтров показаны на рис. 4.28 сплошными линиями для трех случаев: критической связи ( $\beta = 1,0$ ), связи вдвое меньше критической ( $\beta = 0,5$ ) и вдвое больше ( $\beta = 2,0$ ). Видно, что вершина АЧХ более плоская, а скаты кривой гораздо круче (12 дБ на октаву). При коэффициенте связи  $\beta$  выше единицы вершина АЧХ становится двугорбой, а полоса пропускания значительно расширяется.

В одном из давних номеров журналов «Радио» уже описывался преселектор из двух магнитных антенн, настраиваемый двухсекционным КПЕ. Ссылку не делаем, так как в статье содержалось не совсем верное утверждение, что АЧХ преселектора соответствует резонансной кривой двухконтурного фильтра. Действительно, два связанных контура имеют более широкую полосу пропускания, чем один, а при связи больше критической АЧХ двугорбая. Все так, но только при небольших расстройках двух связанных магнитных антенн относительно частоты сигнала. Тщательная экспериментальная проверка показала, что при больших расстройках селективность этой системы не лучше, чем  $1/x$ , то есть не лучше, чем у одиночного контура. Это и понятно, ведь одна из магнитных антенн непосредственно связана со входом УРЧ.

Чтобы оба контура преселектора фильтровали сигнал, только один из них – контур магнитной антенны – должен принимать сигнал,

а другой надо использовать только для фильтрации, включив его между антенной и входом УРЧ. Эти соображения привели к созданию первой конструкции, эскиз которой показан на рис. 4.29. Катушка  $L1$  первого контура была намотана на длинном стержне магнитной антенны, а катушка  $L2$  второго контура – на коротком, плохо принимающем сигнал, но индуктивно связанным с первым.

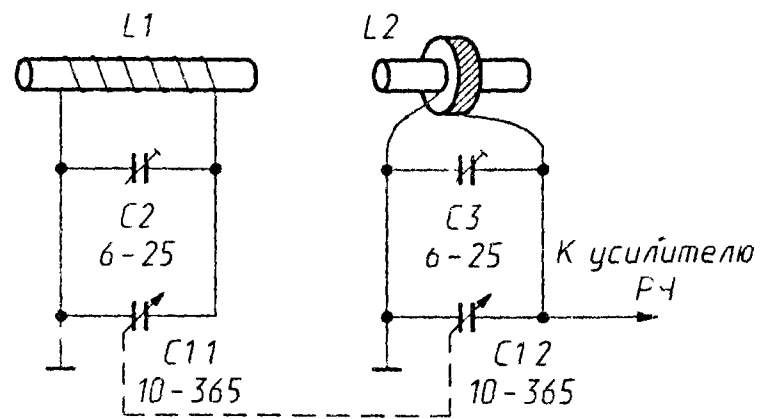


Рис 4.29. Двухконтурный фильтр с индуктивной связью

Такой преселектор показал хорошие результаты, позволяя в диапазоне СВ принимать близкие по частоте станции 846, 873 и 918 кГц без значительных взаимных помех. Выяснились и его недостатки. Во-первых, длинные провода от катушки  $L2$  к КПЕ и входу УРЧ не позволили полностью устранить «антенный эффект» во втором контуре и, во-вторых, коэффициент индуктивной связи между катушками сохранялся по диапазону примерно постоянным, но при этом полоса пропускания всего фильтра была слишком узка на низкочастотном краю диапазона и слишком широка на высокочастотном.

Второй недостаток, как более существенный, устраняется применением комбинированной связи контуров, разработанной еще в 30-х гг. для ламповых радиоприемников. Эскиз двухконтурного перестраиваемого полосового фильтра с комбинированной индуктивно-емкостной связью при параллельном расположении катушек показан на рис. 4.30а, а при соосном – на рис. 4.30б. Эскизное изображение

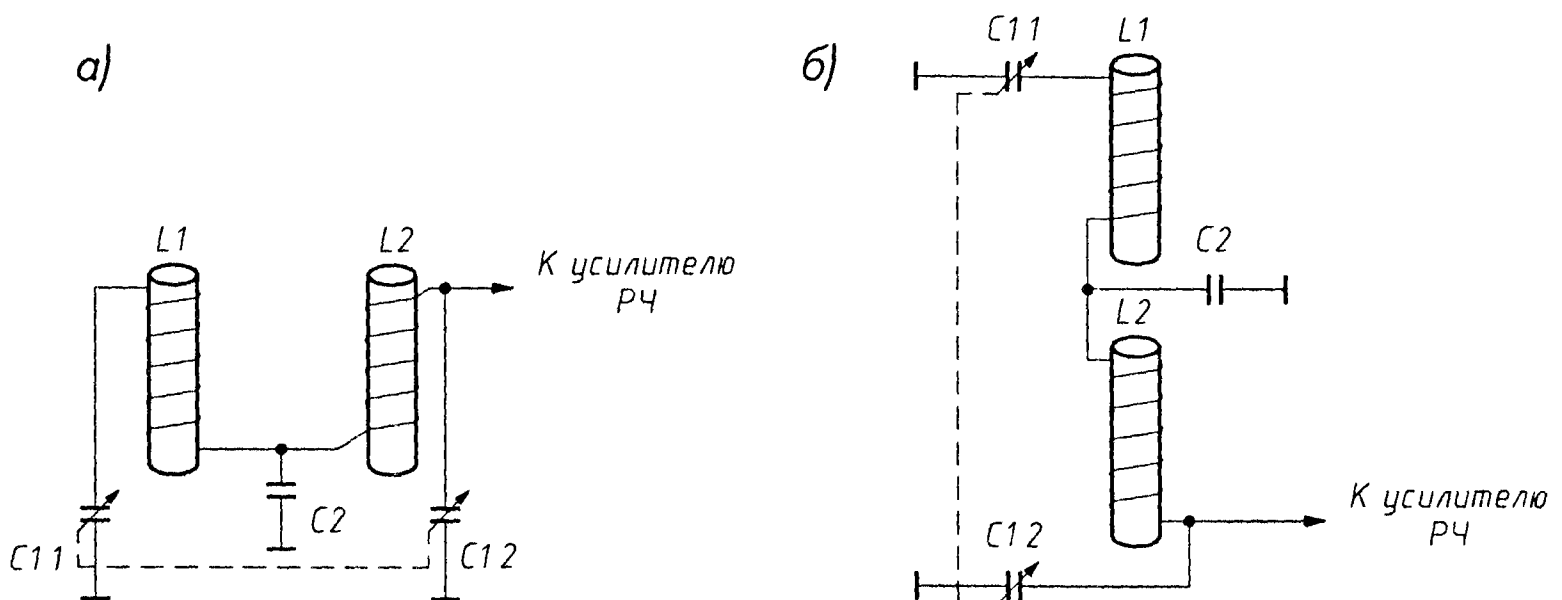


Рис. 4.30. Двухконтурный фильтр с индуктивно-емкостной связью: а – при параллельном расположении катушек, б – при соосном расположении катушек

катушек позволяет показать правильное включение выводов и направление намотки, поскольку индуктивная и емкостная связь должны действовать согласно. Переполюсовка выводов или изменение направления намотки одной из катушек приводят к взаимной компенсации индуктивной и емкостной связи и нарушению работы фильтра.

Смысл применения комбинированной связи в следующем: одна только индуктивная связь примерно постоянна по диапазону и дает расширение полосы при увеличении частоты. Одна только емкостная связь через общий для двух контуров конденсатор  $C2$  велика на низкочастотном краю диапазона, когда велики контурные емкости  $C1.1$  и  $C1.2$ , но быстро уменьшается с частотой, так что полоса пропускания даже сужается к высокочастотному краю диапазона. Комбинируя обе связи в необходимой пропорции, можно получить постоянную полосу по всему диапазону. Катушка  $L1$  в фильтре с индуктивно-емкостной связью служит магнитной антенной, а катушку  $L2$  следует выполнить так же, как и в первой конструкции (рис. 4.29).

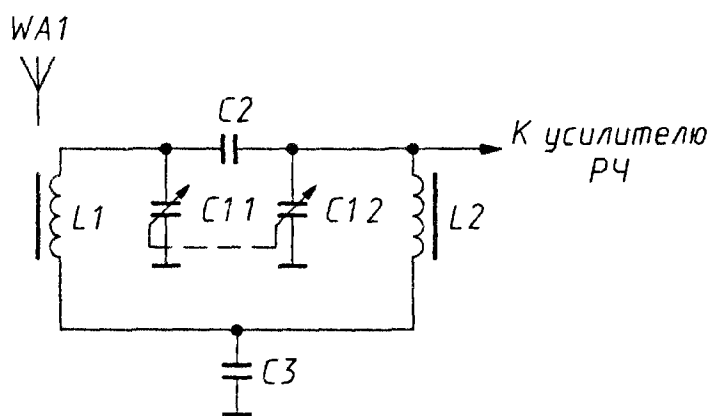


Рис 4 31 Схема двухконтурного преселектора с двойной емкостной связью

Практически удобнее использовать двойную емкостную связь – это позволяет полностью устранить антенный эффект катушки  $L2$  путем ее экранировки или намотки на тороидальном сердечнике, не чувствительном к внешним магнитным полям. Схема полосового фильтра с двойной емкостной связью показана на рис. 4.31. Полярность включения катушек в ней значения не имеет.

Параллельная емкостная связь через конденсатор  $C2$  возрастает с повышением частоты, а последовательная, через конденсатор  $C3$ , уменьшается. Подбором емкостей можно получить плавное ослабление связи к высокочастотному краю и постоянство полосы пропускания по всему диапазону.

Именно так и было сделано во второй конструкции. Чтобы полностью избавиться от антенного эффекта во втором контуре, катушка  $L2$  была намотана на ферритовом кольце и размещена в непосредственной близости от блока КПЕ и входа УРЧ. С равным успехом можно намотать катушку на броневом сердечнике и поместить в экран. При намотке на обычном каркасе вряд ли удастся

получить необходимую добротность в диапазоне СВ – на ДВ она достаточна.

Как показали расчеты, конденсатор последовательной связи  $C3$  должен иметь довольно значительную емкость, а вот конденсатор параллельной связи  $C2$  – очень малую, менее 1 пФ. Столь малое значение емкости позволяет выполнить конденсатор из двух отрезков круглого проводника диаметром 2 мм, припаянным непосредственно к выводам секций блока КПЕ, как показано на рис. 4.32. Емкость можно регулировать, подгибая проводники.

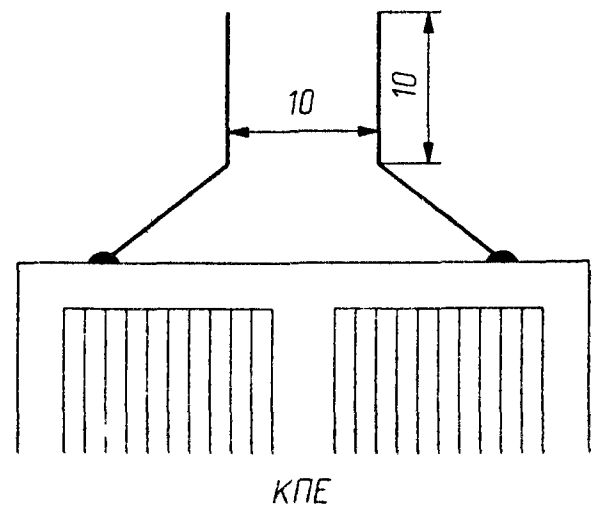


Рис 4 32 Конструкция конденсатора связи  $C2$

Принципиальная схема радиочастотной части приемника прямого усиления с двухконтурной входной цепью показана на рис. 4.33. Принятый магнитной антенной и отфильтрованный преселектором сигнал поступает на двухкаскадный УРЧ, выполненный на полевом ( $VT1$ ) и высокочастотном биполярном ( $VT2$ ) транзисторах. Первый каскад собран по схеме истокового повторителя, что исключает шунтирование преселектора входным сопротивлением УРЧ. Второй каскад – обычный апериодический усилитель напряжения. Усиленный сигнал поступает на детектор, собранный по схеме удвоения напряжения на диодах  $VD1, VD2$ . Для повышения чувствительности и линейности детектирования из эмиттерной цепи транзистора  $VT2$  через резистор  $R6$  на диоды подано небольшое открывающее напряжение смещения.

УРЧ охвачен цепью АРУ. Выпрямленное детектором напряжение отрицательной полярности через резистор  $R3$  подается на затвор

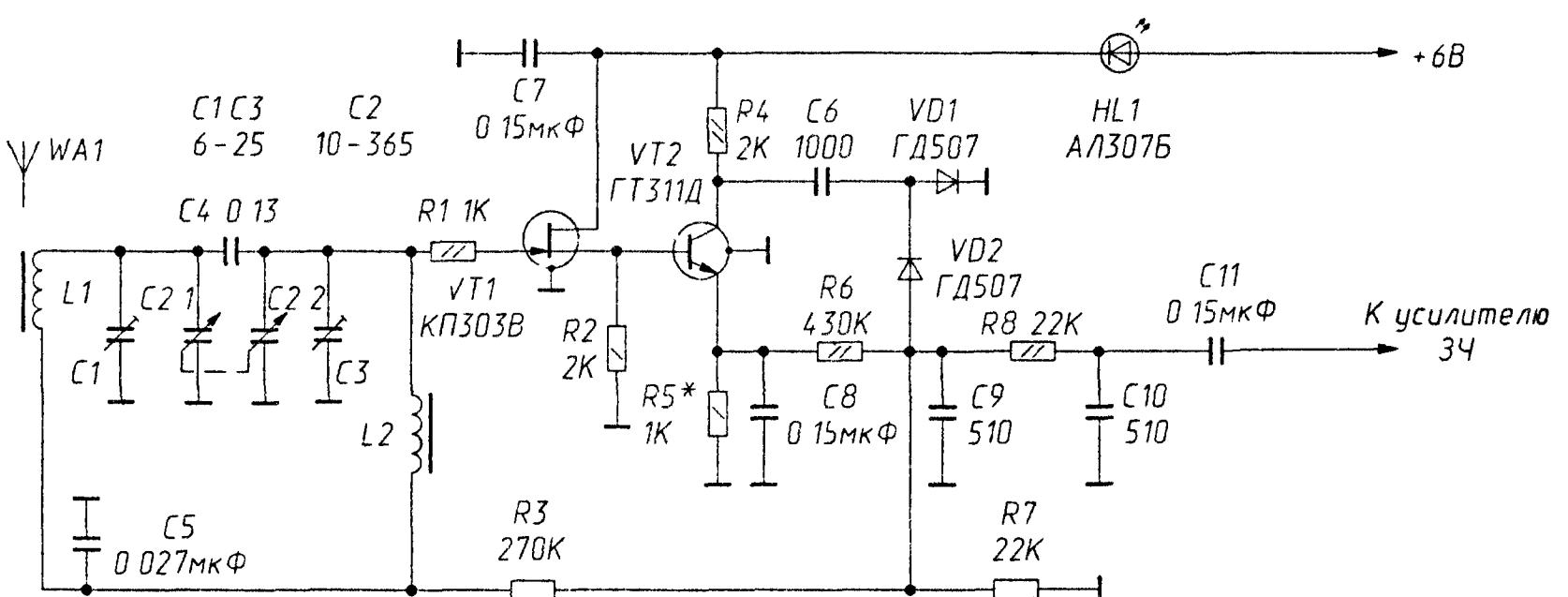


Рис 4 33 Принципиальная схема радиочастотной части приемника

транзистора VT1, закрывая его. Благодаря непосредственной связи между каскадами одновременно закрывается и транзистор VT2, что увеличивает эффективность действия АРУ. Конденсатор связи полосового фильтра С5, кроме своей основной, выполняет и другую функцию – он фильтрует напряжение АРУ, пропуская к затвору транзистора VT1 лишь постоянную составляющую продетектированного напряжения и сглаживая колебания ЗЧ. Индикатором точной настройки служит светодиод HL1, включенный в цепь питания УРЧ (он же индикатор включения приемника). При настройке на частоту радиостанции из-за действия системы АРУ ток обоих транзисторов уменьшается, снижая и яркость свечения светодиода.

Катушка первого контура преселектора L1 намотана на стержне магнитной антенны из феррита 400НН диаметром 10 и длиной 200 мм (от приемника «Ленинград-010», например). Она содержит 45 витков провода ЛЭШО 21×0,07. Катушка второго контура L2 намотана на кольце К16×8×4 из феррита 100НН и содержит 94 витка такого же провода. Преселектор настраивают блоком КПЕ от приемника «ВЭФ-Спидола», имеющим встроенный верньер с небольшим замедлением, что заметно облегчает настройку, особенно на высокочастотном краю диапазона. Конденсатор связи С4 выполнен по приведенному на рис. 4.32 эскизу.

Для магнитной антенны подойдут и другие стержни круглого или прямоугольного сечения из феррита с магнитной проницаемостью не более 600, поскольку с ростом проницаемости растут и высокочастотные потери. Желательно, чтобы длина стержня была не менее 180 мм, иначе уменьшается чувствительность приемника по напряженности поля. Короткие стержни можно склеивать до получения необходимой длины. Катушку L2 следует намотать на любом кольце из феррита, магнетита, альсифера или карбонильного железа (это все материалы высокочастотных сердечников) с магнитной проницаемостью не более 200. Рекомендуем использовать как кольцо половинку броневое сердечника СБ-2 или СБ-3, щечку от него или центральную часть (лишние части отпиливают, обламывают или стачивают). Подойдут высокочастотные сердечники от старых контурных катушек с отверстием в середине. Можно также намотать катушку на броневом сердечнике СБ-2 или СБ-3 и поместить ее в экран, в нескольких точках соединенный с общим проводом платы. Во всех описанных случаях число витков подбирают экспериментально, изготовив пробный контур из катушки и одной секции КПЕ и добившись, чтобы он перекрывал частоты СВ диапазона.

Транзистор КП303В заменяется на транзистор той же серии с другим буквенным индексом или на КП302, КП305 и КП307, но в этом случае, чтобы установить режим УРЧ по постоянному току, придется подобрать сопротивление резистора R5, а возможно, и R2. На месте VT2 будет работать любой высокочастотный транзистор структуры п-р-п, например КТ368, КТ306, КТ316. В крайнем случае годится и КТ315, но усиление УРЧ окажется меньше. Детекторные диоды VD1, VD2 – любые германиевые высокочастотные, например Д18, Д311. Кремниевые диоды, например, типов КД503, КД522, можно использовать в том случае, если напряжение на эмиттере транзистора VT2 составит не менее 1 В. Тогда сопротивление резистора R6 надо существенно уменьшить, а сопротивление резистора R7 увеличить. Желательно также выбрать полевой транзистор VT1 с небольшим напряжением отсечки (КП303А, Б, И). Эти меры направлены на то, чтобы диоды работали при прямом напряжении смещения около 0,5 В на каждом из них, на участке вольтамперной характеристики с максимальной кривизной.

Для получения гарантированно высокой добротности контуров желательно использовать блок КПЕ с воздушным диэлектриком. Подстроечные конденсаторы С1 и С3 – керамические КПК или КПМ (приемлема и емкость 8–30 пФ), конденсатор С5 также должен быть хорошего качества с допуском не более 10–20% типа КСО (слюдяной опрессованный), пленочный, металлопленочный или даже металлобумажный, но не малогабаритный керамический, емкость которого может изменяться более чем вдвое при изменениях температуры и прочих факторах. К остальным конденсаторам и резисторам таких строгих требований не предъявляется – они могут быть любых типов. Емкости С7 и С8 допустимо изменять в пределах 0,047–1 мкФ, С6 – 470–2700 пФ, С9 и С10 – 330–1500 пФ.

Конструктивное решение приемника может быть самым разным. Желательно соблюдать лишь следующие условия: магнитную антенну расположить на расстоянии не более 50–100 мм от блока КПЕ и закрепить ее диэлектрической (любая пластмасса, текстолит, гетинакс) арматурой. Плату приемника следует привинтить к блоку КПЕ, чтобы обеспечить хороший электрический контакт «земли» платы с корпусом блока. Площадь «земляных» проводников на плате должна быть максимальной. катушку L2 и транзистор VT1 нужно разместить вблизи секции С2.2 блока КПЕ, а цепи детектора, напротив, подальше от входных.

Приемник может работать с любым усилителем ЗЧ, имеющим чувствительность 50–100 мВ и входное сопротивление не ниже

20 кОм. Подойдет любой из УЗЧ, описанных в этой книге. Приемник может также использоваться как средневолновый тюнер и в составе бытового радиокомплекса со стационарным УЗЧ и акустическими системами.

Налаживание приемника начинают с подбора такого сопротивления резистора R5, чтобы напряжение на коллекторе транзистора VT2 было на 1–1,5 В больше, чем на эмиттере: например, коллекторное напряжение +3 В, эмиттерное +1,5 В. Если добиться этого трудно, как случается при большом напряжении отсечки транзистора VT1 и, следовательно, высоком потенциале его истока, в цепь последнего (между истоком и точкой соединения базы VT2 с резистором R2) следует включить дополнительный резистор в несколько сотен ом, зашунтированный конденсатором в несколько тысяч пикофард.

Далее приступают к наиболее трудоемкой операции – настройке полосового фильтра. Отсоединив верхний по схеме вывод магнитной антенны, к верхнему по схеме выводу катушки L2 подключают через разделительный конденсатор (емкостью не более 15 пФ) небольшую суррогатную проволочную антенну. Приемник при этом будет работать как одноконтурный. Затем, подбирая число витков катушки L2, устанавливают границы СВ диапазона. Это можно сделать и без приборов, зная частоты работающих в данной местности радиостанций. В Москве, например, нижнюю границу диапазона легко установить по радиостанции «Маяк» на частоте 549 кГц. Она должна приниматься при почти максимальной емкости КПЕ.

После этого, убрав проволочную антенну и восстановив соединение магнитной антенны, принимают радиостанцию на нижнем краю диапазона и передвиганием катушки L1 по ферритовому стержню настраивают первый контур фильтра в резонанс со вторым по максимальной громкости приема и минимальной яркости светодиода. Возможно, вначале расстройка контуров будет очень большой, и одна станция будет приниматься в двух положениях ручки настройки, соответствующих резонансу первого и второго контуров. Передвигая катушку по стержню и вращая ручку настройки, надо добиться совпадения резонансов, когда станция слышна лишь в одном положении ручки настройки и с максимальной громкостью. Таким образом достигают равенства индуктивностей катушек. Переместившись на высокочастотный край диапазона, добиваются совпадения настроек и там с помощью триммеров С1 и С3, а катушки уже не трогают. Теперь достигается и равенство емкостей. Если повторить эти операции несколько раз, получается очень точное

сопряжение контуров. Полосу пропускания можно отрегулировать на низкочастотном краю диапазона подбором емкости конденсатора С5, а на высокочастотном краю – подгибанием «обкладок» самодельного конденсатора С4.

Настроенный приемник днем в Москве принимал более десятка различных радиостанций средневолнового диапазона практически без взаимных помех и с неплохим качеством. А как быть, если возникнет желание присоединить к приемнику внешнюю антенну? Вот присоединять-то ее как раз и нельзя, даже через конденсатор емкостью в несколько пикофард, как это обычно делается в приемниках заводского производства. Даже такая малая емкость нарушит сопряжение контуров. Лучше использовать еще один ферритовый стержень, намотать на нем катушку и подсоединить ее между внешней антенной и заземлением. Еще лучше настроить эту дополнительную катушку в резонанс на частоты требуемого участка диапазона с помощью КПЕ или любым способом, описанным в главе о детекторных приемниках. Поднеся дополнительную катушку к магнитной антенне приемника даже на расстояние в полметра, вы заметите увеличение силы сигнала.

### **4.3.3. Средневолновый приемник прямого усиления с резонансным УРЧ**

Радиовещательные приемники строят в настоящее время по супергетеродинной схеме. Причин тому много, это и высокие чувствительность и селективность, мало изменяющиеся при перестройке по частоте и смене диапазонов, а главное – легкость сборки и повторяемость параметров при массовом производстве. Приемник же прямого усиления – штучное изделие ручной сборки, отличающееся такими особенностями, как малый уровень помех и шума, отсутствие интерференционных свистов и ложных настроек. На КВ супергетеродину трудно подыскать адекватную замену, но в диапазоне СВ добротность контуров может достигать 250 и более, тогда полоса контура получается даже меньше, чем нужно для приема АМ сигналов.

Контуры можно объединять в фильтры, как это сделано в предыдущей конструкции, но есть и другой путь повышения селективности приемника прямого усиления, довольно редко используемый. Это псевдосинхронный прием, при котором уровень несущей нужной станции поднимается в радиотракте узкополосным контуром высокой добротности. Амплитудный детектор приемника имеет свойство подавлять слабые сигналы в присутствии сильного полезного,

и величина этого подавления пропорциональна квадрату отношения амплитуд сигналов. Таким образом, подняв несущую всего в три раза, можно получить улучшение селективности до 20 дБ. Подъем несущей снижает и искажения при детектировании.

Но узкополосный контур, например, магнитной антенны, поднимающий несущую, неизбежно ослабит края боковых полос принимаемого сигнала, соответствующие верхним звуковым частотам (рис. 4.23). Этот недостаток можно устранить не только «размодуляцией» сигнала, как это делалось в приемнике-радиоточке, но и подъемом верхних частот в УЗЧ. Именно так и сделано в описываемом приемнике.

Приемник предназначен для приема местных и мощных дальних станций в диапазоне СВ. По чувствительности он мало уступает супергетеродинам III–IV классов, но дает заметно лучшее качество приема. Селективность его, измеренная обычным односигнальным методом, довольно низка (10–20 дБ при расстройке на 9 кГц), однако мешающий сигнал в соседнем канале, равный по амплитуде полезному, подавляется благодаря описанному эффекту на 26–46 дБ, что также сравнимо с селективностью упомянутых супергетеродинам. Выходная мощность встроенного УЗЧ не превосходит 0,5 Вт – с хорошей АС этого более чем достаточно для прослушивания передач в условиях жилой комнаты (главное внимание обращалось не на громкость, а на качество). Питается приемник от любого источника напряжением 9–12 В, потребляемый ток покоя не превосходит 10 мА. Принципиальная схема радиотракта показана на рис. 4.34.

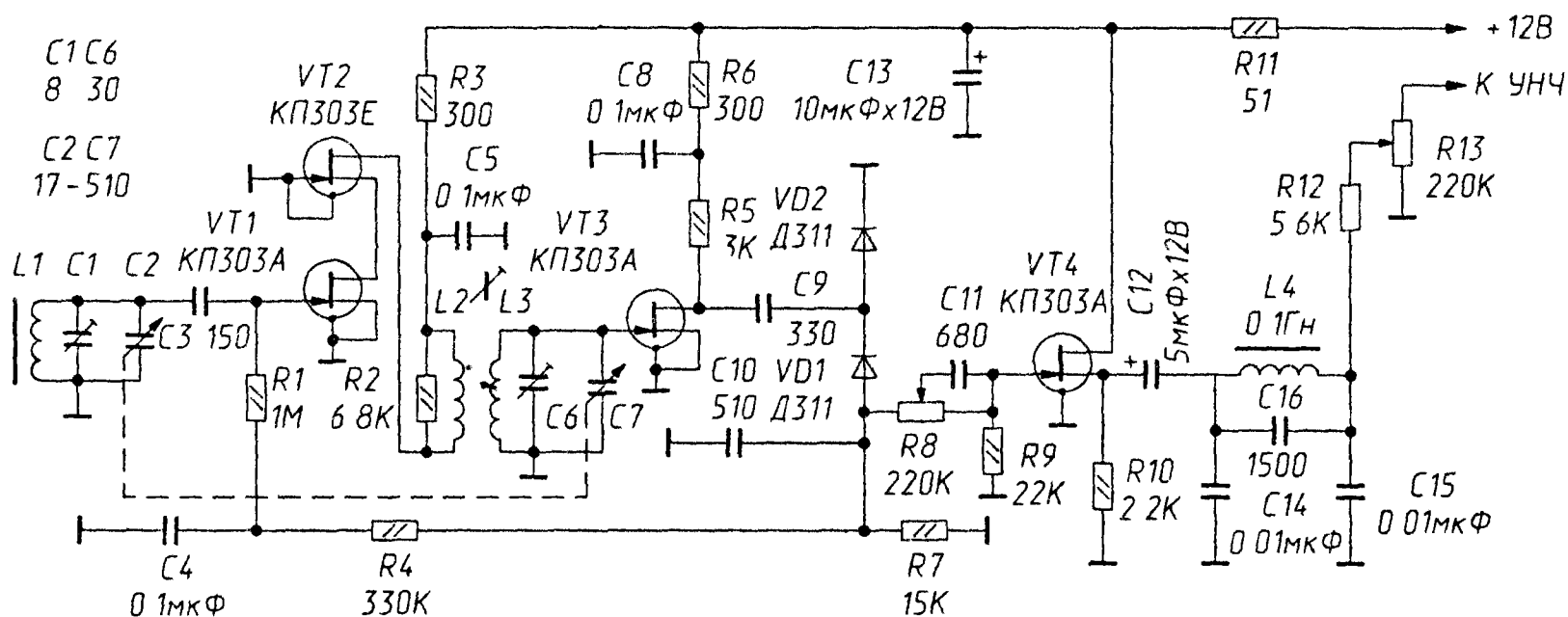


Рис 4 34 Принципиальная схема радиотракта приемника

Узкополосным контуром, подчеркивающим несущую принимаемого сигнала, служит контур магнитной антенны  $L1C1C2$  с добротностью не менее 250. Его полоса пропускания по уровню 0,7 при перестройке по диапазону составляет от 2 до 6 кГц. Выделенный контуром сигнал подается на УРЧ, выполненный по каскодной схеме на полевых транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$ . Усилитель РЧ имеет высокое входное сопротивление, мало шунтирующее контур магнитной антенны, следовательно, не снижающее его добротности.

Первый транзистор  $VT1$  выбран с малым напряжением отсечки, а второй  $VT2$  – со значительно большим, около 8 В. Это позволило соединить с общим проводом затвор второго транзистора и обойтись в усилителе минимумом деталей. Общий ток стоков транзисторов равен начальному току стока первого транзистора (0,5–2,5 мА), а его стоковое напряжение, устанавливающееся автоматически, равно напряжению смещения второго транзистора (2–4 В).

Нагрузкой каскодного усилителя служит второй перестраиваемый резонансный контур  $L3C6C7$ , связанный с выходом усилителя через катушку связи  $L2$ . Этот контур имеет значительно меньшую добротность (не более 100–120) и пропускает спектр АМ сигнала лишь с небольшим ослаблением на краях боковых полос. Введение в приемник еще одного контура оказалось полезным, потому что, как показала практика, при наличии в эфире сигнала мощной местной станции, даже далеко отстоящей по частоте от частоты настройки приемника, селективности одного контура может оказаться недостаточно. Кроме того, второй контур резко ограничивает полосу, а следовательно, и мощность шума, поступающего от УРЧ на детектор. Конструктивно же ввести второй контур легко, поскольку подавляющее большинство КПЕ выпускается в виде сдвоенных блоков.

Второй, апериодический, каскад УРЧ собран на полевом транзисторе  $VT3$ . Он нагружен на диодный детектор  $VD1$ ,  $VD2$ , собранный по схеме с удвоением напряжения. Сигнал АРУ отрицательной полярности с нагрузки детектора, резистора  $R7$ , через фильтрующую цепочку  $R4C4$  подается на затвор первого транзистора УРЧ  $VT1$  и запирает его при приеме мощных станций. При этом уменьшается общий ток каскодного усилителя и его усиление. Емкость блокировочного конденсатора  $C10$ , шунтирующего нагрузку детектора, выбрана очень небольшой. Это существенно, поскольку подавление помех от соседних станций в детекторе происходит только

при условии, что на нагрузке детектора не подавляется разностная частота биений между несущими полезной и мешающей станций.

Продетектированный звуковой сигнал через корректирующую цепочку R8R9C11 поступает на затвор истокового повторителя VT4. Перемещая движок резистора R8, можно изменять величину подъема верхних частот звукового спектра, ослабленных узкополосным контуром магнитной антенны. Этот переменный резистор успешно служит и регулятором тембра. Истоковый повторитель согласует высокоомный выход детектора с низким сопротивлением фильтра нижних частот (ФНЧ) L4C14C15C16. Последний имеет полосу пропускания около 7 кГц и полюс (то есть максимум) затухания на частоте 9 кГц, соответствующей частоте биений между несущими станций в соседних частотных каналах. ФНЧ фильтрует эту и другие частоты биений полезного сигнала с помехами и тем самым дополнительно повышает двухсигнальную селективность приемника.

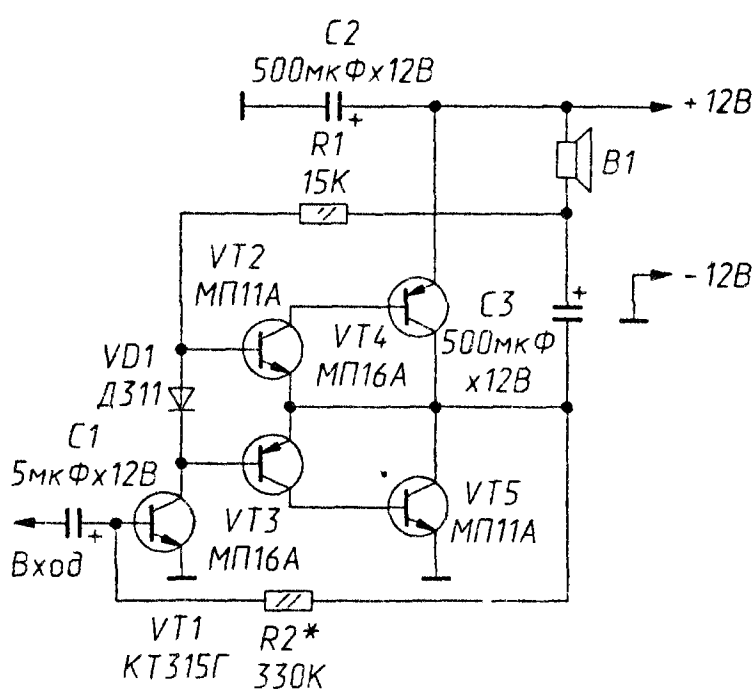


Рис. 4.35. УЗЧ приемника

На выходе ФНЧ через согласующий резистор R12 включен регулятор громкости R13. Резистор R12 нужен для того, чтобы выход ФНЧ не замыкался накоротко при самых малых уровнях громкости, а нагружался на согласованное сопротивление, тогда не искажается его АЧХ. УЗЧ приемника выполнен фактически по той же схеме (рис. 4.35), что и в приемнике-радиоточке (см. выше), лишь изменены некоторые номиналы деталей и повышено напряжение питания до 9–12 В. Соответственно, возросли ток покоя до нескольких миллиампер и выходная мощность до сотен милливатт. Для дальнейшего увеличения выходной мощности на место VT4, VT5 можно установить комплементарную пару более мощных транзисторов ГТ402 и ГТ404.

В приемнике желательно использовать транзисторы именно тех типов, которые указаны на принципиальной схеме. В крайнем случае транзисторы КП303А можно заменить на КП303Б или КП303И, а КП303Е – на КП303Г или КП303Д. Диоды VD1, VD2 – любые высокочастотные германиевые. Сдвоенный блок КПЕ с воздушным диэлектриком можно взять от любого старого радиовещательного приемника. Резисторы и конденсаторы могут быть любых типов,

при условии, что на нагрузке детектора не подавляется разностная частота биений между несущими полезной и мешающей станций.

подстроечные конденсаторы С1 и С6 – типа КПК-М. Магнитная антенна такая же, как и в предыдущем приемнике: стержень диаметром 10 и длиной 200 мм из феррита 400НН, катушка L1 содержит 50 витков ЛЭШО 21×0,07. Для катушек L2, L3 использована стандартная арматура – броневой сердечник с экраном от контуров ПЧ портативных приемников, например приемника «Сокол». Катушка связи L2 содержит 30, а контурная катушка L3 – 90 витков провода ПЭЛ 0,1. Расположение катушек на общем каркасе особого значения не имеет.

Катушка ФНЧ L4 индуктивностью 0,1 Гн намотана на кольце внешним диаметром 16 и высотой 5 мм (К16×8×5) из феррита 2000НМ. Она содержит 260 витков провода ПЭЛШО 0,1. Можно подобрать и готовую катушку, например одну из обмоток переходного или выходного трансформатора от УЗЧ старых портативных приемников. Подсоединив параллельно катушке конденсатор емкостью 5000 пФ и осциллограф, подают на получившийся контур сигнал от звукового генератора через резистор сопротивлением 200 кОм – 1 МОм. Определяя резонансную частоту контура по максимуму напряжения на нем, подбирают такую катушку, чтобы резонанс получился на частоте 6,5–7 кГц. Эта частота и будет частотой среза ФНЧ. Заодно полезно проверить и частоту полюса затухания 9 кГц, подключив параллельно катушке конденсатор С16 и уточнив его емкость (1000–1500 пФ). При отсутствии подходящей катушки ее можно заменить (с худшими результатами, разумеется) резистором сопротивлением 2,2 кОм. Конденсатор С16 в этом случае исключается.

Приемник (без УЗЧ) смонтирован на печатной плате, эскиз которой дан на рис. 4.36. Проводящих дорожек на ней нет, вся площадь фольги служит общим проводом. Выводы деталей пропускаются в отверстия и либо припаиваются к фольге, либо соединяются изолированными проводниками, проложенными прямо по поверхности фольги. В последнем случае отверстия надо раззенковать. Такой печатно-навесной монтаж значительно уменьшает паразитные связи между проводниками, а следовательно, и опасность самовозбуждения приемника. Печатная плата УЗЧ (обычная) показана на рис. 4.37.

Рекомендуемый вариант расположения плат приемника, органов управления и магнитной антенны в корпусе приемника показан на рис. 4.38. Видно, что антенна максимально удалена от контура УРЧ L2 – L3 и катушки фильтра L4. Корпусом может послужить подходящая пластмассовая коробка, а лучше его сделать самостоятельно, например, из дерева, и оформить так, как обычно оформляют тюнеры. Можно соорудить и металлический корпус, но без задней стенки,

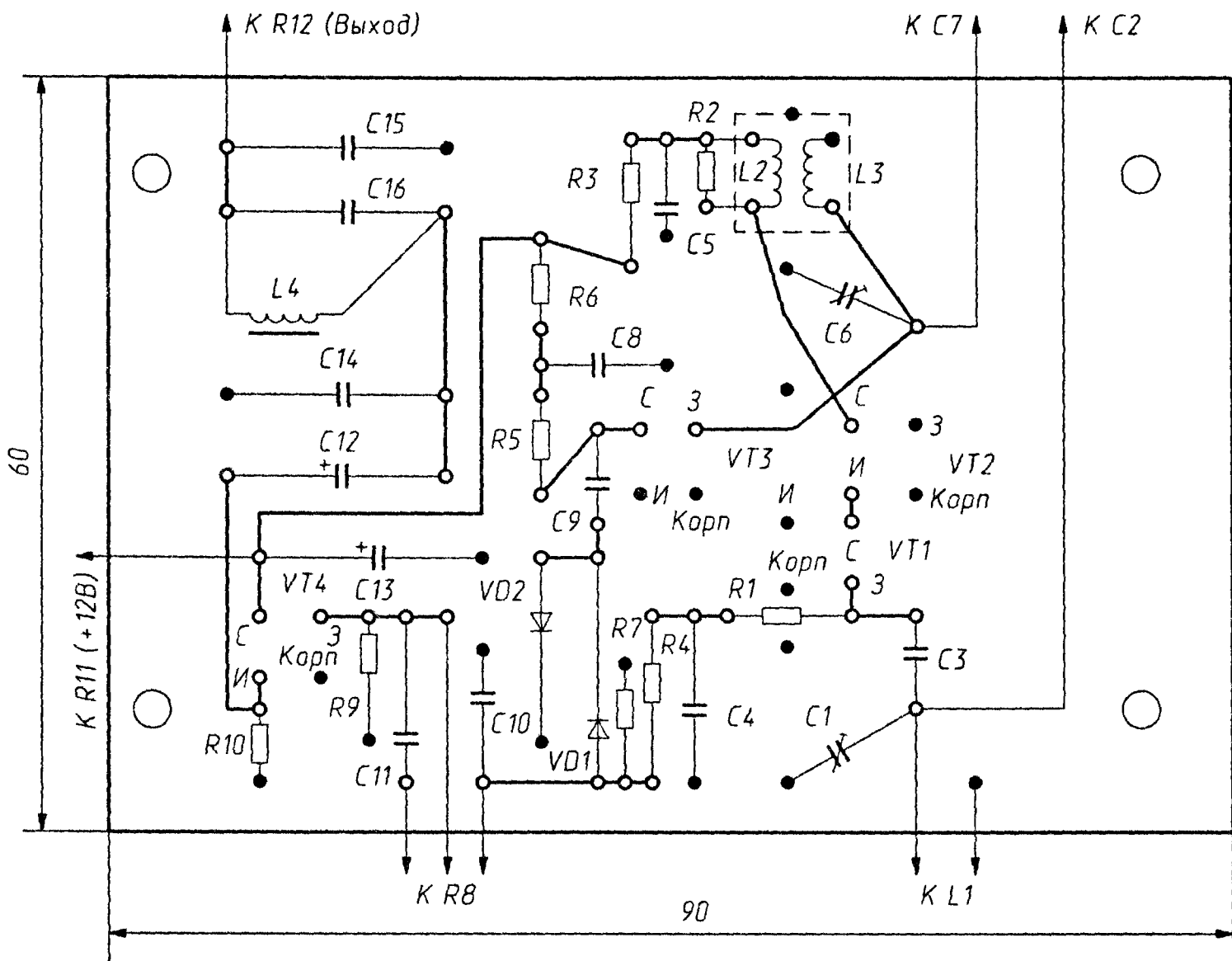


Рис 4.36 Печатная плата радиотракта

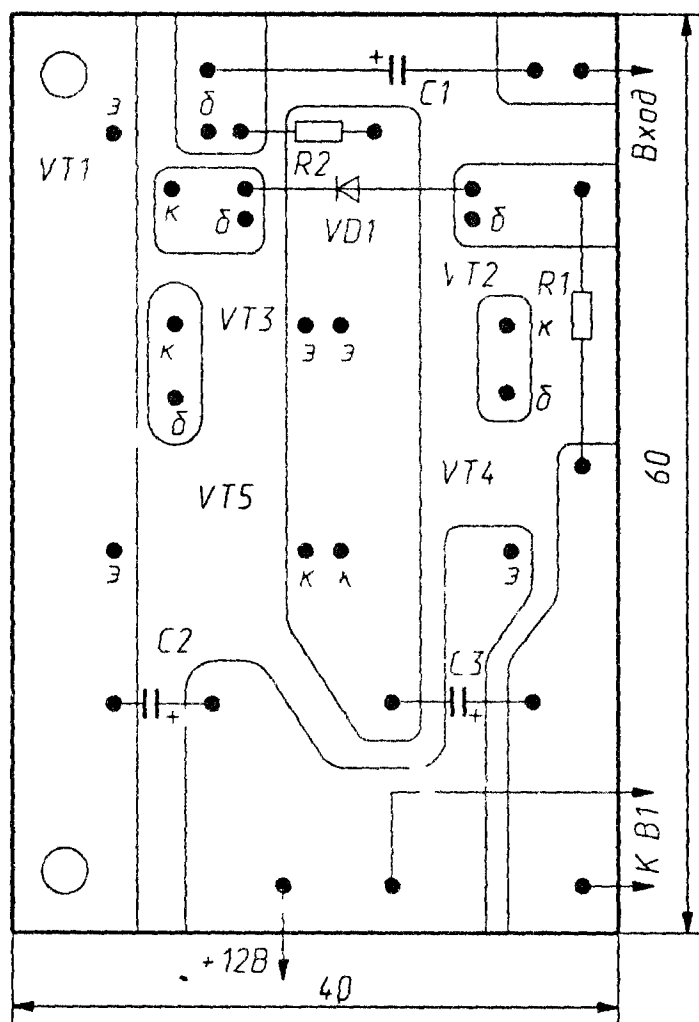


Рис 4.37 Печатная плата УЗЧ

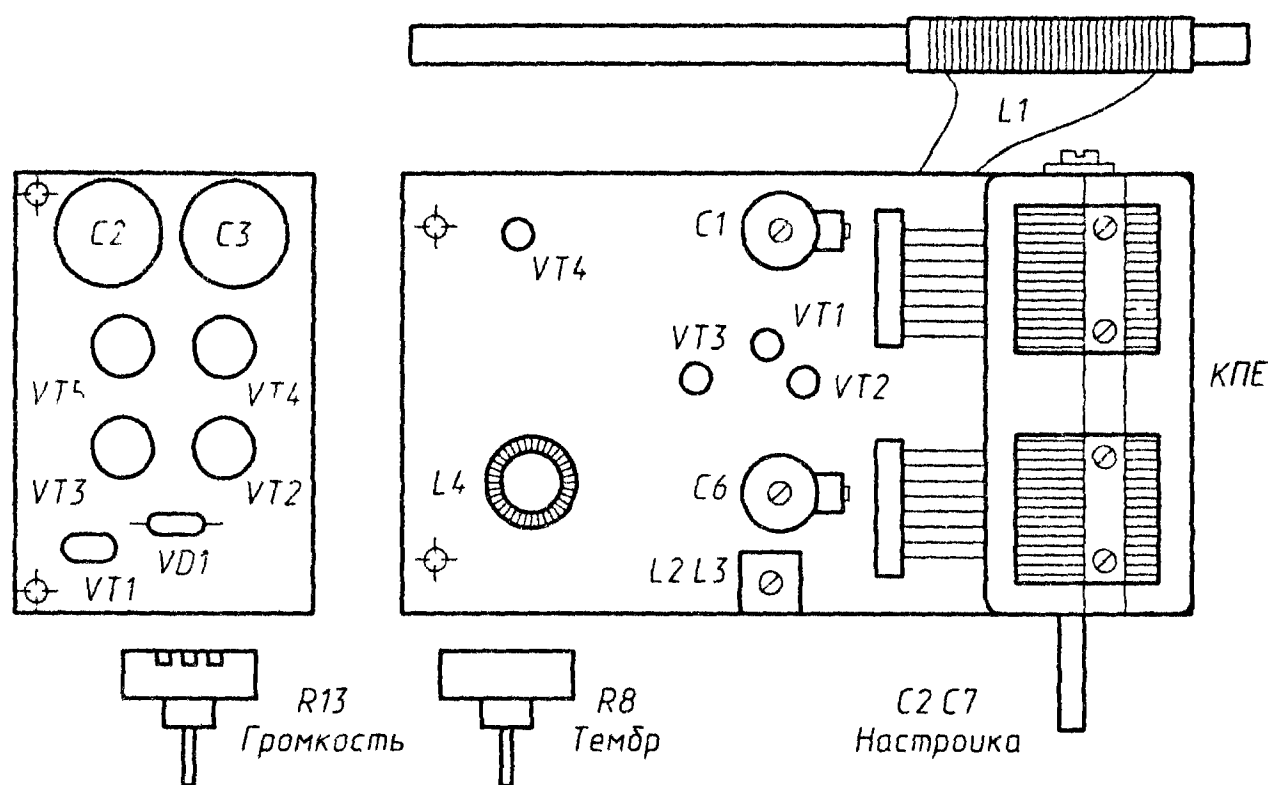


Рис 4 38 Расположение деталей в корпусе приемника

чтобы он меньше снижал приемные свойства магнитной антенны. Ручку настройки желательно оснастить верньером с небольшим замедлением и шкалой любого типа.

Налаживание приемника начинают с УЗЧ. Подав напряжение питания, сопротивление резистора  $R2$  подбирают таким (рис. 4.35), чтобы напряжение на коллекторах транзисторов  $VT4$  и  $VT5$  равнялось половине напряжения питания. Включив миллиамперметр в разрыв провода питания, подбирают тип (Д2, Д9, Д18 и т. д.) и экземпляр диода  $VD1$  до получения тока покоя порядка 3–5 мА. Можно несколько диодов включить параллельно, но нельзя отключать диод, не сняв питание!

Подключив радиочастотную часть приемника, проверяют режимы транзисторов. Напряжение на истоке транзистора  $VT4$  должно быть 2–4 В, на стоке  $VT3$  – 3–5 В и на точке соединения стока  $VT1$  с истоком  $VT2$  – 1,5–3 В. Если напряжения находятся в указанных пределах, приемник работоспособен и можно попытаться принять сигналы станций. Прослушивая сигнал на низкочастотном краю диапазона СВ, сопрягают настройки контуров, передвигая катушку  $L1$  по стержню магнитной антенны и вращая сердечник катушки  $L2$ , добиваясь максимальной громкости приема. Одновременно устанавливают нижнюю границу диапазона, ориентируясь, например, на частоту радиостанции «Маяк» 549 кГц. Приняв другую станцию на верхнем краю диапазона, то же самое делают подстроечными конденсаторами  $C1$  и  $C6$ . Повторив эту операцию несколько раз, добиваются хорошего сопряжения настроек контуров по всему диапазону.

При самовозбуждении УРЧ, проявляющемся в виде свиста и искажений при приеме станций, следует уменьшить сопротивление резистора R2 и постараться рациональнее расположить проводники, ведущие к статорным пластинам КПЕ С2С7 – они должны быть по возможности короткими, располагаться подалеже друг от друга и поближе к «заземленной» поверхности платы. В крайнем случае эти проводники придется заэкранировать.

Для более точной настройки на частоту радиостанции приемник целесообразно оснастить индикатором настройки – светодиодом или стрелочным прибором, включенным последовательно с резистором R3. Подойдет любой прибор с током полного отклонения 1–2 мА. Его надо зашунтировать резистором, сопротивление которого подбирают так, чтобы стрелка отклонялась на всю шкалу при отсутствии принимаемого сигнала. Когда же принимается сигнал станции, система АРУ запирает УРЧ и отклонение стрелки уменьшается, индицируя силу сигнала.

Испытания приемника в условиях Москвы дали довольно хорошие результаты. Днем принимались практически все местные станции, прослушиваемые на любом транзисторном приемнике супергетеродинного типа. Вечером и ночью, когда на СВ открывается дальнейшее прохождение, принималось много станций, удаленных на несколько тысяч километров. Из-за низкой односигнальной селективности несколько станций могут прослушиваться одновременно, но при точной настройке на более сильный сигнал заметен эффект подавления слабых и программа прослушивается чисто либо с небольшими помехами.

#### **4.3.4. Транзисторный громкоговорящий приемник с повышенной чувствительностью**

Этот приемник разрабатывался в соответствии с пожеланиями, изложенными в многочисленных письмах и просьбах читателей журнала «Радио». Были поставлены условия: приемник должен обладать повышенной чувствительностью (чтобы мог работать в удаленных районах) и содержать только дешевые и широко распространенные (даже в упомянутых районах) биполярные транзисторы и другие детали. Необходима была также экономичность, простота в налаживании и стабильность в работе. Диапазон волн – СВ или ДВ, но можно, конечно, немного усложнить приемник и сделать его двухдиапазонным. Это на усмотрение конструктора.

Требования были выполнены, параметры приемника получились следующими: напряжение питания 3 В, потребляемый ток в режиме

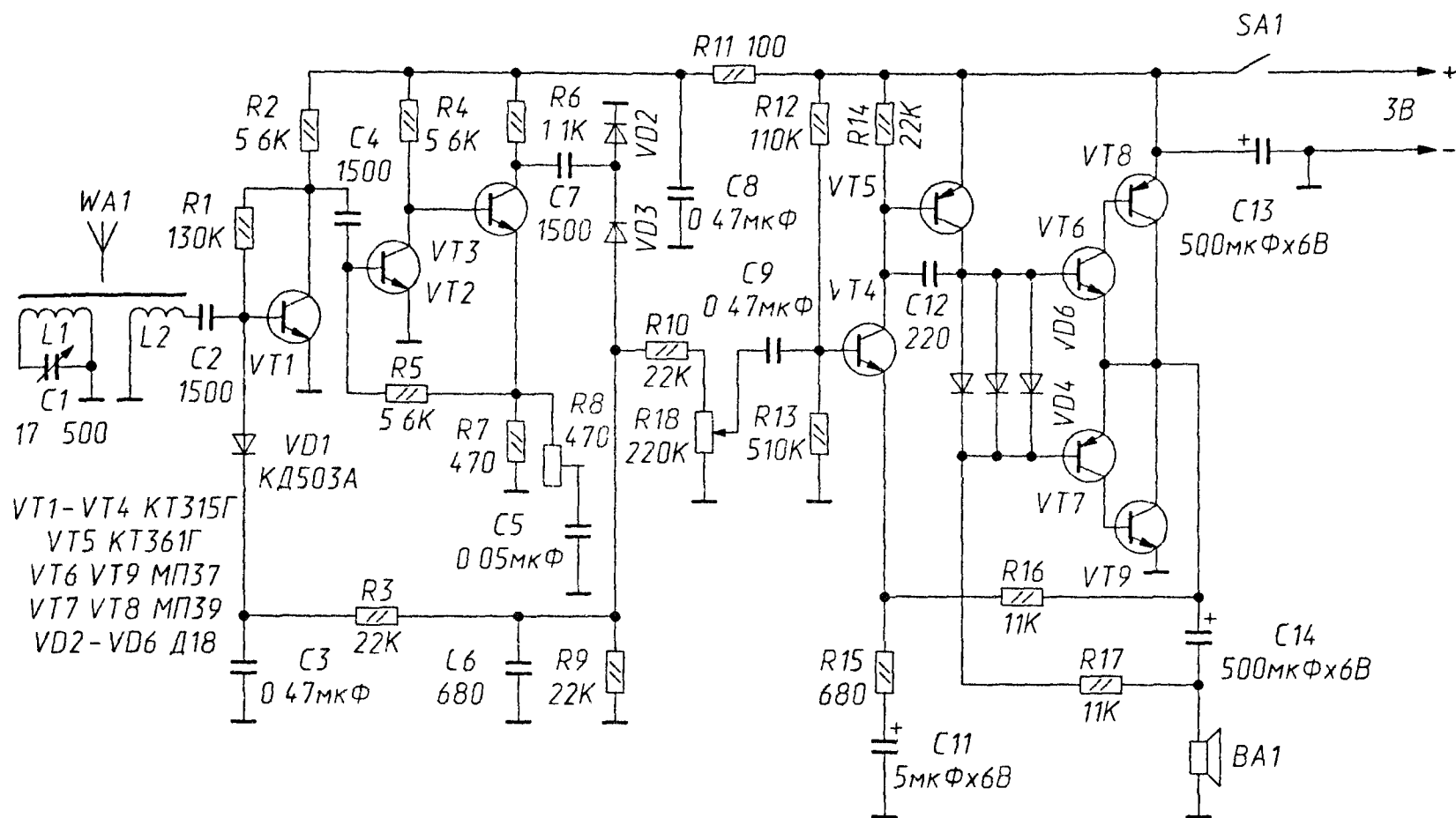


Рис 4.39 Принципиальная схема приемника

молчания 4 мА (при максимальной громкости он возрастает до 50 мА). При этом выходная мощность с 8-омной динамической головкой превосходит 100 мВт, что достаточно для комнаты средних размеров. Принципиальная схема приемника показана на рис. 4.39.

Входная цепь приемника может быть выполнена в трех вариантах. Первый, простейший, приведен на схеме. Здесь используется только одна секция КПЕ С1, настраивающая контурную катушку магнитной антенны на частоту радиостанции. Выделенный контуром сигнал через катушку связи L2 подается на УРЧ. Этот вариант хорош и для диапазона ДВ, где работают всего несколько мощных радиостанций. В двух других вариантах на входе приемника используется двухконтурный полосовой фильтр, схема которого показана на рис. 4.40. Он значительно повышает селективность приемника. Второй и третий варианты отличаются только конструктивным вариантом выполнения катушки L2'.

УРЧ приемника содержит три каскада. Первый выполнен на транзисторе VT1, его нагрузкой служит резистор R2, а через резистор R1 в цепь его базы подается ток смещения, выводящий транзистор на линейный участок характеристики. Каскад имеет систему АРУ, включающую кремниевый диод VD1 и фильтрующую цепочку R3 – C3. Через последнюю от детектора поступает выпрямленное напряжение отрицательной полярности. При возрастании сигнала оно открывает диод VD1, и он шунтирует вход УРЧ, ослабляя

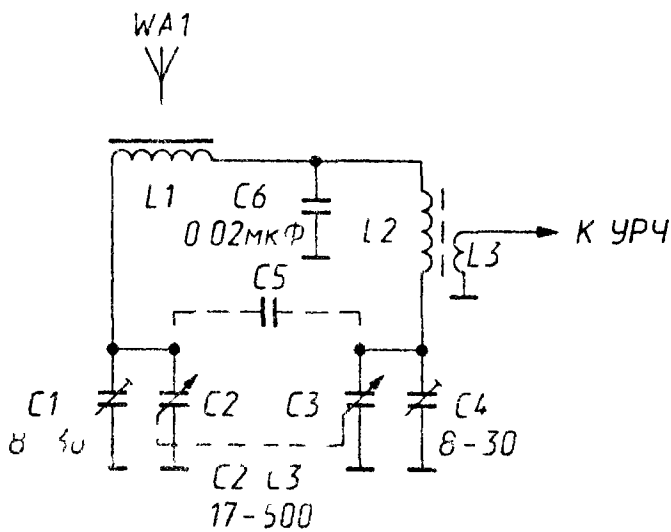


Рис 4 40 Принципиальная схема двухконтурного полосового фильтра

сигнал. Одновременно закрывается транзистор VT1 и его усиление уменьшается. Как показал опыт, АРУ весьма полезна даже в простых приемниках — она уменьшает разницу в громкости звука при приеме сильных и слабых станций, а также избавляет УРЧ от перегрузки. Два следующих каскада УРЧ собраны по схеме с непосредственной связью на транзисторах VT2 и VT3. Автоматическая регулировка усиления в них уже не используется. Режим каскадов по постоянному току стабилизирован цепью ООС через резистор R5. Усиление трехкаскадного УРЧ более чем достаточно, а если приемник будет использоваться только для прослушивания местных радиостанций — даже чрезмерно. Чтобы можно было устанавливать оптимальное усиление, блокировочный конденсатор C5 включен через подстроечный резистор R8. При увеличении его сопротивления, кроме ООС по постоянному току, появляется и ООС по переменному, снижающая усиление.

С выхода УРЧ сигнал подается на детектор, собранный на диодах VD2, VD3 по схеме с удвоением напряжения. Нагрузкой детектора служит резистор R9, зашунтированный для сглаживания радиочастотных пульсаций конденсатором C6. Параллельно нагрузке включен регулятор громкости R18, с движка которого сигнал подается на УЗЧ. В последнем использованы хорошо зарекомендовавшие себя схемные решения из предыдущих конструкций, но схема предварительных каскадов (их теперь два) несколько усложнена, что позволило в большинстве случаев отказаться от подбора резисторов при налаживании, а также несколько увеличило входное сопротивление и усиление.

Для уменьшения искажений сигнала приняты следующие меры. На составные выходные транзисторы с диодов VD3 — VD5 подается небольшое начальное напряжение смещения и одновременно достигается стабилизация тока покоя выходных транзисторов. Чтобы выходные транзисторы лучше открывались при отрицательных полуволнах сигнала, резистор нагрузки предоконечного каскада R17 подключен не к общему проводу, а к динамической головке по схеме вольтодобавки. И наконец, весь усилитель охвачен цепью ООС через элементы R16, R15, C11. Для постоянного тока ООС получается стопроцентной,

поэтому режим всех транзисторов стабилизирован. На переменном токе ООС меньше и коэффициент усиления оказывается приближенно равен отношению сопротивлений резисторов R16 и R15.

УЗЧ рассчитан на нагрузку сопротивлением 8 Ом, но можно использовать и головки с сопротивлением 4,5–6 Ом, например, от трансляционных громкоговорителей. Лучше же, как уже описывалось, применять более мощные головки с хорошей отдачей и в корпусе достаточных размеров. Все транзисторы могут быть указанных на схеме серий с любыми буквенными индексами. Вместо КТ315 подойдут КТ312 или другие высокочастотные транзисторы структуры п-р-п, а вместо КТ361 – КТ203 и даже МП39 – МП42, но в последнем случае придется подбирать сопротивления резисторов R13 и R14 в сторону их уменьшения. Выходные транзисторы – любые маломощные германиевые (у них меньше искажения типа «ступенька»). Диоды VD2 – VD6 – любые маломощные германиевые, а диод VD1 – обязательно кремниевый, высокочастотный. Остальные детали – любых типов. Годятся любые КПЕ с максимальной емкостью от 360 до 510 пФ.

Данные магнитной антенны и двухконтурной входной цепи уже приводились в описаниях предыдущих конструкций. Желательно, чтобы добротность контура магнитной антенны была повыше. Число витков катушки связи составляет  $1/10$  числа витков контурной, марка и диаметр ее провода значения не имеют. Можно использовать готовую магнитную антенну от любого радиоприемника с диапазонами ДВ и СВ. Она, как правило, уже имеет подходящие для одноконтурной входной цепи катушки связи. Вторичный контур полосового фильтра должен иметь точно такую же индуктивность, как и катушка магнитной антенны. Если используется каркас с экраном контура ПЧ приемника «Абава» (или подобного), то катушка L2' должна содержать 114 витков провода ЛЭ 5×0,07. При отсутствии такого провода его можно составить из пяти проводников ПЭЛ 0,06 длиной по 1,8 м, скрученных вместе. Катушка связи L3' наматывается поверх контурной проводом ПЭЛ 0,06–0,1, витки обеих катушек равномерно размещаются во всех секциях каркаса.

Добротность такого вторичного контура не слишком высока, но в этом приемнике ее все равно нельзя сделать предельно высокой, поскольку контур нагружен входным сопротивлением УРЧ. Тем не менее, селективность двухконтурного преселектора значительно выше, чем одноконтурного. Если есть возможность, катушку L2' лучше намотать на ферритовом кольце, или в броневом карбонильном сердечнике, как описано в разделе 4.3.2.

Эскиз печатной платы приемника дан на рис. 4.41. Изолирующие дорожки между проводящими участками фольги протравливаются

или вырезаются острым ножом. Удобно гравировать дорожки специальным резакон, изготовленным из обломка ножовочного полотна и заточенного по углом около  $45^\circ$ . Можно удалить часть фольги, оставив только общий провод. Тогда выводы деталей пропускают в отверстия, подгибают друг к другу в соответствии со схемой и пропаявают. Можно вообще не удалять фольгу, а использовать печатно-навесной монтаж, описанный в предыдущем разделе.

Готовую плату привинчивают снизу к блоку КПЕ, после чего к плате и блоку прикрепляют диэлектрические стойки под магнитную антенну. Подстроечные конденсаторы  $C1'$  и  $C4'$  типа КПК укрепляют винтами на блоке КПЕ сбоку. В таком виде собранную конструкцию (рис. 4.42) вместе с динамической головкой и батареей питания (два больших круглых элемента любого типа) размещают внутри корпуса приемника.

Собранный без ошибок и из исправных деталей приемник начинает работать сразу. Но для получения хороших результатов надо его наладить. Прежде всего измеряют потребляемый ток – он должен быть при малой громкости около 4 мА. Отпаяв резистор  $R11$ , измеряют ток, потребляемый УЗЧ, он должен быть равен 2,5–3,5 мА. Его подбирают, изменяя число параллельно включенных диодов  $VD4 - VD6$ . Для удобства их припаивают к двум вертикальным проводникам, вставленным в отверстия платы. После пайки надо подождать, пока диод остынет и установится ток.

Далее измеряют вольтметром напряжение на «средней» точке выходных транзисторов – оно должно составлять половину напряжения питания, что обеспечит симметричное ограничение пиков сигнала. При необходимости подбирают сопротивление резисторов  $R13$  и  $R14$ . Усиление УЗЧ, если нужно, регулируют подбором резистора  $R15$ . Настройка УРЧ сводится к проверке режимов транзисторов. Напряжения на коллекторах транзисторов  $VT1$  и  $VT3$  должны быть 1–1,5 и 1,5–2 В соответственно. При необходимости подстройки режима подбирают резисторы  $R1$  и  $R5$ .

Теперь можно подключить магнитную антенну и прослушать работу радиостанций. Настройка входной цепи первого варианта сводится к подбору числа витков катушки  $L1$ , чтобы в диапазоне перестройки оказались желаемые радиостанции. Настройка двухконтурного преселектора сложнее, ее методика описана в разделе 4.3.2. Усиление УРЧ желательно установить подстроечным резистором  $R8$  так, чтобы достаточно громко принимались даже удаленные радиостанции, а шум и помехи на частотах, где нет радиостанций, практически не прослушивались.

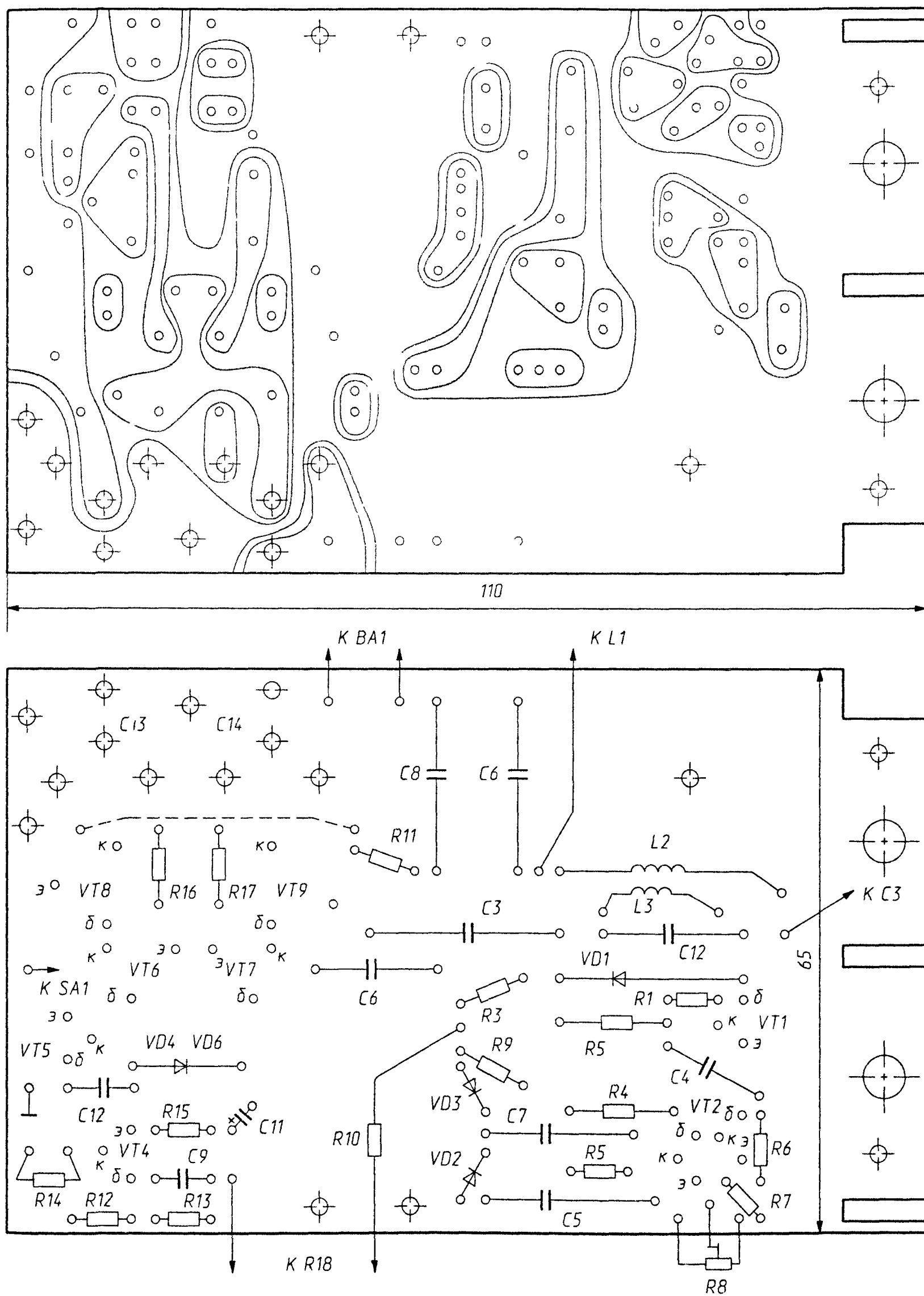


Рис 4 41 Печатная плата приемника

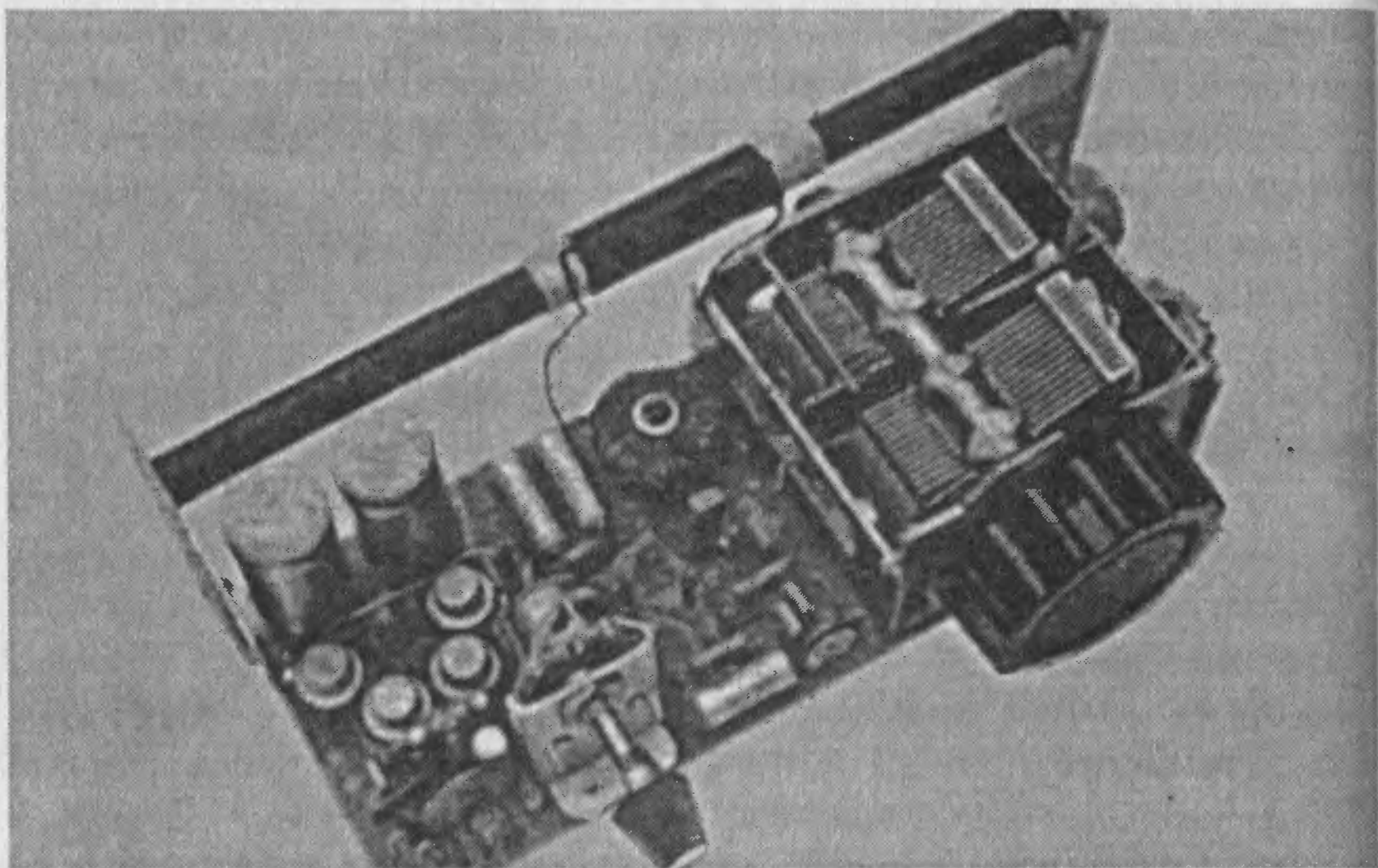


Рис. 4.42. Конструкция приемника

Вероятные усовершенствования приемника могут быть такими: в первом каскаде УРЧ целесообразно установить полевой транзистор и отказаться от катушки связи, а схему позаимствовать из вышеприведенных описаний приемников. Соответственно, несколько изменится и схема детектора с цепью АРУ. Полевой транзистор можно установить и на входе УЗЧ: это повысит его входное сопротивление, что позволит использовать высокоомную нагрузку детектора и улучшит работу последнего.

Схема УЗЧ с полевым транзистором на входе изображена на рис. 4.43 [33]. Усилитель охвачен стопроцентной ООС по постоянному току; это достигается подсоединением истока транзистора VT1 через резистор R4 к «средней точке» выходного каскада. В то же время ООС по переменному току ЗЧ ослаблена делителем R4 – R3, отношение этих сопротивлений определяет усиление всего УЗЧ по напряжению. Для первого каскада желательно подобрать полевой транзистор с напряжением отсечки около 1,5 В – это автоматически обеспечит такое же напряжение, равное половине напряжения питания, и на средней точке выходного каскада. Более точно его можно установить подбором резистора R2. В остальном схема УЗЧ мало отличается от описанных ранее. Усилитель очень экономичен:

подбором типа и числа параллельно включенных диодов VD1, VD2 устанавливается ток покоя около 1 мА при еще незаметных искажениях. Этот усилитель с успехом можно использовать и как приставку к детекторному приемнику, и в других транзисторных приемниках.

#### 4.3.5. Приемники на микросхемах

Пусть читатель не сочтет архаичностью, что раздел о микросхемах невелик и вынесен в конец главы. Дело в том, что нет хороших микросхем для приемников прямого усиления за исключением одной импортной, о ней речь ниже. Ассортимент аналоговых микросхем весьма велик, их можно установить и в УРЧ, и в УЗЧ, но попытка их использования если и дает хорошие параметры приемника, то приводит к ухудшению экономичности. Так что затратив немного больше труда и времени, можно получить лучшие результаты, собрав приемник на дискретных элементах (на «распыухе»), как, собственно, мы и делали до сих пор.

Упомянутая единственная микросхема, специально предназначенная для приемников прямого усиления, – это ZN414Z фирмы Plessey, специализирующейся, среди всего прочего, и на выпуске микросхем для радиоприемной и связной аппаратуры. Эта микросхема выполнена в трехвыводном транзисторном корпусе, однако внутри содержит 10 транзисторов [36]. На них выполнены четырехкаскадный УРЧ с высоким входным сопротивлением, транзисторный детектор и система АРУ, то есть все элементы РЧ тракта приемника прямого усиления. Микросхема чрезвычайно экономична: потребляет всего 0,35 мА от источника питания с напряжением 1,3 В.

Схема радиотракта на этой микросхеме изображена на рис. 4 44. Входной контур L1 – C1 может перестраиваться в диапазонах ДВ или СВ, причем катушка может служить и магнитной антенной. Постоянная времени цепи АРУ определяется цепочкой R1C2, в АМ приемниках она обычно выбирается равной примерно 0,05–0,1 с. Резистор R2 служит нагрузкой детекторного каскада и через него же поступает питание на весь приемник. Ориентировочно его

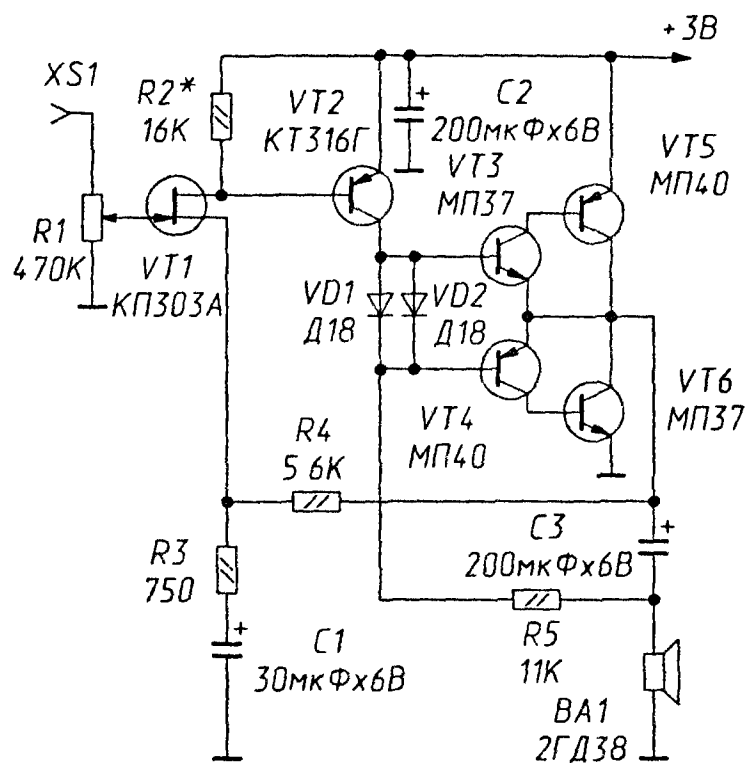


Рис 4 43 УЗЧ с высоким входным сопротивлением

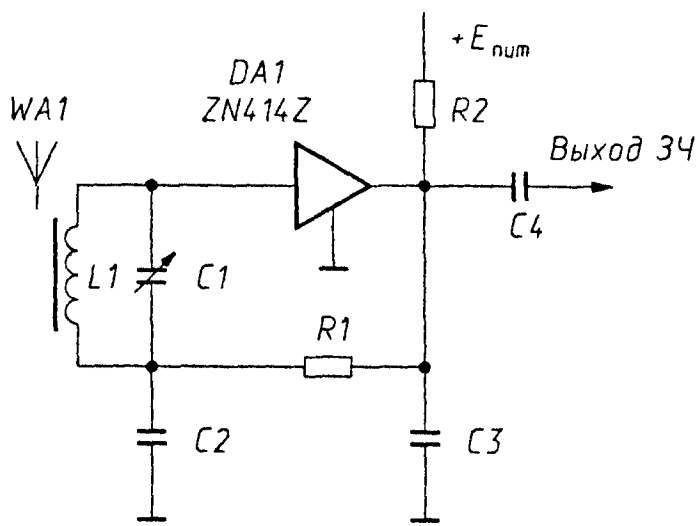


Рис. 4.44. Радиотракт на МС ZN414Z

хотой экономичностью отличается КР174УН23, представляющая собой двухканальный усилитель мощности (до 0,5 Вт на нагрузке 8 Ом) с питанием от одного, двух или трех гальванических элементов. Ток покоя составляет от 4,5 мА при напряжении питания 1,5 В до 6,5 мА при напряжении питания 4,5 В. Оба канала УЗЧ могут работать независимо, при воспроизведении стереопрограмм, либо включаться по мостовой схеме для увеличения выходной мощности в монорежиме.

И. Нечаевым предложен оригинальный вариант использования этой МС: один канал в качестве УРЧ, другой канал как УЗЧ приемника прямого усиления [37]. АЧХ УРЧ имеет небольшой подъем на

частотах до 3 МГц, а затем резкий спад. Таким образом, полоса частот усилителя достаточна для диапазонов ДСВ. Схема приемника показана на рис. 4.45. Входной контур образован переключаемыми катушками L1L2 и КПЕ С1 любого типа с максимальной емкостью не менее 180 пФ. Через катушку связи L3 сигнал подается на вход одного канала усилителя, а с его выхода – на детектор, собранный по схеме удвоения напряжения на германиевых диодах VD1, VD2. В случае использования кремниевых диодов на них нужно подать небольшое открывающее смещение, установив резистор R4. Отфильтрованный цепочкой C4R2C7, сигнал ЗЧ поступает

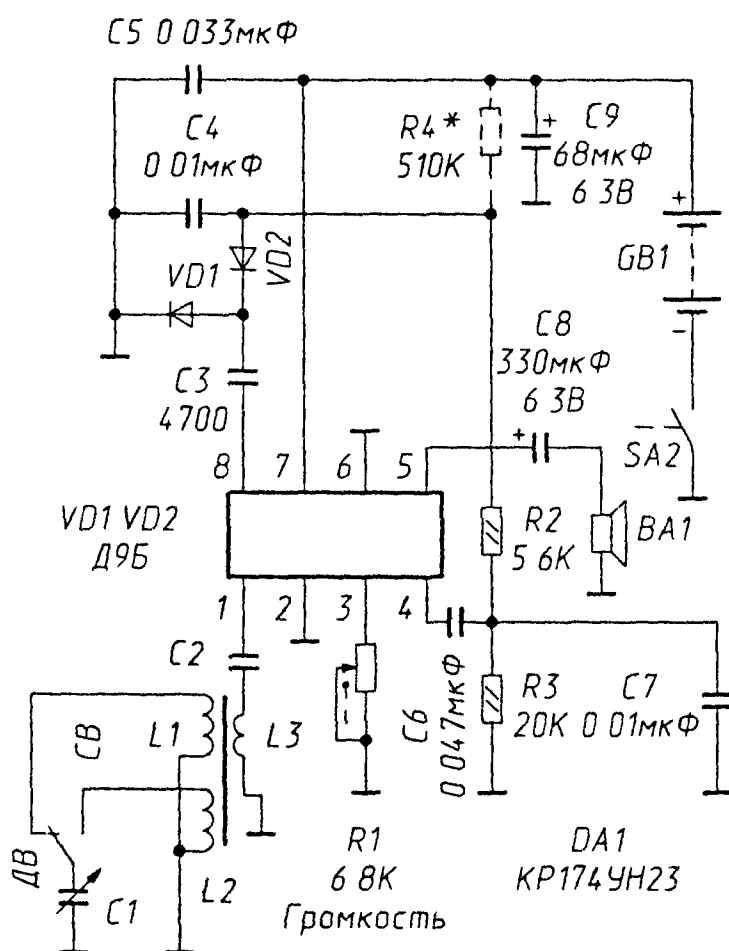


Рис. 4.45. Приемник на МС КР174УН23

на другой канал усилителя, а с его выхода – на динамическую головку ВА1 с сопротивлением порядка 8 Ом.

В обоих каналах усилителя предусмотрена электронная регулировка усиления резистором R1, что очень удобно, поскольку громкость регулируется изменением усиления как по РЧ, так и по ЗЧ. Печатная плата приемника показана на рис. 4.46. Магнитная антенна намотана на ферритовом стержне 400НН диаметром 8 и длиной 100–160 мм. Катушки L1 – L3 намотаны проводом ПЭВ 0,12 на бумажных гильзах, передвигающихся по стержню, и содержат 240, 75 и 15 витков соответственно. Настройка приемника сводится к установке границ диапазонов перемещением катушек по стержню и, возможно, подбором числа их витков. Следует иметь в виду, что при использованной схеме переключения диапазонов отключенная катушка с ее собственной емкостью могут образовать паразитный резонансный контур, случайно настроенный на частоту помехи.

В серии К174 имеется интересная микросхема, содержащая все узлы стандартного супергетеродинного радиовещательного приемника: преобразователь частоты, УПЧ и УЗЧ с выходной мощностью до 0,5 Вт. Это МС К174ХА10, работоспособная при напряжении питания от 3 до 9 В и потребляющая (при малой громкости) 8–10 мА. Используя часть ее узлов, можно собрать и простой приемник прямого усиления [38, 39]. Преобразователь частоты в этом варианте не используется, УПЧ служит как УРЧ, а детектор и УЗЧ работают по прямому назначению. Схема приемника показана на рис. 4.47. Входной контур с магнитной антенной могут быть выполнены так же, как и в предыдущей конструкции. Для повышения чувствительности использован истоковый повторитель на транзисторе VT1, если же очень высокая чувствительность не нужна, его допустимо исключить, подсоединив катушку связи между общим проводом и левым (по схеме) выводом конденсатора С2.

УПЧ в этой МС выполнен на дифференциальных каскадах и подсоединен к симметричному входу детектора, поэтому оказался необходимым симметрирующий широкополосный трансформатор Т1. Он наматывается на кольце диаметром

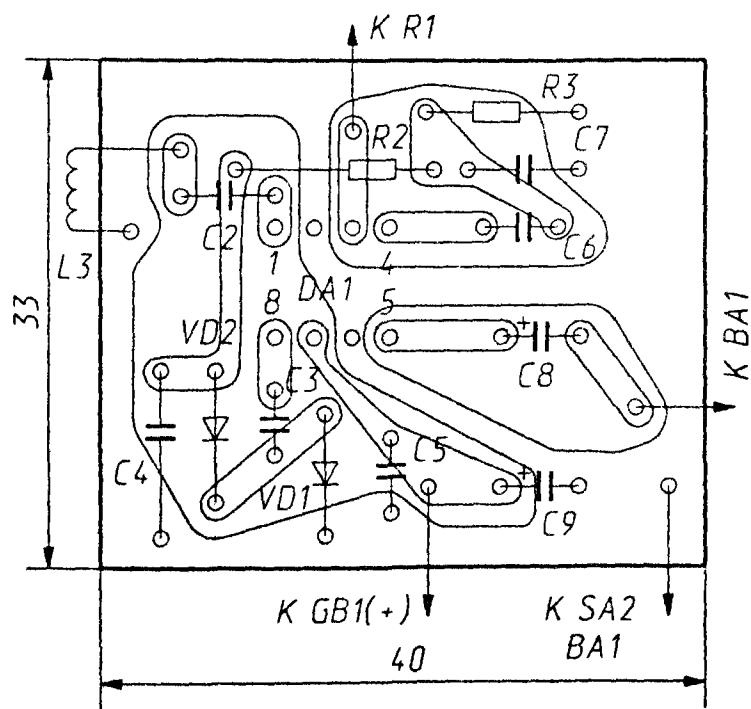


Рис 4.46 Печатная плата приемника на МС КР174УН23

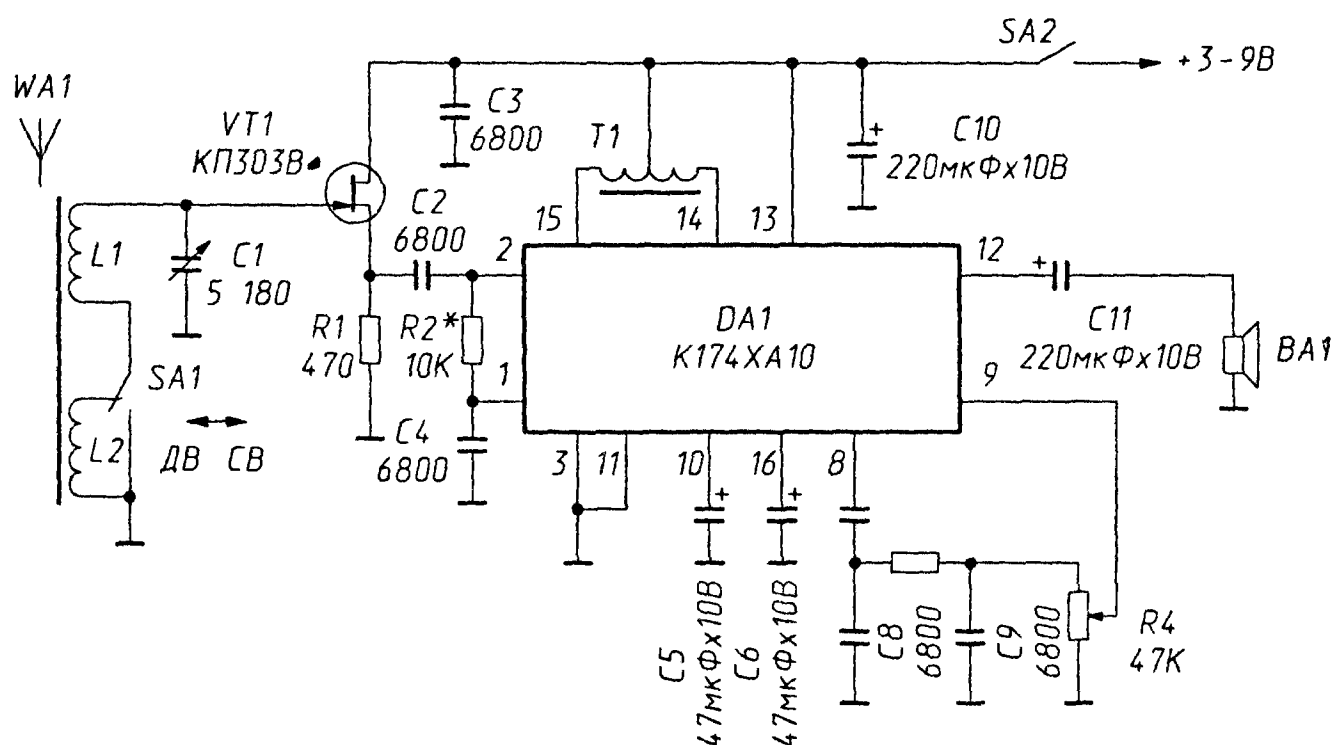


Рис. 4.47. Приемник на МС K174XA10

7–10 мм из феррита с магнитной проницаемостью 1000–1500 и содержит 100–200 витков любого тонкого провода. Наматывать трансформатор целесообразно двумя сложенными вместе проводами, затем начало одного провода соединяется с концом другого, образуя средний вывод. При нежелании заниматься этой работой достаточно несколько изменить схему: вывод 14 МС соединить с проводом питания непосредственно, а вывод 15 – через подстроечный резистор сопротивлением 100 кОм. Он регулируется по минимальным искажениям при детектировании, которые получаются несколько выше, а коэффициент передачи примерно вдвое ниже, чем с трансформатором.

Продетектированный сигнал ЗЧ подается через фильтрующую цепочку C8 – R3 – C9 на регулятор громкости R4 и далее, на вход УЗЧ. Динамическая головка может иметь сопротивление от 6 до 50 Ом, но оптимальным следует считать 8 Ом. Настройка приемника (чем хороши микросхемы) сводится лишь к установке диапазона принимаемых частот.

Как видим, микросхемы в приемниках прямого усиления целесообразнее всего использовать лишь в УЗЧ. Есть широкий выбор УЗЧ в серии K174 на любую желаемую мощность. Описывать их нет смысла, так как стандартные схемы включения даются в справочниках. Представляет некоторый интерес нестандартное использование, в частности, операционный усилитель средней мощности K157УД1 показал неплохие результаты в качестве УЗЧ, работая при напряжении питания от 4 до 24 В при токе покоя около 4 мА. Подробнее УЗЧ на этой МС описан в [40], а также в конце пятой главы этой книги.

<b>1</b>	На чем основано радиовещание	9
<b>2</b>	Детекторные радиоприемники	55
<b>3</b>	Громкоговорящие детекторные приемники	97
<b>4</b>	Приемники прямого усиления	137

## **5 РЕГЕНЕРАТОРЫ, АВТОДИНЫ И СИНХРОДИНЫ**

Регенеративные приемники	200
Автодинный прием	221
Автодинный синхронный приемник	228

Удивленный обилием непривычных терминов в заголовке главы, читатель, вероятно, ждет разъяснений. Названия непривычны лишь потому, что крепко забыты. Что ж, не будем изобретать велосипед, а просто возьмем определения из «Словаря радиотерминов» [41] 1937 г.: «Регенератор – (регенеративный приемник) – общее название наиболее распространенного типа ламповых приемников. Отличительной чертой всех регенераторов является применение в них обратной связи...». Сейчас можно сказать, что регенеративный приемник – это тот, в котором использована положительная обратная связь (ПОС) для повышения добротности его колебательного контура, часто единственного. Автодин, автодинный приемник, автодинный прием – эти термины связаны с термином «гетеродин» – вспомогательный источник высокочастотных колебаний. Он используется в гетеродинных и супергетеродинных приемниках. Но гетеродином может быть и регенератор, доведенный до режима автогенерации (самовозбуждения колебаний). В этом случае он как бы «сам себе гетеродин» и потому назван автодином. И, наконец, синхродин, синхронный приемник, – в нем частота собственных колебаний синхронизирована с частотой принимаемого сигнала. После этих кратких пояснений перейдем к подробному изложению и практическим конструкциям.

## 5.1. РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ПРИЕМНИКИ

Упомянутый словарь прав: когда-то регенераторы были самым распространенным типом приемников. Уже потом их вытеснили супергетеродины, сначала ламповые, потом транзисторные. Но по результатам, отнесенным к затратам (количеству деталей, трудоемкости изготовления, стоимости) регенераторам до сих пор нет равных. Потому-то и у радиолюбителей они до сих пор вызывают неослабевающий интерес. Кстати, регенератор изобретен уже упоминавшимся радиолюбителем-коротковолновиком Э. Армстронгом еще в 1914 г.

### 5.1.1. Принципы регенерации

Это случилось всего через год после изобретения Мейсснером первого лампового LC генератора (генератора с колебательным контуром). Его схема в современных обозначениях показана на рис. 5.1. Поскольку схемы генераторов и регенераторов практически совпадают, рассмотрим ее подробнее. Колебания с контура  $L_2C_2$  через

конденсатор  $C3$  подаются на сетку лампы и управляют анодным током: положительная полуволна увеличивает его, отрицательная уменьшает. Увеличение тока сопровождается падением потенциала анода, поэтому катушка связи  $L1$  включена инверсно по отношению к контурной (начала обмоток обозначены точками). Обратная связь получается положительной и приводит к возрастанию амплитуды колебаний в контуре. Иными словами, усиленные колебания из анодной цепи лампы снова поступают в контур, синфазно с его собственными колебаниями.

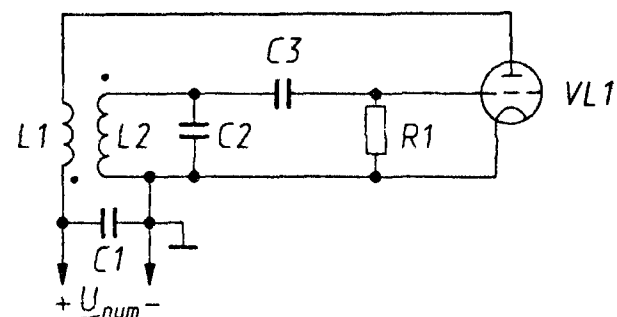


Рис. 5.1. Автогенератор Мейсснера

В режиме автогенерации должны выполняться два условия: баланс фаз и баланс амплитуд. Первое состоит в том, чтобы колебания к контуру из цепи обратной связи подводились в одинаковой фазе с его собственными. При этом полный набег фазы по петле обратной связи должен быть равен  $0^\circ$  или  $360^\circ$ . Действительно, усилительный каскад инвертирует сигнал, изменяя фазу на  $180^\circ$ , а катушки еще раз инвертируют его. Баланс амплитуд состоит в том, чтобы энергия, подводимая к контуру по цепи ОС, была как раз достаточна для покрытия собственных потерь контура. Если она будет меньше, колебания затухнут, если больше – их амплитуда будет нарастать. Но не до бесконечности же! Обязательно сработает какой-либо фактор, ограничивающий усиление, например заход усилительного элемента (лампы, транзистора) в режим насыщения на пиках колебаний.

Это не лучший способ; гораздо «мягче» стабилизирует амплитуду цепочка  $R1C3$  – «гридлик», или «утечка сетки», предложенная Роундом в том же 1913 г. Действует она так: положительные полуволны колебаний вызывают не только увеличение анодного, но и появление сеточного тока, который, проходя через резистор  $R1$ , заряжает отрицательно сетку и правую обкладку конденсатора  $C3$ . В результате на сетке появляется отрицательное смещение, почти в точности равное амплитуде колебаний, уменьшающее и анодный ток, и коэффициент усиления лампы. Соответственно уменьшается и энергия, возвращаемая цепью ПОС в контур, и амплитуда стабилизируется на некотором уровне. Величину ОС можно регулировать, сдвигая и раздвигая катушки  $L1$  и  $L2$ . Именно так делали в первых регенераторах.

Чтобы превратить генератор Мейсснера-Роунда в регенератор, нужно очень немного: подключить антенну и заземление к третьей катушке и связать ее индуктивно с  $L1$  и  $L2$ . Телефоны надо включить последовательно с источником питания, ведь отрицательное смещение на сетке изменяется в такт с амплитудой сигнала в контуре, а он создается принимаемым АМ сигналом. Вместе со смещением меняется и анодный ток лампы – происходит сеточное детектирование. Разумеется, обратная связь устанавливается ниже порога генерации: она только увеличивает добротность контура, а следовательно и амплитуду сигнала в нем. Чем ближе мы подходим к порогу генерации, тем больше усиление, а значит, и больше чувствительность.

Вскоре появились более простые схемы генераторов, не требующие отдельной катушки обратной связи. Это индуктивная трехточка Хартли и емкостная трехточка Колпитца. В них для создания ПОС сделан отвод от контура, от индуктивной или емкостной его ветви. На рис. 5.2 показан генератор, выполненный по схеме Хартли на современном полевом транзисторе с изолированным затвором, по принципу действия очень похожим на трех-

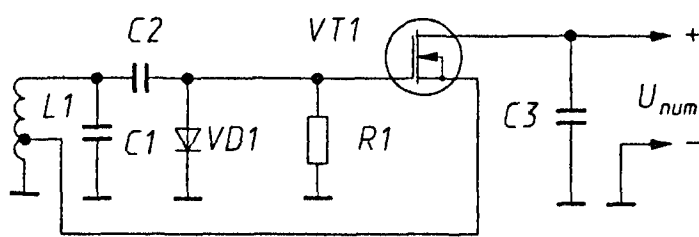


Рис 5.2 Генератор по схеме индуктивной трехточки

электродную радиолампу – триод. Проводимость канала полевого транзистора управляется напряжением на затворе; положительное напряжение увеличивает ток транзистора, отрицательное – уменьшает. Ток изолированного затвора в любом случае отсутствует, это и заставило дополнить

гридлик  $R1C2$  диодом  $VD1$ , детектирующим поступающие на затвор колебания и создающим отрицательное смещение. Для полевого транзистора с р-п переходом (КП303, например) диод можно не устанавливать.

Колебания на затвор подаются со всего контура  $L1C1$ : благодаря высокому входному сопротивлению транзистора контур почти не шунтируется. Обратная связь создается подключением истока к части витков (от  $1/10$  до  $1/3$ ) контурной катушки. По сути дела, транзистор в этом генераторе работает истоковым повторителем, и фаза колебаний на истоке совпадает с фазой колебаний на затворе, что и обеспечивает баланс фаз. Коэффициент передачи каскада по напряжению меньше единицы, но катушка по отношению к истоку включена как повышающий автотрансформатор. В результате полный

коэффициент передачи напряжения по петле ОС получается больше единицы и обеспечивается баланс амплитуд.

При использовании этого устройства в качестве регенератора регулировать обратную связь перемещением отвода катушки, разумеется, неудобно, но есть еще два способа. Первый – изменять напряжение питания. При этом изменяется коэффициент передачи повторителя, а следовательно, и глубина ПОС. Другой способ – включить между истоком и отводом катушки переменный резистор. Подход к порогу генерации в этом случае можно сделать очень плавным, но работа транзистора в качестве детектора становится неэффективной, поскольку транзистор получает на затворе постоянное отрицательное смещение относительно истока и хуже отслеживает изменения амплитуды. Последний способ широко используют в умножителях добротности, или  $Q$ -умножителях (см. ниже)

В заключение рассмотрим две схемы емкостных трехточек на биполярных транзисторах. Генератор по схеме на рис. 5.3 отличается повышенной стабильностью частоты, поскольку связь транзистора  $VT1$  с контуром выбрана минимально возможной. Контур образован катушкой  $L1$  и последовательно включенными конденсаторами  $C1$ ,  $C2$  и  $C3$ , причем емкость двух последних должна быть намного больше емкости  $C1$ . В результате емкость переходов база–эмиттер и эмиттер–коллектор меньше сказывается на частоте настройки контура.

Для ослабления влияния нагрузки служит «буферный» каскад – эмиттерный повторитель на транзисторе  $VT2$ . Той же цели служит и резистор  $R4$ . Это устройство прекрасно работает генератором, а регенератором хуже, поскольку и плавность подхода к точке самовозбуждения, и возможность детектирования сигнала затруднены жесткой стабилизацией режима транзистора. Тем не менее устройство применяется как  $Q$ -умножитель

Самая распространенная в радиовещательных приемниках схема генератора на биполярном транзисторе показана на рис. 5.4. Это тоже емкостная трехточка, но транзистор включен по схеме ОБ (его база «заземлена» по высокой частоте конденсатором  $C2$ ), поэтому генератор может работать на весьма высоких частотах, практически

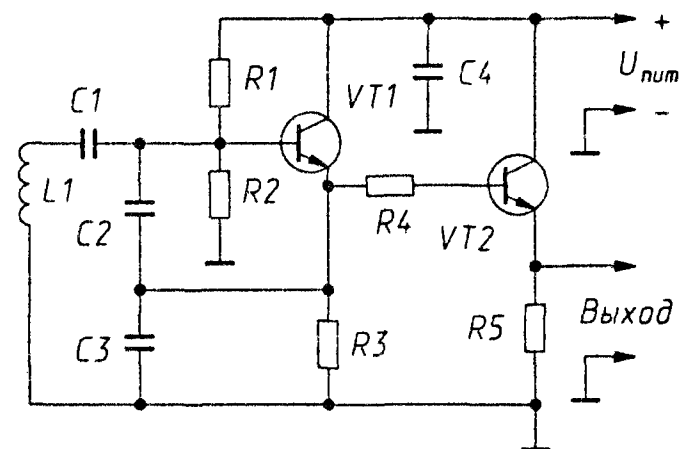


Рис 5.3 Генератор по схеме емкостной трехточки

достигающих предельной частоты самого транзистора. Контур  $L1C3$  полностью включен в коллекторную цепь, поскольку выходное сопротивление транзистора, включенного по схеме с ОБ, высокое. ПОС подается на эмиттер транзистора через емкостной делитель  $C4C5$ . Режим транзистора по постоянному току стабилизирован делителем в цепи

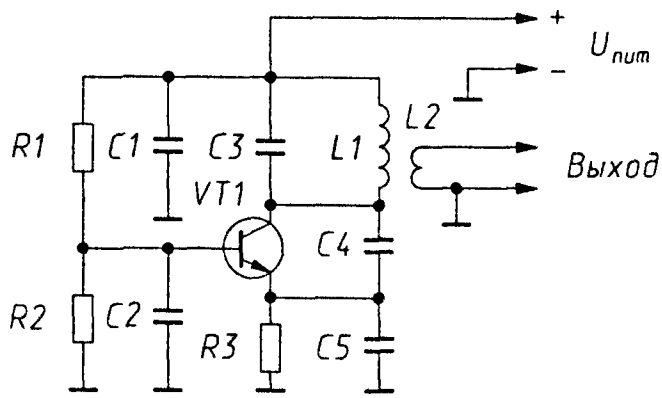


Рис 5.4 Распространенная схема «емкостной трехточки»

базы  $R1R2$  и эмиттерным резистором  $R3$ . Регенератором такое устройство работает совсем плохо, поскольку подход к генерации «жесткий», колебания нарастают скачком, а срываются при меньшей величине ОС, чем возникают. Зато это способствует возникновению прерывистых колебаний, когда генерация происходит «вспышками», повторяющимися с частотой в несколько десятков кГц. Такой режим используют в сверх-

регенераторах, обладающих очень высокой чувствительностью и часто используемых в простейших устройствах УКВ диапазона, например в приемниках радиоуправляемых моделей.

Посмотрим теперь, как изменяются резонансные кривые колебательного контура при регенерации, и поможет в этом уже испытанный метод эквивалентных схем. На рис. 5.5а показана эквивалентная схема контура с индуктивностью  $L$ , емкостью  $C$ , источником внешней ЭДС  $\varepsilon$ , сопротивлением потерь  $r_n$  и некоторым сопротивлением  $r_{oc}$ , вносимым цепью ПОС. Последнее не расходует энергию, а напротив, пополняет энергию колебаний, причем без сдвига фазы, поэтому его следует считать активным и отрицательным. При отсутствии ОС  $r_{oc} = 0$  и добротность контура  $Q_0 = \rho / r_n$  (напомним, что  $\rho$  – характеристическое сопротивление контура, обозначающее равные на резонансной частоте индуктивное сопротивление катушки и емкостное сопротивление конденсатора). Полоса пропускания контура определяется его добротностью:  $2\Delta f = f_0 / Q$ . Нижняя кривая на рис. 5.5б соответствует полосе нерегенерированного контура  $2\Delta f_0$ . По мере введения ОС добротность растет:  $Q = \rho / (r_n - r_{oc})$ , а полоса пропускания сужается (средняя кривая). Когда сопротивления становятся равными, потери контура полностью компенсируются, знаменатель последней формулы стремится к нулю, добротность – к бесконечности, что и соответствует началу генерации (верхняя кривая).

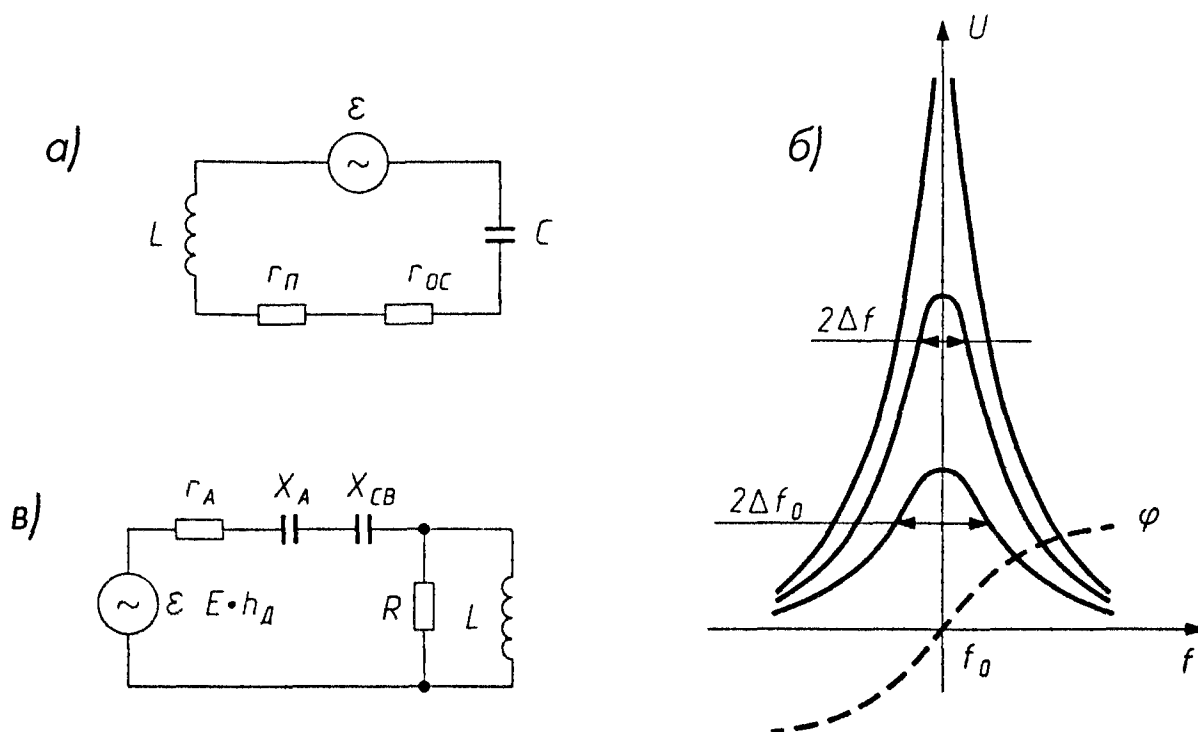


Рис 5.5 Регенератор

а – эквивалентная схема, б – резонансные кривые, в – связь с антенной

Амплитуда колебаний в контуре  $U$  пропорциональна добротности:  $U = \varepsilon Q$ , поэтому увеличение амплитуды (усиление) за счет регенерации равно  $Q / Q_0$ . Часто его называют коэффициентом регенерации  $M = Q / Q_0 = r_n / (r_n - r_{oc})$ . Одновременно в  $M$  раз возрастает резонансное сопротивление контура  $R = \rho Q$ . Интересен часто совершенно не учитываемый вопрос связи регенератора с антенной. Если катушка регенератора является магнитной антенной, все просто: напряжение на контуре при регенерации возрастает в  $M$  раз. Сложнее с проволочной электрической антенной. Удобнее всего рассмотреть пример емкостной связи, когда антенна подсоединена к контуру любого из устройств (рис. 5.1 – 5.4) через малую емкость.

Антенна (она короче  $\lambda/4$ ) сама обладает некоторой емкостью и сопротивлением  $r_A$ , как показано на эквивалентной схеме на рис. 5.5в. Емкость связи обычно меньше емкости антенны, поэтому  $X_A < X_{cb}$ , и  $X_A$  можно не учитывать или просто прибавить к емкостному сопротивлению конденсатора связи. Для компенсации емкости связи контур регенератора должен быть немного расстроен в сторону повышения частоты и обладать некоторым индуктивным сопротивлением, что на эквивалентной схеме отражено включением катушки  $L$ . Условие согласования при емкостной связи, как мы уже видели в главе о детекторных приемниках, записывается так:  $X_{cb}^2 = R r_A$ . При возрастании  $R$  по мере увеличения ОС должно возрастать  $X_{cb}$ , а емкость связи уменьшаться! То же относится и к индуктивной связи с антенной – при увеличении регенерации ее надо ослаблять.

Таким образом, хороший регенератор должен иметь как минимум три органа управления: настройки, обратной связи и связи с антенной. Видим, что настройка регенератора – это искусство! Произвести одновременно три взаимозависимые регулировки и оптимизировать их – задача для рядового радиослушателя (не радиолюбителя) почти непосильная, и это одна из причин, по которой регенераторы были вытеснены более простыми в управлении приемниками. Еще два требования к хорошему регенератору: подход к точке генерации должен быть очень плавным, от этого зависит возможность получения больших значений  $M$ , а частота настройки не должна зависеть от регулировки обратной связи. Последнее будет только в том случае, если фаза колебаний, поступающих по цепи ОС обратно в контур, будет оставаться неизменной. Любой набег фазы в цепи ОС компенсируется контуром, фазовая характеристика которого показана на рис. 5.5б штриховой линией, а это приводит к расстройке контура.

### 5.1.2. Три практические схемы СВ регенераторов

На средних волнах не имеет смысла делать коэффициент регенерации  $M$  очень большим, потому что полоса пропускания контура становится слишком узкой. Тем не менее можно решить две практические задачи: увеличить добротность магнитной антенны, если она недостаточна, и сузить полосу пропускания на высокочастотном краю диапазона, где в вечернее время прослушивается много дальних станций. Одновременно возрастет и чувствительность приемника. Если же  $M$  невелик, то можно и отказаться от регулировки ОС, установив ее небольшой и фиксированной. Именно так сделано в регенеративном СВ приемнике, схема которого показана на рис. 5.6. Регенеративный каскад собран на полевом транзисторе VT1 по схеме с индуктивной ОС, чтобы была возможность регулировать ее передвижением катушки обратной связи по стержню магнитной антенны. Контур приемника образован катушкой магнитной антенны L1 и КПЕ C1. Через «гридлик» C2R1 колебания подаются на затвор транзистора VT1. Катушка ОС L2 включена в цепь истока. Постоянная составляющая тока транзистора проходит через резистор R3, обеспечивая необходимое смещение на затворе относительно истока, а переменная – через конденсатор C3 в катушку связи.

Цепочку R3 – C3 можно было бы и не устанавливать, подключив катушку связи прямо к истоку. Тогда транзистор работал бы в режиме детектирования и сигнал ЗЧ можно было бы снять со стока.

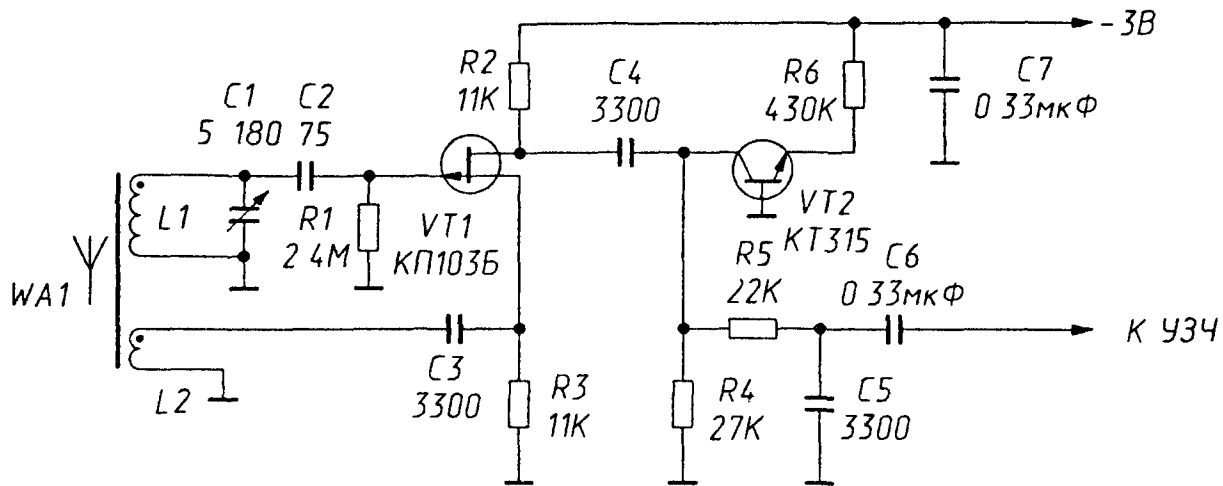


Рис 5.6 СВ регенератор с индуктивной ОС

Но практика показала, что в этом случае больше потребляемый ток, а сам каскад работает хуже. Поэтому сигнал РЧ снимается с нагрузки  $R_2$  и подается на отдельный детектор, собранный на транзисторе  $VT_2$  по необычной схеме: собственно детектором служит переход коллектор – база транзистора, а в эмиттерную цепь подается очень небольшой ток смещения через резистор  $R_6$ . Это линеаризует характеристику детектора и повышает его чувствительность. С выхода детектора через фильтрующую цепочку  $R_5C_5$  сигнал подается на УЗЧ любого типа с входным сопротивлением не ниже 30–50 кОм.

Катушка магнитной антенны  $L_1$  содержит 90–110 витков провода ПЭЛШО 0,25 на стержне длиной 160–200 мм из феррита 400НН или 600НН. Намотка ведется на бумажном пропарафинированном каркасе в один слой. Катушка связи  $L_2$  имеет всего 3–4 витка такого же провода. Она наматывается на отдельном таком же каркасе, надеваемом на стержень со стороны заземленного вывода контурной катушки, чтобы регулировка ОС меньше влияла на настройку. Обратите внимание на полярность включения катушек: переключение выводов (или перевертывание надеваемой на стержень катушки связи) превращает ПОС в ООС, добротность контура при этом понижается. Остальные детали недефицитны и допускают широкий ассортимент замен. Этот радиочастотный тракт приемника очень экономичен: потребляемый ток не превосходит 0,15 мА. Несмотря на отсутствие УРЧ, приемник хорошо принимал местные станции, а в вечернее время прослушивались даже дальние.

Другой приемник, обладая экономичностью первого (потребляемый ток около 0,3 мА), имеет бо́льшую чувствительность. В нем использована оригинальная схема ОС, позволившая отказаться от катушки обратной связи и регулировать ОС резистором (рис. 5.7). Два каскада УРЧ на таких же транзисторах, что и в предыдущем

приемнике, собраны по схеме с непосредственной связью по постоянному току. Ток стока первого транзистора служит током смещения базы второго. А коллекторный ток второго, проходя через резистор нагрузки  $R_3$ , создает падение напряжения, которое, поступая на исток первого транзистора, является для него напряжением смещения. Стопроцентная ООС по постоянному току стабилизирует режим работы транзисторов.

ПОС по переменному току отсутствует, когда движок переменного резистора регулировки ОС находится в верхнем по схеме положении и конденсатор  $C_1$  замыкает исток транзистора  $VT_1$  на общий провод. Перемещая движок вниз, мы образуем делитель из резисторов  $R_1$  и  $R_2$ , тогда часть выходного напряжения с нагрузки УРЧ  $R_3$  поступает на исток  $VT_1$ . Заметим, что оно имеет такую же фазу, как и напряжение на затворе, поскольку транзисторы дважды инвертируют сигнал. Небольшой междуэлектродной емкости исток – затвор вполне достаточно, чтобы энергия сигнала поступала обратно в контур, снижая его потери. Регулируя  $R_1$ , можно очень близко подойти к порогу генерации, что заметно по усилению слабых сигналов и шума, поступающих на вход. Если же перейти за порог генерации, характер шума резко меняется – он становится ровнее, с преобладанием верхних частот. Несущие станции при этом вызывают биения – свист меняющегося при настройке тона. Детектор в этом приемнике можно выполнить так же, как и в предыдущем, а можно использовать и обычный диодный детектор, подобный используемому во многих приемниках предыдущей главы.

Третий приемник, разработанный В. Михайловым [45], интересен тем, что в нем использованы недефицитные германиевые биполярные транзисторы типа ГТ322, имеющие небольшую проходную емкость и специально предназначенные для трактов РЧ и ПЧ (рис. 5.8).

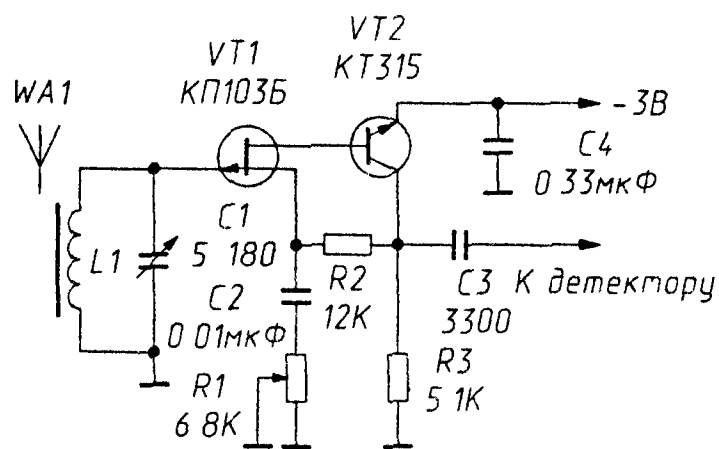


Рис 5.7 СВ регенератор с регулировкой ОС

Он работает в диапазоне волн 300–1500 м. В двухкаскадном УРЧ удалось получить усиление более 60 дБ (1000 раз по напряжению) и чувствительность всего приемника по напряженности поля около 2 мВ/м. Первый каскад УРЧ собран на составном транзисторе  $VT_1$ ,  $VT_2$ , имеющем повышенное входное сопротивление, и связан с магнитной антенной

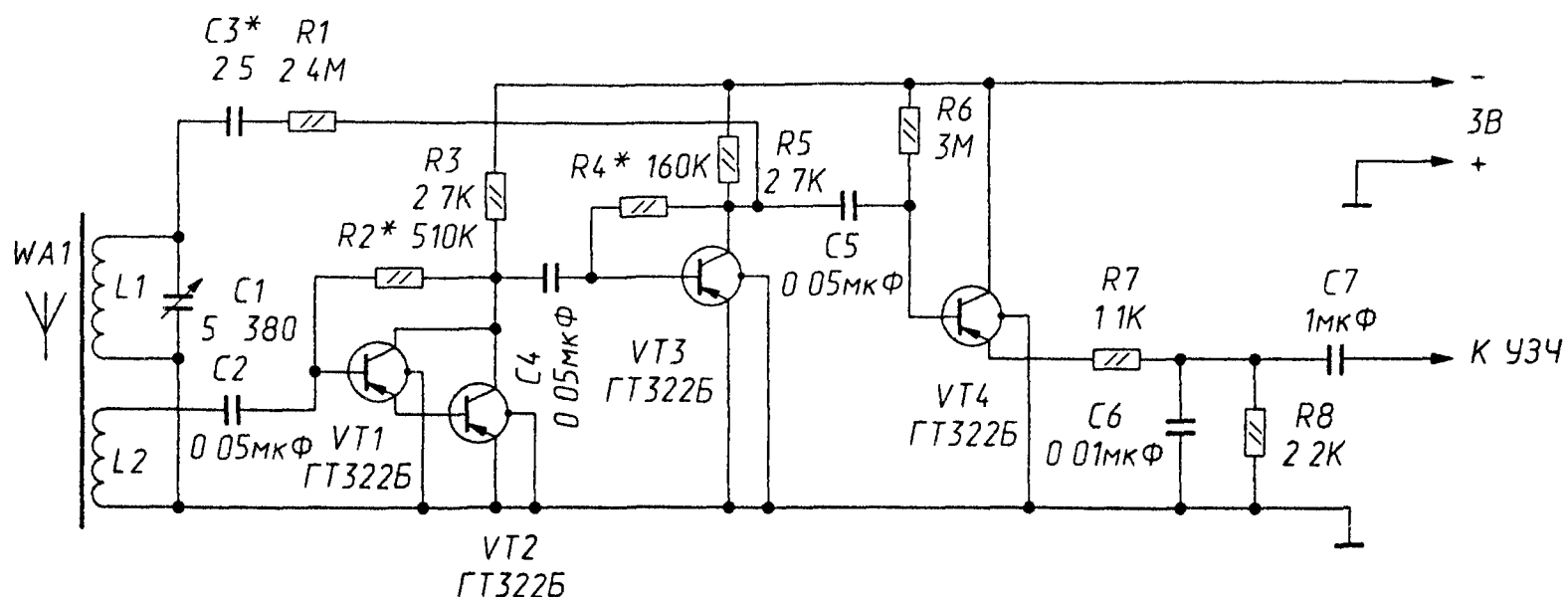


Рис 5.8 Тракт РЧ приемника прямого усиления

катушкой L2. Второй каскад собран по обычной схеме на транзисторе VT3. Сигнал с его нагрузки R5 подается на транзисторный эмиттерный детектор на транзисторе VT4, вносящий малые искажения. Кроме того, с выхода УРЧ сигнал через цепочку R1C3 с очень высоким полным сопротивлением подается обратно в контур, создавая ПОС. С выхода детектора сигнал ЗЧ подается на любой УЗЧ или телефоны.

Магнитная антенна намотана на плоском стержне длиной 100 и толщиной 4 мм из феррита 400НМ. Катушка L1 содержит 230 витков провода ПЭВ-2 0,25, L2 – 22 витка такого же провода, и размещена поверх L1. Настройка приемника сводится к подбору резисторов R2 и R4 по максимуму усиления и минимуму искажений при отключенной цепи ПОС. Глубину последней подбирают емкостью C3 на высокочастотном краю диапазона. Как сообщается, в разных районах России отмечался уверенный прием ближних и дальних радиостанций при хорошей селективности.

### 5.1.3. Q-умножители

Прочтя первый раздел этой главы, читатель мог заметить некоторое противоречие: везде утверждалось, что лампа или транзистор должны как можно меньше шунтировать (нагружать) контур, чтобы не снизить его начальную добротность  $Q_0$ , и в то же время предлагались цепи стабилизации амплитуды, а по сути, детектирования сигнала (C3R1 на рис. 5.1, C2R1VD1 на рис. 5.2), явно шунтирующие контур. Противоречие, действительно, существует, и чтобы его устранить, надо разделить функции увеличения (умножения) добротности и детектирования (стабилизации амплитуды). Если мы хотим

получить максимальную добротность, первым каскадом после контура должен быть катодный (эмиттерный, истоковый) повторитель, практически не нагружающий контур, а детектор может быть уже следующим каскадом.

Так были построены  $Q$ -умножители на двойных триодах, вызвавшие бум среди радиолюбителей в начале 60-х гг. и породившие многочисленные легенды о их необыкновенных приемных качествах. Первый триод включался катодным повторителем, а второй – сеточным детектором. ПОС подавалась из катодной цепи второго триода на отвод катушки контура. Такое устройство на самом деле могло обеспечить чувствительность в несколько микровольт в КВ диапазоне при приеме АМ сигналов и даже до долей микровольт при приеме телеграфа по методу биений, когда регенератор доводится до порога возбуждения и становится слышимым тон разностной (звуковой) частоты между частотами сигнала и собственной частотой регенератора. Другая область применения  $Q$ -умножителей – установка их на входе устаревших приемников с низкой чувствительностью и селективностью. Приемник-ветеран разительно преображался с  $Q$ -умножителем на входе и давал неплохие результаты.

Поскольку в  $Q$ -умножителях добиваются высоких значений коэффициента регенерации  $M$  (он же коэффициент умножения добротности), очень важна его стабильность. И здесь имеется замечательное техническое решение. Насколько автору известно, впервые его предложил наш радиолюбитель Б. Н. Хитров в конце 40-х гг. Он знаменит своими популярными приемниками РЛ-1, РЛ-4, РЛ-6 и другими конструкциями. Суть решения состоит в том, чтобы в регенераторе использовать две цепи ОС – положительную резонансную и отрицательную широкополосную. ПОС увеличивает добротность, действуя на резонансной частоте контура, а ООС, действуя на всех частотах, стабилизирует коэффициент усиления, правда, несколько снижая его, но с этим можно мириться. Практическое выполнение идеи было также чрезвычайно простым: контур подключался к сетке лампы, в цепь катода – катушка ОС, а последовательно с ней – резистор, создающий ООС, стабилизирующий усиление и коэффициент регенерации [44]. Все это можно использовать и на входе приемника, и в промежуточных каскадах УРЧ или УПЧ.

Применять  $Q$ -умножители в диапазонах ДСВ особого смысла нет: их полоса слишком узка; разве что для выделения из АМ сигнала несущей для последующего использования в синхронном



увеличивает ПОС, подводя каскад к порогу генерации. ООС получается при протекании тока транзистора через резистор  $R_3$ , поскольку падение напряжения на нем приложено между истоком и затвором.

Второй каскад УРЧ собран на микросхеме DA1, представляющей собой каскодный усилитель на биполярных транзисторах. Она удобна простотой включения и почти полным отсутствием навесных элементов. На ее вход сигнал подается от резистора нагрузки  $R_4$ , включенного в цепь стока транзистора VT1, чем достигается дополнительная развязка Q-умножителя от второго каскада УРЧ. Последний нагружен резонансным контуром L2C7, настроенным на ту же эталонную частоту 66,(6) кГц. Выходной сигнал можно снять с гнезда XS1 (высокоомный выход) или XS3 (низкоомный выход), сигнал, на который поступает с катушки связи L3. К контуру подключен также амплитудный детектор, собранный по схеме с удвоением напряжения на диодах VD1, VD2. Для слухового контроля передачи к гнездам XS2 и XS4 можно подключить высокоомные телефоны, а для контроля уровня сигнала – милливольтметр постоянного тока. Питается приемник от любого стабилизированного источника питания с напряжением 9–12 В или от батареи. Потребляемый ток не превышает 4–5 мА.

Приемник смонтирован на плате из одностороннего фольгированного стеклотекстолита или гетинакса размером 75×80 мм (рис. 5.10). Большая площадь фольги, образующей общий провод, повышает устойчивость работы приемника, ослабляя паразитные связи и наводки. Каркас катушки магнитной антенны со стержнем из феррита M1000НН длиной 160 и диаметром 8 мм закреплен в верхней части платы на стойках из органического стекла или другого хорошего изоляционного материала. Обмотка катушки L1 содержит 300 витков любого тонкого литцендрата, но, вероятно, на этих частотах можно использовать и провод ПЭЛШО 0,15–0,2. Автор намотал обмотку в два слоя, но лучше, может быть, применить секционированный каркас или намотать 5–6 секций способом «универсаль». Эти меры направлены на повышение начальной добротности контура. Желательно, чтобы она была не меньше 300. Контур L2C7 может иметь меньшую добротность. Катушки L2 и L3 размещены в броневом магнитопроводе с арматурой, подстроечником и экраном от контуров ПЧ любых карманных или портативных транзисторных приемников. Катушка L2 содержит 500 витков провода ПЭЛ 0,07, а L3 – 50. Обмотка катушки связи намотана прямо поверх витков контурной.

Контурные конденсаторы  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  и  $C7$  желательно выбрать хорошего качества и с малым температурным коэффициентом емкости (ТКЕ). Подойдут керамические конденсаторы М47, М75 или слюдяные старых типов КСО, СГМ и т.п. Малогабаритные современные конденсаторы с ненормированным ТКЕ здесь не годятся. На месте  $C1$  можно установить керамический подстроечный конденсатор с такой же или большей максимальной емкостью, тогда не придется двигать ферритовый стержень при подстройке антенны. Остальные конденсаторы и резисторы могут быть любых типов. Транзистор КП303 можно взять с буквенными индексами А, Б или В, при других индексах придется подбирать сопротивление резистора  $R3$  до получения тока через транзистор 1–2 мА.

Приемник помещается в металлический корпус любой конструкции, важно только, чтобы его стенки не образовывали вокруг

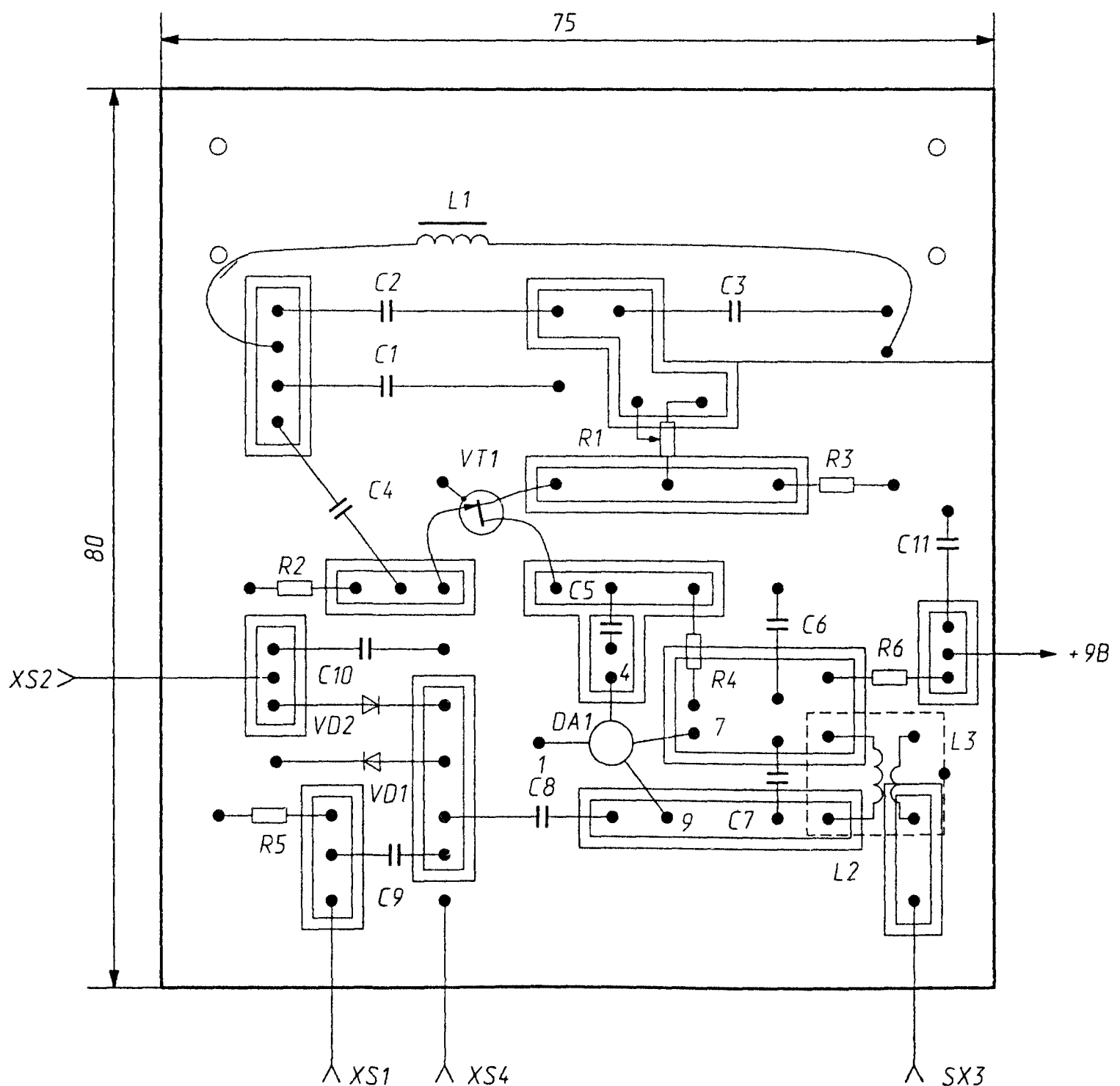


Рис. 5.10 Печатная плата ПЭЧ

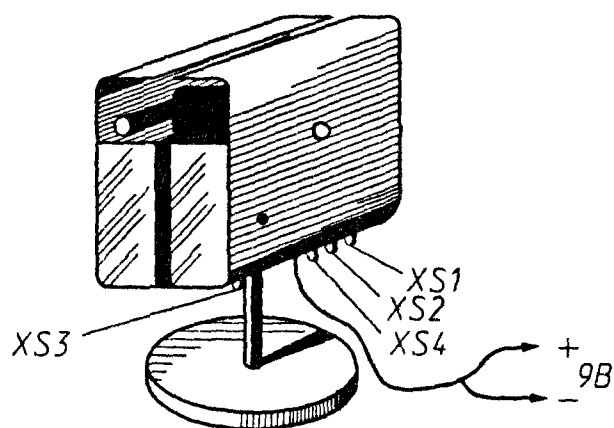


Рис 5.11. Конструкция РЭЧ

магнитной антенны короткозамкнутого витка. Возможная конструкция корпуса с подставкой показана на рис. 5.11. Он состоит из двух одинаковых крышек, между которыми закреплена плата приемника. Сверху, над магнитной антенной, края крышек не соединяются, зазор между ними порядка 5 мм. Торцы стержня магнитной антенны оставлены

открытыми. В одной из крышек предусмотрены отверстия для подстройки резистора обратной связи  $R1$  и контурной катушки  $L2$ . С нижней стороны корпуса расположены коаксиальные ВЧ разъемы  $XS1$  и  $XS3$ , гнезда для подключения телефонов  $XS2$ ,  $XS4$ , а также выходит двухпроводной шнур питания.

Для настройки приемника и контроля его работы к разъему  $XS1$  следует подключить осциллограф, а к гнездам  $XS2$  и  $XS4$  – высокоомные телефоны. Если экранированный входной кабель осциллографа слишком длинный (более 0,7–1 м), его емкость будет расстраивать выходной контур  $L2C7$ . Во избежание этого можно подключаться к низкоомному выходу, но напряжение ВЧ сигнала на нем примерно в 10 раз меньше, чем на высокоомном, и в лучшем случае составляет около 0,1 В (чего, впрочем, для частотомеров и осциллографов более чем достаточно). Подключать к высокочастотным выходам приемника неэкранированные провода нельзя из-за возможных наводок на магнитную антенну, приводящих к самовозбуждению приемника.

После этого, установив движок переменного резистора  $R1$  в положение максимального сопротивления (что соответствует наименьшей регенерации) и перемещая стержень магнитной антенны относительно каркаса катушки  $L1$ , настраивают приемник на частоту радиостанции ГСВЧ. При этом в телефонах должен прослушиваться характерный звук импульсного сигнала с частотой 10 Гц, напоминающий шум работающего двигателя мотоцикла. Одновременно прослушиваются и секундные тональные сигналы, похожие на сигналы точного времени, каждый час передаваемые радиовещательными станциями. Контур  $L2C7$  настраивают подстроечником катушки по максимуму амплитуды выходного сигнала, наблюдаемого на экране осциллографа, или по максимуму громкости звука в телефонах.

После такой предварительной настройки телефоны можно отключить, что заметно повысит выходное напряжение и остроту настройки контура L2C7. Осциллограмма сигнала, наблюдаемого на экране осциллографа, показана на рис. 5.12а. Следует заметить, что сигнал может быть и другим, все зависит от графика работы радиостанции. В конце каждого часа (или в другое оговоренное время) можно услышать позывные станции, передаваемые телеграфным кодом.

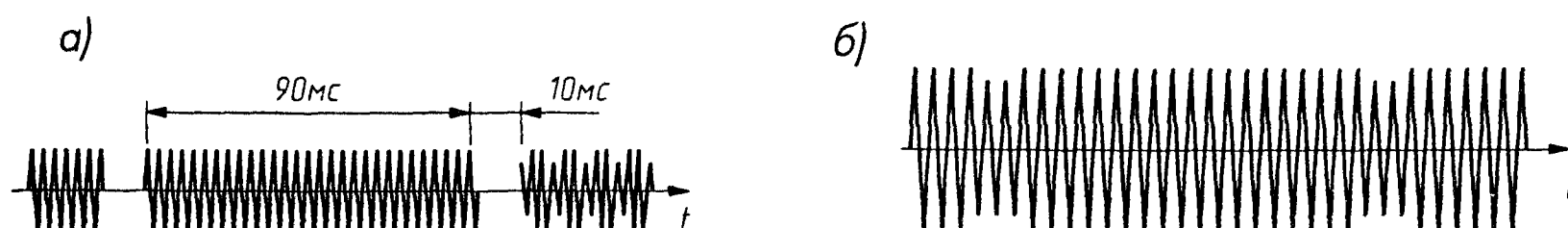


Рис. 5.12. Осциллограммы эталонного сигнала:  
 а – до регенерации, б – при регенерации

Градуировать частотомер по полученному сигналу еще нельзя – необходимо выделить из него немодулированную несущую. В профессиональных ПЭЧ для этого используют кварцевые фильтры. В нашем же случае надо подвести приемник к порогу генерации, уменьшая сопротивление резистора R1. При этом, как уже говорилось, увеличится эффективная добротность антенного контура, сузится его полоса пропускания и вырастет уровень сигнала. «Провалы» в сигнале, следующие с частотой 10 Гц, как бы «загладятся» (рис. 5.12б). Это произойдет потому, что колебания в высокодобротном контуре затухают очень медленно, в нашем случае время затухания измеряется долями секунды – оно обратно пропорционально полосе пропускания контура. Глубина модуляции выходного сигнала тональными посылками также значительно уменьшится.

При настройке надо стараться как можно ближе подойти к порогу генерации, одновременно подстраивая и магнитную антенну по максимуму сигнала на выходе. Когда же генерация возникнет, что легко обнаруживается по резкому возрастанию амплитуды сигнала на выходе и полному пропаданию «провалов» и модуляции, нужно слегка увеличить сопротивление резистора R1, до срыва генерации. Любопытно отметить – в этом приемнике, по наблюдениям автора, довольно легко получается эффективная добротность контура магнитной антенны до десяти тысяч и более, что соответствует коэффициенту регенерации порядка 30.

Теперь можно подключить к выходу приемника частотомер и, подстроив контур L2C7 (для компенсации расстройки, внесенной емкостью

входного кабеля частотомера), откорректировать частоту кварцевого генератора частотомера так, чтобы во всех разрядах на дисплее индицировались цифры шесть. При калибровке кварцевых генераторов, не входящих в состав частотомеров, поступают иначе. Эталонный сигнал, как и прежде, подают на вход вертикального отклонения «Y» осциллографа, а сигнал калибруемого генератора – на вход горизонтального отклонения «X». На экране будет наблюдаться сложная фигура Лиссажу, форма которой зависит от соотношения частот сигналов. При точной настройке и выполнении равенства  $f_r = mf_{\text{эт}} / n$ , где  $f_r$  – частота калибруемого генератора,  $f_{\text{эт}}$  – эталонная частота,  $m$  и  $n$  – целые числа, фигура на экране будет неподвижна, а при расстройке она «побежит» с тем большей скоростью, чем больше расстройка. Так можно откалибровать генераторы с частотами до нескольких мегагерц. В методе фигур Лиссажу не требуется такой чистой фильтрации эталонного сигнала и степень регенерации в приемнике может быть значительно меньше.

Следует заметить, что приемник можно настроить и на другие частоты, изменив данные его контуров, например, на частоту мощной длинноволновой радиостанции, чтобы выделить ее несущую. Точность установки несущих частот радиостанций (особенно тех, которые работают в синхронных сетях) также очень высока, и их несущие вполне можно использовать как эталонные сигналы.

Примерно до 1988 г. ДВ радиостанция «Маяк» работала на частоте 200 кГц, что было очень удобно («круглое» значение). Автору понадобилось узнать, синхронизирована ли ее несущая сигналом ГСВЧ? Вместо того чтобы куда-то звонить или обивать пороги Минсвязи, был поставлен простой эксперимент: эталонный сигнал, принятый описанным приемником, был подан на один вход осциллографа, а сигнал несущей радиостанции – на другой вход. Для приема сигнала на частоте 200 кГц использовался один из самых простых приемников прямого усиления, описанных в этой книге. Фигура Лиссажу получилась очень простой, поскольку частоты соотносятся как 1:3. Она часами оставалась неподвижной на экране, давая вполне утвердительный ответ на заданный вопрос. Кстати, чувствительность метода такова, что если «дыхнуть» на один из контуров магнитных антенн, по движению фигуры Лиссажу заметно изменение фазы, происходящее из-за расстройки контура. Рассмотрим теперь другое обширное поле применения Q-умножителей – для приема на КВ.

#### 5.1.4. КВ регенераторы

В прежние годы интерес к регенеративным КВ приемникам подогревался радиолюбителями-коротковолновиками, начинавшими свой «путь в эфир» с постройки простейшего приемника такого типа. Радиолюбителям, конечно, известны поразительные результаты, полученные с простыми регенераторами. Известный полярный радист Э. Т. Кренкель в 30-х гг. установил первую радиосвязь между Арктикой и Антарктикой, используя трехламповый приемник с регенеративным сеточным детектором. В 50-е гг. большой популярностью пользовался одноконтурный (без УРЧ) регенеративный приемник А. В. Прозоровского, имевший чувствительность порядка единиц микровольт.

Но с конца 60-х гг. были разработаны (опять-таки радиолюбителями) и сразу завоевали огромную популярность транзисторные гетеродинные приемники с прямым преобразованием радиочастоты в звуковую. Они позволяли принимать как раз то, что нужно коротковолновикам – телеграфные и однополосные сигналы, но совершенно не годились для приема АМ сигналов. Но и коротковолновиками к этому времени перестали использовать АМ как неэффективный вид модуляции. Итак, коротковолновиками «вышли из игры», перестав заниматься регенераторами. Однако осталась еще очень большая армия радионаблюдателей (SWL – Short Wave Listener), интересующихся дальним приемом на КВ радиовещательных станций разных городов и стран мира. Вероятно, для них некоторые радиолубительские журналы продолжают публикацию описаний простых регенераторов любительской разработки.

Схема одного из них показана на рис. 5.13. Регенеративный каскад, по сути умножитель добротности, собран на биполярном транзисторе VT1 по схеме индуктивной трехточки. Контур образован катушкой L1 и КПЕ С2. Он перестраивается в диапазоне частот примерно 5–15 МГц, перекрывая радиовещательные диапазоны (см. главу 1) от 60 до 19 м. Связь с антенной емкостная, через конденсатор С1. Обратите внимание на его очень малую емкость! Было бы еще лучше поставить на место С1 переменный или подстроечный конденсатор малой емкости (например, 2–7 пФ), чтобы была возможность регулировать связь с антенной.

Сигнал с отвода катушки контура подается через конденсатор С3, представляющий для токов РЧ короткое замыкание, на эмиттер транзистора. Усиленный сигнал из коллекторной цепи транзистора,

включенного по схеме с общей базой (ОБ), поступает обратно в контур. Собственно, в контур входит еще и блокировочный конденсатор  $C_4$ , но его емкость столь велика, что он также представляет собой КЗ для токов РЧ. Но для того чтобы это и на самом деле было так, конденсатор  $C_4$  должен быть керамическим и располагаться рядом с катушкой и КПЕ. Катушка  $L_1$  содержит 12 витков провода диаметром 0,8 мм на каркасе диаметром 25 мм. Отвод сделан от четвертого витка, считая от «заземленного», нижнего по схеме, вывода.

Напряжение питания регенеративного каскада стабилизировано на уровне 1,5 В цепочкой из трех кремниевых диодов  $VD_2 - VD_4$ . Конденсатор  $C_5$  сглаживает возможные низкочастотные пульсации напряжения питания. Резистор  $R_4$  задает ток смещения базы транзистора, а переменный резистор  $R_2$ , включенный в эмиттерную цепь, изменяет режим транзистора, а следовательно, его усиление и глубину ПОС. Транзистор  $VT_1$  работает в очень легком режиме при напряжении на коллекторном переходе порядка 1 В и менее, а также при токе в несколько десятков микроампер. Он заменяется любым отечественным высокочастотным транзистором.

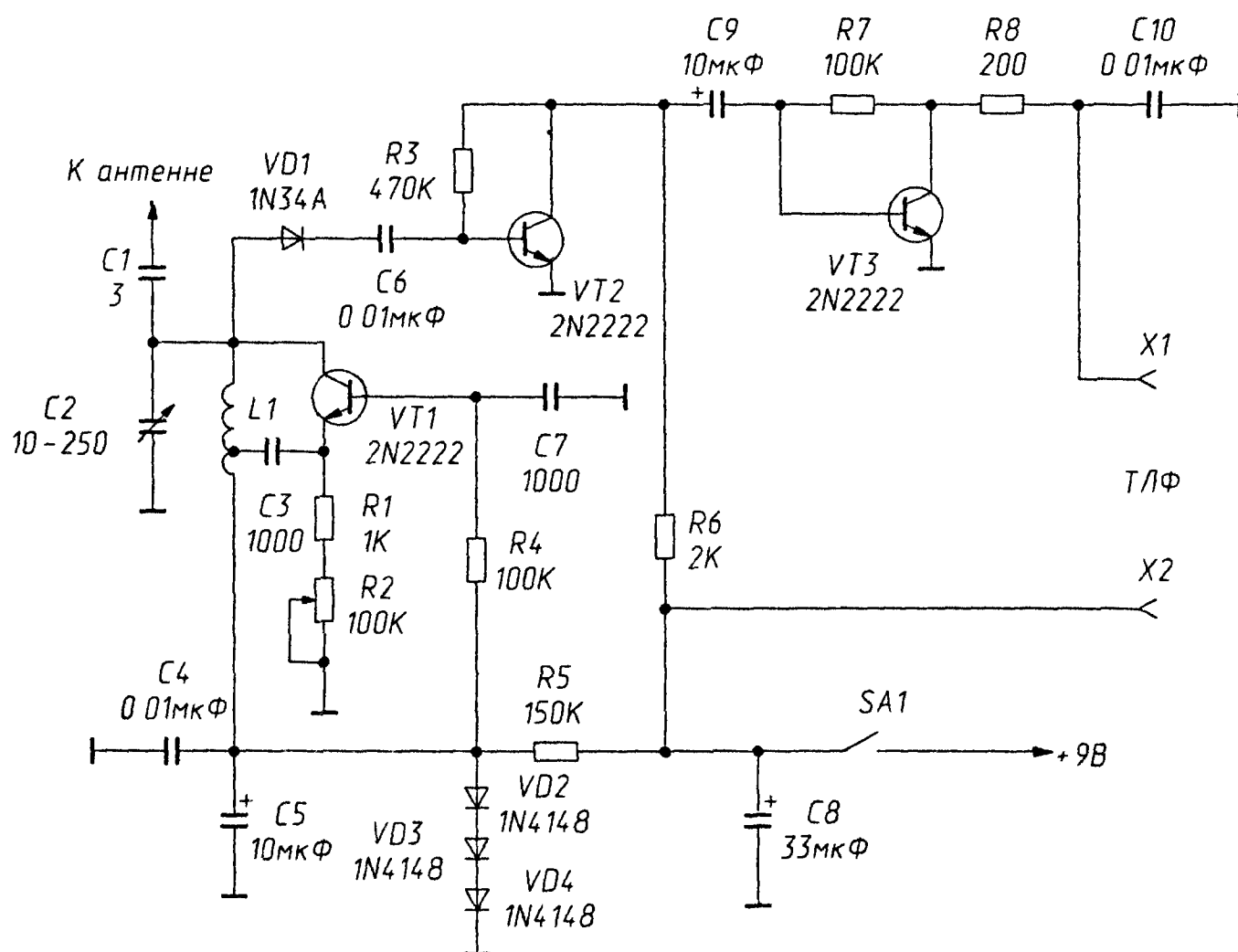


Рис. 5.13. Принципиальная схема любительского КВ регенератора

Детектором служит старинный германиевый диод VD1, имеющий незначительное обратное сопротивление, поэтому и оказалось возможным включить его последовательно с разделительным конденсатором С6. При использовании более современного диода параллельно ему следует подключить резистор с сопротивлением порядка 1 МОм. Двухкаскадный УЗЧ на транзисторах VT2, VT3 особенностей не имеет, в нем можно использовать любые, в том числе и низкочастотные, транзисторы. УЗЧ нагружен на высокоомные телефоны.

Регенераторы не обойдены и вниманием фирм, выпускающих промышленную аппаратуру для радиосвязи и измерительную технику – несколько лет назад американская фирма MFJ вывела на рынок пятидиапазонный КВ регенератор. Этот приемник (модель MFJ-8100), перекрывающий любительские и вещательные диапазоны от 3,5 до 22 МГц, собран на трех полевых транзисторах с р-п переходом и одной микросхеме УЗЧ. Схема радиочастотной части приемника показана на рис. 5.14. Транзистор VT1 служит УРЧ. Он собран по схеме с общим затвором, имеющей большое выходное сопротивление и мало нагружающей единственный регенерируемый контур приемника. Предварительной селекции нет, и все сигналы с антенны подаются прямо на исток транзистора. Это чревато перекрестными помехами, которые могут быть ослаблены резистором R2 – простейшим входным аттенюатором.

Контур регенератора образован переключаемыми катушками L1 – L5 и конденсаторами С2 – С4. Детекторный каскад собран на

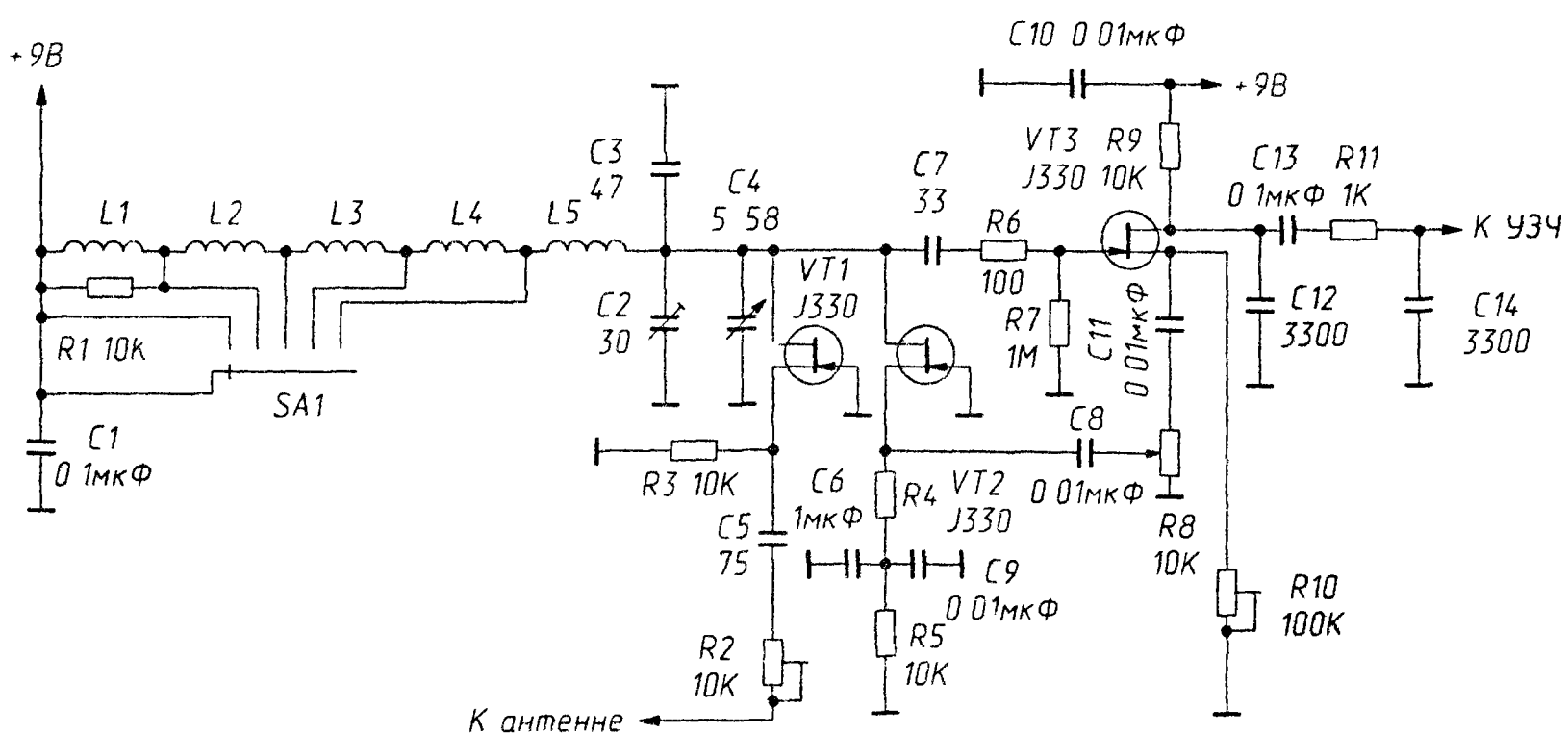


Рис. 5.14 Принципиальная схема РЧ части приемника MFJ-8100

транзисторе VT3. Его режим по постоянному току устанавливается резистором R10 так, чтобы транзистор работал вблизи нижнего изгиба характеристики при напряжении смещения, близком к напряжению отсечки, и при малом токе стока, то есть в нелинейной области, что и обеспечивает хорошее детектирование. Радиочастотный сигнал с истока транзистора VT3 через регулятор обратной связи R8 подается на исток транзистора VT2, служащего усилителем в цепи ПОС. Его сток так же, как и сток транзистора УРЧ, подключен к контуру, замыкающая цепь ОС. Продетектированный сигнал ЗЧ выделяется на нагрузке детектора R9, фильтруется цепочкой R11C12 – C14 и подается на микросхему УЗЧ типа LM386, не имеющую отечественных аналогов.

В приемнике можно использовать любой УЗЧ, в том числе и из описанных в этой книге. Транзисторы J330 близки по характеристикам к отечественным КП303Е. Индуктивность катушек имеет следующие значения: L1 – 10 мкГн, L2 – 3,3 мкГн, L3 – 1 мкГн, L4 – 0,47 мкГн. Индуктивность катушки L5 в описании не указана, она имеет 8 витков провода диаметром 0,7 мм при диаметре каркаса 12 мм. Как видно из схемы, индуктивность катушек при переключении на низкочастотные диапазоны суммируется, поэтому «укладку» диапазонов приемника на нужные частоты (подбором числа витков катушек) надо начинать с самого коротковолнового, последовательно переходя к более длинноволновым. КПЕ снабжен верньером с замедлением 1:6. Рекомендованная антенна – провод длиной 8–10 м. Приемник оформлен в духе коротковолновой связной аппаратуры, расположение органов управления на передней панели показано на рис. 5.15.

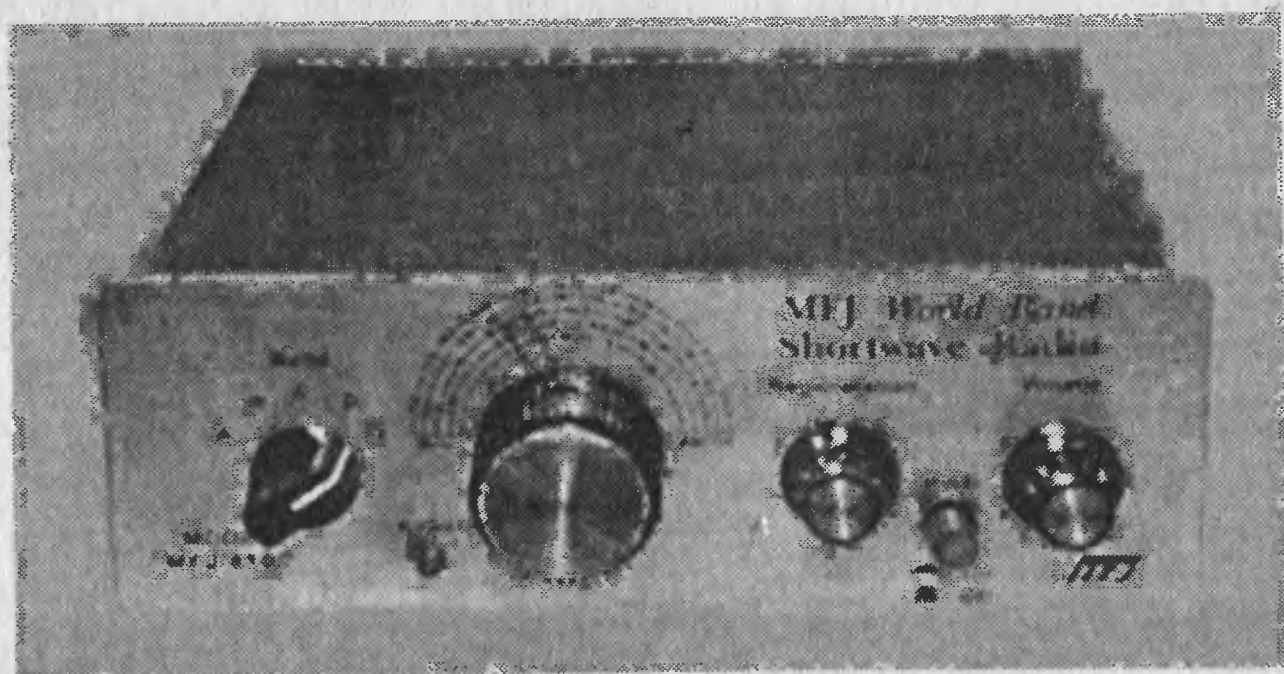


Рис. 5.15. Расположение органов управления приемника MFJ-8100

## 5.2. АВТОДИННЫЙ ПРИЕМ

Снова обратимся к «Словарю радиотерминов»: «Автодинный прием – прием на регенератор по методу биений, причем вспомогательные (местные) колебания создаются самим принимающим регенератором...». Итак, мы переходим за порог возбуждения колебаний, и картина эфира резко изменяется. Рассмотрим эти явления подробнее.

### 5.2.1. О любопытных явлениях у порога генерации

Данные явления интересно наблюдать экспериментально (на хорошем регенераторе с очень мягким подходом к порогу генерации), но можно исследовать и теоретически. Это сделано в [43], но предупредим читателя, что математический аппарат этой книги очень сложен. По счастью, теория в данном вопросе нисколько не расходится с практикой, поэтому попробуем объяснить все на более доступном уровне. Первый вопрос, требующий ответа: до какой степени можно увеличить усиление, а следовательно, и чувствительность регенератора при подходе к порогу? Элементарная теория, изложенная выше, утверждает, что до бесконечности. Но в ней не учтены входные воздействия на контур регенератора: это сигналы и шум эфира, а также собственный тепловой шум деталей контура и транзистора, неустранимый даже при отсоединении антенны.

Шум широкополосен, а полоса пропускания регенератора сужается пропорционально  $M$  – так что же, шум должен уменьшаться при увеличении регенерации, то есть при возрастании  $M$ ? Нет, мощность принимаемого шума пропорциональна полосе, а напряжение шума пропорционально корню квадратному из полосы пропускания. В то же время усиление растет пропорционально  $M$ , с такой же скоростью растет и сигнал, а шум также усиливается, но растет пропорционально  $M^{1/2}$ . Таким образом, отношение сигнал/шум улучшается при подходе к порогу, но и сигнал, и шум увеличиваются.

Возрастать до бесконечности они, разумеется, не могут: начинает работать механизм стабилизации амплитуды. Ведь условие «мягкого» подхода к генерации требует, чтобы как только возникли колебания, цепь стабилизации уменьшала обратную связь («гридлик» на рис. 5.1 и 5.2 слегка закрывает лампу или транзистор). Если все иначе, то колебания нарастут скачком, «жестко», а такой регенератор уже никуда не годится.

Итак, при наличии внешних сигналов и шума обратная связь начнет уменьшаться даже раньше, чем возникнут автоколебания, именно из-за действия внешних сигналов. Зафиксируем в этом месте,

совсем рядом с порогом, обратную связь и посмотрим, как будут меняться параметры регенератора при изменении уровня сигнала. Если сигнал упадет, то ОС увеличится и возникнут автоколебания. Если же сигнал увеличится, то ОС уменьшится, а с ней уменьшится и коэффициент регенерации  $M$  – будет действовать как бы АРУ, снижающая усиление при действии сильного сигнала. Одновременно расширится и полоса пропускания. Все это очень благоприятные факторы.

Оказывается, что регенератор узкополосен только для очень слабых сигналов, а по мере увеличения их амплитуды полоса становится шире, то есть вершина резонансной кривой уплощается. Реальная резонансная кривая, или АЧХ, регенератора вовсе не соответствует резонансной кривой одиночного контура: она лучше. Построить ее можно так: нарисуем семейство резонансных кривых контура при разной добротности (см. рис. 5.16), но с совпадающими вершинами (в отличие от рис. 5.5б). Теперь подадим на регенератор сигнал и будем изменять его частоту (или частоту настройки регенератора при фиксированной частоте сигнала, все равно). Пока расстройка велика, амплитуда сигнала  $A$  в контуре мала, а его добротность высока (точки на кривой 3).

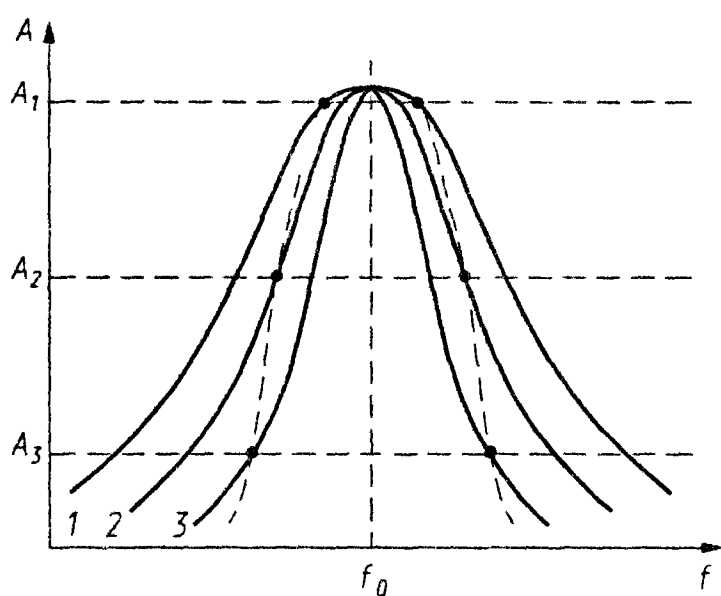


Рис 5.16 Построение резонансной кривой регенератора

По мере уменьшения расстройки сигнал возрастает, а добротность уменьшается (точки на кривой 2). Далее переходим на кривую 1, соответствующую еще меньшей добротности, и в результате получаем АЧХ регенератора (штриховая линия), очень похожую на АЧХ многоконтурного фильтра!

### 5.2.2. Захват частоты

Продолжим наш эксперимент: он позволит объяснить и еще одно интересное явление в регенераторе – захватывание частоты. Доведем регенератор до самовозбуждения, немного увеличив ОС, и будем перестраивать его ближе к частоте немодулированного сигнала. Сначала мы услышим биения – свист понижающегося тона. Биения объясняются просто: в контуре регенератора имеются два колебания с разными частотами: собственное и сигнала. Их фазы то совпадают (тогда их амплитуды складываются), то расходятся до  $180^\circ$

(амплитуды вычитаются). Получается АМ сигнал, модулированный разностной частотой. Он детектируется, и в телефонах слышен сигнал разностной частоты биений. Так осуществляется автодинный слуховой прием телеграфных сигналов. Настроимся еще ближе, и тон биений понизится до нулевой частоты, то есть пропадет совсем.

Что же произошло? Возросшая амплитуда сигнала уменьшила ОС, и регенератор оказался ниже порога генерации. Теперь в контуре имеется только одно, усиленное регенерацией – колебание сигнала, и биений нет. Другими словами, произошел захват частоты, и колебания в контуре синхронизировались сигналом. При дальнейшей перестройке регенератора мы выходим из полосы захвата и снова слышны биения.

Процесс захвата частоты иллюстрирует рис. 5.17, где по вертикали отложена частота биений  $F$ , а по горизонтали – частота настройки регенератора. Частота сигнала обозначена как  $f_0$ . Ширина полосы захвата зависит от ширины полосы нерегенерированного контура  $\Delta f_0$  и соотношения амплитуд сигнала  $U_c$  и собственных колебаний  $U_0$ :  $2\Delta f_{\text{захв}} = 2\Delta f_0 \cdot U_c / U_0$ . Ширина полосы захвата тем больше, чем больше амплитуда сигнала и меньше амплитуда собственных колебаний. Любопытно отметить, что лучше захватываются генераторы с низкой собственной добротностью контура (у них шире полоса пропускания контура), а еще лучше – бесконтурные релаксационные генераторы.

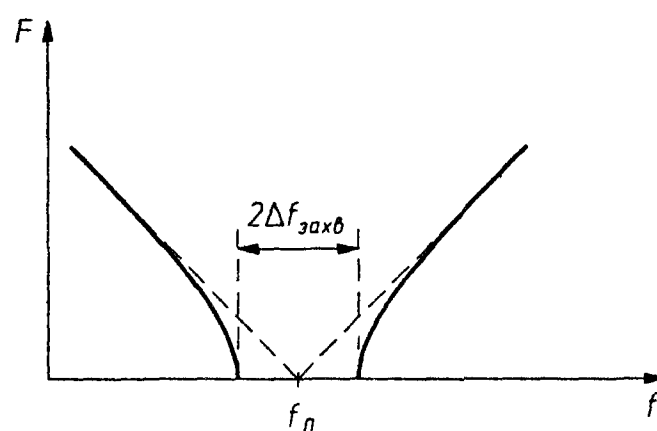


Рис 5.17 Зависимость частоты биений от расстройки

Захват частоты может быть и полезен, и вреден. Вреден он при автодинном приеме телеграфных сигналов, но и бороться с ним довольно просто, надо лишь увеличить ОС – амплитуда собственных колебаний возрастет и полоса захвата уменьшится. Полезно также ослабление связи с антенной, что уменьшает уровень сигнала. Полезным явление захвата оказывается при приеме на регенератор АМ сигналов. Синхронизировавшись с несущей АМ сигнала, регенератор значительно поднимает ее уровень относительно уровня боковых полос. В результате коэффициент модуляции уменьшается, а с ним и искажения при детектировании.

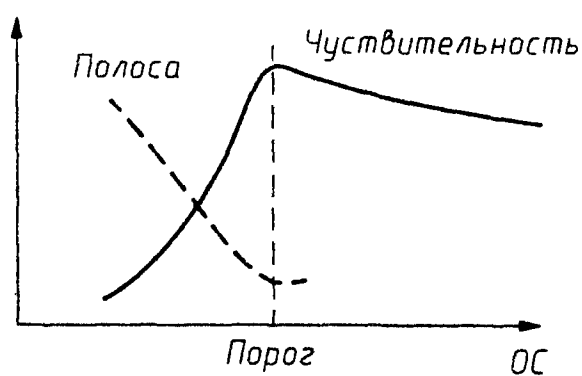


Рис. 5 18 Параметры регенератора

Подробнее об этом в следующем разделе, а сейчас посмотрим качественные кривые (рис. 5.18), показывающие, как изменяется чувствительность (сплошная линия) и полоса пропускания (штриховая линия) регенератора в области порога в зависимости от величины ПОС.

Ниже порога, когда ОС мала, чувствительность тоже невелика, она быстро возрастает с увеличением ОС, а полоса пропускания также быстро сужается. При подходе к порогу генерации рост чувствительности замедляется, а полоса пропускания еще продолжает сужаться. В телефонах при достаточном усилении УЗЧ слышен продетектированный собственный шум регенератора или шум эфира, если он преобладает. Очень тонко регулируя ОС, можно заметить, что при подходе к самому порогу шумовая полоса сужается, а в шуме начинают преобладать низкочастотные компоненты.

Еще увеличиваем ОС – возникает генерация, и шум как бы «обелется»: его спектр становится равномерным, как у «белого» шума, и становятся слышны его высокочастотные компоненты. Это объясняется тем, что теперь шум не детектируется, а его компоненты создают биения с собственными колебаниями регенератора – происходит скорее преобразование частотных компонент шума в звуковые частоты. Чувствительность продолжает оставаться очень высокой – на уровне собственных шумов. Дальнейшее увеличение ПОС приводит к возрастанию амплитуды собственных колебаний, и чувствительность теперь уменьшается – происходит как бы подавление слабых сигналов большими собственными колебаниями. О полосе пропускания в этой области говорить уже трудно, потому что детектирования уже нет – есть преобразование частоты. Каждый сигнал создает свой собственный тон биений, и к селективности регенератора добавляется естественная селективность человеческого уха. Вот таково это чудесное устройство – регенератор, сделавшее целую эпоху в радиотехнике.

### 5.2.3. Простое устройство, позволяющее наблюдать описанные явления

Эксперименты с регенераторами различного типа привели автора к разработке чрезвычайно простого (и чрезвычайно экономичного)

регенератора, который вряд ли представляется возможным упростить еще более. Простота его схемы основана на одном интересном свойстве кремниевых биполярных высокочастотных транзисторов – способности работать при коллекторном напряжении, равном напряжению базы, около 0,5 В. Действительно, если в схеме с ОЭ (эмиттер соединен с общим проводом) в коллекторную цепь включить достаточно большую нагрузку, а на базу подавать открывающее напряжение, то при его значении около 0,5 В (порог открывания) транзистор откроется и коллекторное напряжение будет падать. Дальнейшее увеличение открывающего входного напряжения приведет к уменьшению коллекторного напряжения вплоть до 0,1 В (напряжение насыщения перехода коллектор – эмиттер при полностью открытом транзисторе). Если соединить по постоянному току базу и коллектор, а питание подвести через резистор достаточного сопротивления, то напряжение на транзисторе стабилизируется на уровне 0,5 В, в то же время транзистор сохранит свойство усиливать сигналы с амплитудой менее нескольких десятых долей вольта.

Базовая схема предложенного устройства показана на рис. 5.19. Коллектор и база транзистора VT1 соединены по постоянному току контурной катушкой L2, а также с общим проводом через ее отвод. Напряжение питания на транзистор подается через резисторы R1R3. Изменяя их сопротивление, можно в широких пределах регулировать ток транзистора, в то время как напряжение на переходах эмиттер – коллектор и эмиттер – база изменяется в очень небольших пределах около значения 0,5 В.

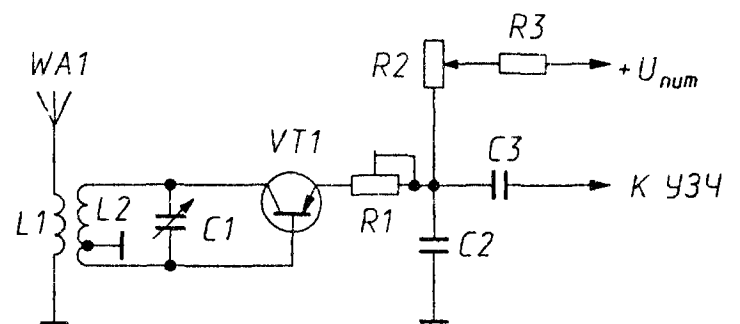


Рис 5.19 «Базовая» схема простого регенератора

Ток транзистора определяется выражением  $i = (U_{\text{пит}} - 0,5 \text{ В}) / R$ , где  $R$  – суммарное сопротивление резисторов. Ток может составлять от единиц микроампер до единиц миллиампер, но практически при работе регенератора остается в микроамперной области.

По переменному току транзистор включен по схеме индуктивной трехточки Хартли, то есть классического автогенератора. Большая часть катушки включается в коллекторную цепь, меньшая – в базовую (отвод делается примерно от 1/3–1/4 полного числа витков катушки). Вводя резистор R1, мы можем создать и отрицательную обратную связь, стабилизирующую работу устройства в режиме Q-умножителя. Конденсатор C2 блокировочный, он замыкает только токи высокой

частоты. Если в контуре есть сигнал, промодулированный по амплитуде, ток транзистора изменяется в такт с амплитудой колебаний, в небольших пределах варьируется и падение напряжения на резисторах R2 и R3, которые служат основной нагрузкой транзистора, – с них и можно снять продетектированный сигнал ЗЧ. Через разделительный конденсатор С3 звуковые колебания поступают на УЗЧ для дальнейшего усиления.

Обратная связь регулируется с помощью резистора R2 изменением тока транзистора, а следовательно, и его усиления. Регулировка получается очень плавной. Как показала практика, усиление транзистора должно быть небольшим, поскольку он работает в режиме микротоков, поэтому его входное и выходное сопротивления велики и слабо шунтируют контур, почти не снижая его конструктивной добротности. Еще больше ослабить шунтирование контура транзистором можно, сделав контурной катушку L1 путем подключения параллельно ей КПЕ С1. Связь с антенной в этом случае делается емкостной, через конденсатор связи (лучше КПЕ) очень небольшой емкости. Катушка связи L2 с отводом в этом варианте должна содержать меньшее число витков, чем контурная, но связь между катушками во избежание паразитных резонансов должна быть как можно сильнее. Практически витки катушки L2 наматываются поверх витков контурной катушки L1 (или между ними).

Еще одна проблема, возникающая в простых регенераторах – изменение частоты настройки при регулировке обратной связи. В данном устройстве оно происходит из-за изменения межэлектродных емкостей и времени пролета носителей заряда в транзисторе при изменении тока через него. Эффект ослабляется при применении достаточно высокочастотных транзисторов и при не слишком маленькой емкости контура.

Устройство может работать практически в любом диапазоне волн, вплоть до УКВ и СВЧ. Более того, если существенно увеличить емкость блокировочного конденсатора С2, наблюдается процесс прерывистой генерации и устройство становится простым сверхрегенератором с очень высокой чувствительностью. Частота «вспышек» генерации устанавливается подбором емкости конденсатора С2 и сопротивления резистора R2 порядка 15–50 кГц. Так, например, в одном из экспериментов данное устройство обеспечило чувствительность в сверхрегенеративном режиме лучше 0,6 мкВ на частоте

46 МГц при приеме АМ сигналов. Частота вспышек была установлена порядка 15 кГц, а полоса пропускания получилась около 60–70 кГц. По сравнению с известными сверхрегенераторами данное устройство легче настраивается, более чувствительно и стабильно в работе. К недостаткам же его относится невысокий уровень сигнала ЗЧ на выходе, что, впрочем, легко компенсируется увеличением усиления УЗЧ. Тему сверхрегенераторов мы подробнее обсудим в следующей книге.

В качестве примера практической конструкции на рис. 5.20 приведена схема КВ регенератора на диапазон 28–30 МГц, в котором регенеративный каскад выполнен по вышеописанной схеме. Контурная катушка L1 содержит 6 витков посеребренного провода диаметром 0,8–1,5 мм, намотанных на керамическом или ребристом пластмассовом каркасе диаметром 20–25 мм. Намотка ведется с шагом не менее 2 мм. В катушке можно использовать подстроечный сердечник, но только из высокочастотного магнитоэлектрика с малыми потерями. Низкочастотные ферриты здесь непригодны. Конденсаторы С1 (связь с антенной) и С3 (настройка) выполнены на базе воздушных подстроечных типа КПВ. Каждый из конденсаторов содержит по одной подвижной и одной неподвижной пластине. Их оси надставлены диэлектрическими втулками (чтобы руки не влияли на настройку приемника) и выведены сквозь металлическую переднюю панель. Ось регулятора обратной связи R1 (обычный переменный резистор типа СП) также выведена на переднюю панель. В регенеративном каскаде использован СВЧ транзистор типа КТ3109, но с равным успехом можно применить КТ363 или другой, структуры р-п-р с граничной частотой не менее 600–800 МГц.

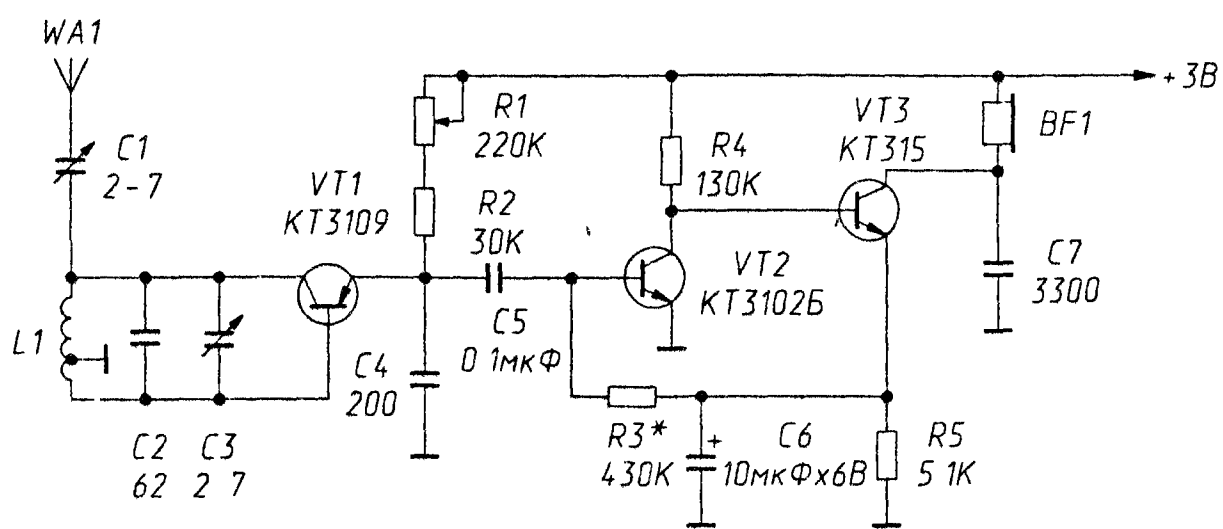


Рис. 5.20. Практическая схема простого КВ регенератора

УЗЧ приемника выполнен на двух транзисторах VT2 и VT3 по схеме с непосредственной связью между каскадами. Для стабилизации режима смещение на базу первого транзистора подается из эмиттерной цепи второго, для чего там установлен резистор R5, зашунтированный по переменному току конденсатором C6. УЗЧ работает на высокоомные головные телефоны. Благодаря применению в первом каскаде транзистора с высоким статическим коэффициентом передачи тока и нагрузке второго на телефоны с высоким полным сопротивлением, усиление по напряжению получается значительным – порядка 10 000 и более. В то же время ток, потребляемый всем приемником, не превосходит долей миллиампера. Налаживание УЗЧ сводится к подбору сопротивления резистора R3 такой величины, чтобы напряжение на эмиттере VT3 составило 0,7–1 В.

Правильно собранный регенеративный каскад вообще не требует налаживания, кроме установки рабочего диапазона подбором числа витков контурной катушки (или их сдвиганием-раздвиганием). Чувствительность приемника к АМ сигналам оказалась лучше 1 мкВ, а в автодинном режиме приема телеграфных сигналов – 0,5 мкВ. Подход к точке генерации оказался настолько плавным, что даже на частоте около 30 МГц удалось отследить захват частоты регенератора либо несущей, либо каждой из боковых частот сигнала ГСС, промодулированного звуковым сигналом с частотой 1 кГц. Напряжение несущей при этом составляло около 1 мкВ.

### 5.3. АВТОДИННЫЙ СИНХРОННЫЙ ПРИЕМНИК

Еще одно, сокращенное название этого типа приемников – синхродин. Читатель, подготовленный предыдущим материалом, вероятно уже догадался, о чем пойдет речь. Регенератор, доведенный до порога самовозбуждения, может принимать АМ сигналы в режиме захвата собственных колебаний несущей принимаемого сигнала. Такой метод приема обладает определенными преимуществами, о них мы и расскажем. Начнем же с описания приемника, в работе с которым была осуществлена эта идея где-то в середине 80-х гг. Разумеется, «ничего нет нового под Луной», синхродины уже были в 20–30-х гг., но сейчас на новой элементной базе можно сделать все иначе и значительно лучше.

#### 5.3.1. Синхродин СВ диапазона

Этот одноконтурный СВ синхродин появился в результате многих экспериментов. В вечернее время он принимал на свою магнитную антенну более 50 различных станций СВ диапазона, в том числе

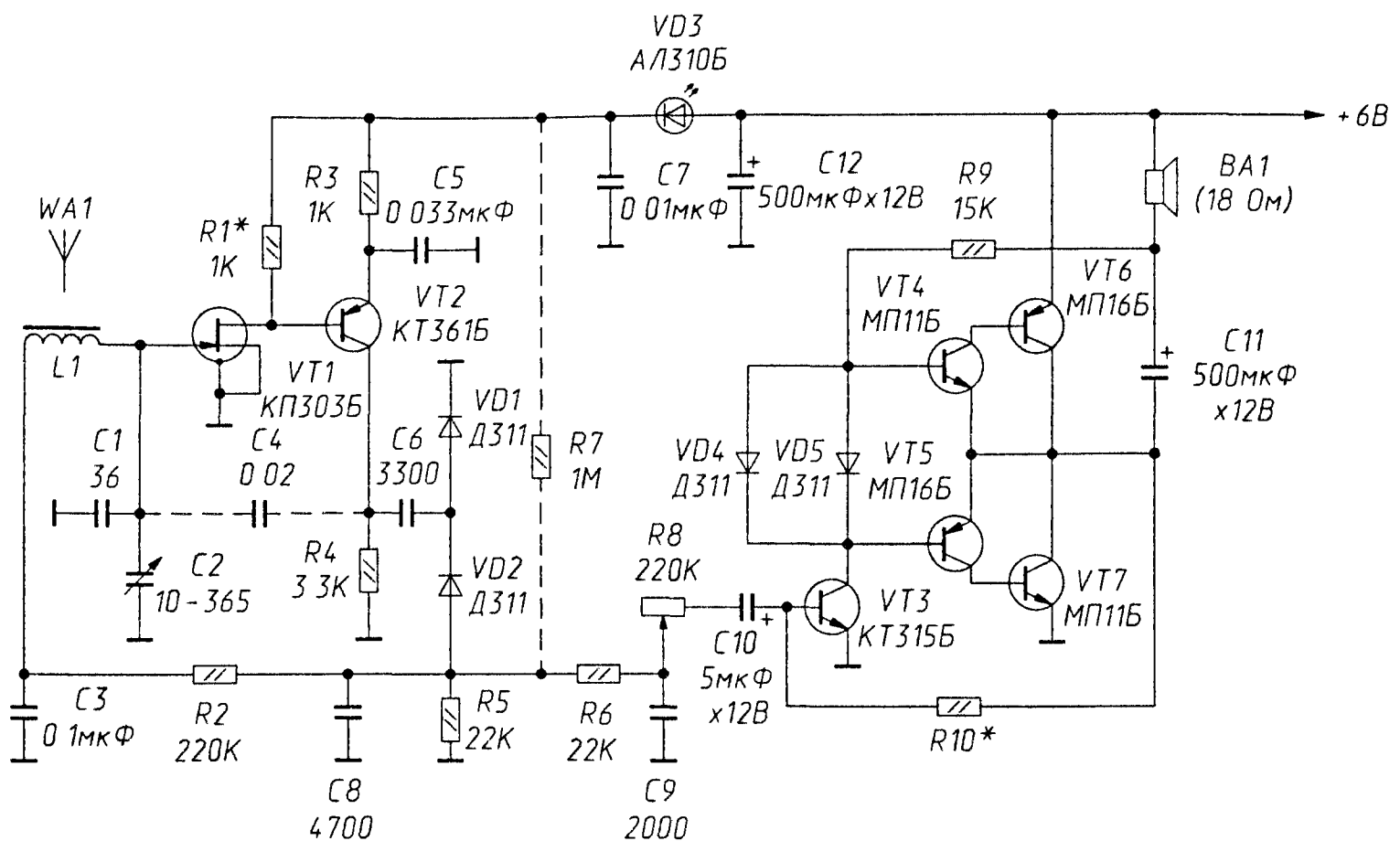


Рис 5 21. Принципиальная схема СВ синхродина

станции Бухареста, Варшавы, Вены, Люксембурга, Праги, Стокгольма и других городов. Схема его приведена на рис. 5.21. Сигнал, принятый магнитной антенной WA1, выделяется единственным контуром, образованным катушкой той же антенны L1 и конденсаторами C1 и C2. При указанных на схеме емкостях диапазон перестройки составил 520–1600 кГц. Конденсатор C1 ограничивает его со стороны верхних частот диапазона, делая настройку при минимальной емкости C2 более плавной.

Двухкаскадный УРЧ приемника собран по схеме с непосредственной связью между каскадами на полевом транзисторе VT1 и биполярном VT2. Высокое входное сопротивление полевого транзистора позволило подключить контур полностью, без каких-либо катушек связи, что повысило коэффициент передачи входной цепи. Выбор р-п-р транзистора во втором каскаде продиктован желанием повысить эффективность АРУ: когда закрывается первый, полевой транзистор, его ток стока уменьшается, что приводит к закрыванию и второго транзистора.

Усиленный сигнал с нагрузки УРЧ R4 поступает на диодный детектор, собранный по схеме удвоения напряжения на диодах VD1, VD2. Он нагружен резистором R5, зашунтированным сглаживающим RC пульсации конденсатором C8. Дополнительно колебания ЗЧ фильтрует цепочка R6C9. Постоянная составляющая продетектированного

напряжения отрицательной полярности через фильтр АРУ R2C3 и катушку антенны L1 попадает на затвор транзистора VT1, закрывая его при сильных сигналах. Вслед за ним закрывается и транзистор VT2, и усиление обоих каскадов снижается. В цепь питания УРЧ включен светодиод VD3, служащий индикатором включения и одновременно настройки – при возрастании сигнала ток УРЧ уменьшается из-за действия АРУ и яркость свечения снижается.

УЗЧ приемника выполнен по схеме, уже приводившейся в описаниях приемников прямого усиления (глава 4) – она оказалась наилучшей из массы опробованных, и рассказывать о ней еще раз не будем. Приемник работоспособен при напряжении питания от 3 до 12 В и потребляет при малой громкости ток не более 4–5 мА (при тщательном налаживании можно снизить и до 2–3 мА). Катушка магнитной антенны содержит 40 витков литцендрата ЛЭШО 21×0,07 на стержне длиной 200 и диаметром 10 мм из феррита 400НН. Вместо транзистора VT1 можно использовать КП303А, Б и И, транзистор VT2 заменяется любым р-п-р высокочастотным. При использовании СВЧ транзисторов, например КТ363, КТ3109, усиление УРЧ увеличится. Вместо VT3 используйте любой кремниевый, а вместо VT4 – VT7 – любые германиевые транзисторы соответствующего типа проводимости.

Конструктивное выполнение приемника может быть различным, но не следует стремиться к особой компактности – во всяком случае, не надо располагать детали детектора рядом с магнитной антенной и входом УРЧ. Желательно использовать плату с большой площадью общего провода и закрепить на ней корпус КПЕ, чтобы не было длинных «земляных» проводников. КПЕ лучше взять с воздушным диэлектриком и верньером или хотя бы с ручкой настройки большого диаметра, потому что настройка приемника острая.

Налаживать приемник рекомендуется при том напряжении питания, при котором он будет использоваться. Сначала, подбирая резистор R10, устанавливают напряжение на «средней» точке выходного каскада УЗЧ равным половине напряжения питания. Затем, отключив питание УРЧ, добиваются тока покоя УЗЧ порядка 1–2 мА, подбирая тип и количество включенных параллельно диодов VD4, VD5. Здесь годятся любые германиевые диоды. Налаживание УРЧ сводится к подбору резистора R1 до получения напряжения на коллекторе VT2, примерно равного половине напряжения питания.

Это надо делать в отсутствие сигнала, поскольку система АРУ изменяет режим транзисторов. Для повышения линейности детектирования, особенно при малых сигналах, полезно ввести небольшой ток смещения детекторных диодов, подключив резистор R7.

В экспериментах с этим приемником выяснилась его высокая чувствительность и острота настройки, особенно на высокочастотном краю диапазона. Оказалось, что это происходит из-за «естественной» ПОС через емкость монтажа между затвором транзистора VT1 и коллектором VT2, то есть между входом и выходом УРЧ, не инвертирующего сигнал (вернее, дважды инвертирующего сигнал двумя каскадами). На рис. 5.21 эта емкость показана как С4. Ее можно искусственно увеличить, припаяв к соответствующим точкам монтажной платы жесткие проводники длиной 1–2 см и сближая их (оценочное значение емкости, достаточное для самовозбуждения УРЧ, всего 0,01–0,05 пФ). Емкостная ОС эффективнее действует на высокочастотном краю диапазона, что, в общем-то, и требуется, поскольку для сохранения постоянной полосы пропускания при перестройке по диапазону добротность контура должна возрастать с повышением частоты. Кроме того, в верхней части СВ диапазона работает много слабых дальних станций.

Подход к порогу генерации в этом приемнике получился исключительно плавным и «мягким» благодаря действию системы АРУ, которая управляет коэффициентом регенерации  $M$  (ведь ПОС охватывает весь регулируемый УРЧ), резко снижая его при появлении в контуре сигнала, все равно, внешнего или собственного. При этом описанные явления трансформации остроконечной АЧХ контура в уплощенную, а также захвата частоты выражены особенно сильно. На рис. 5.22 построены кривые селективности нерегенерированного контура ( $M = 1$ ) со слабой ( $M = 3$ ) и умеренной ( $M = 10$ ) степенью регенерации. Установим  $M = 10$  и настроимся на частоту сигнала. Пока сигнала не было, АЧХ имела крутые скаты, но появление сигнала вводит в действие систему АРУ, и  $M$  снижается, уплощая вершину резонансной кривой (штриховая линия). На рисунке показано уменьшение  $M$  до 5,5, но

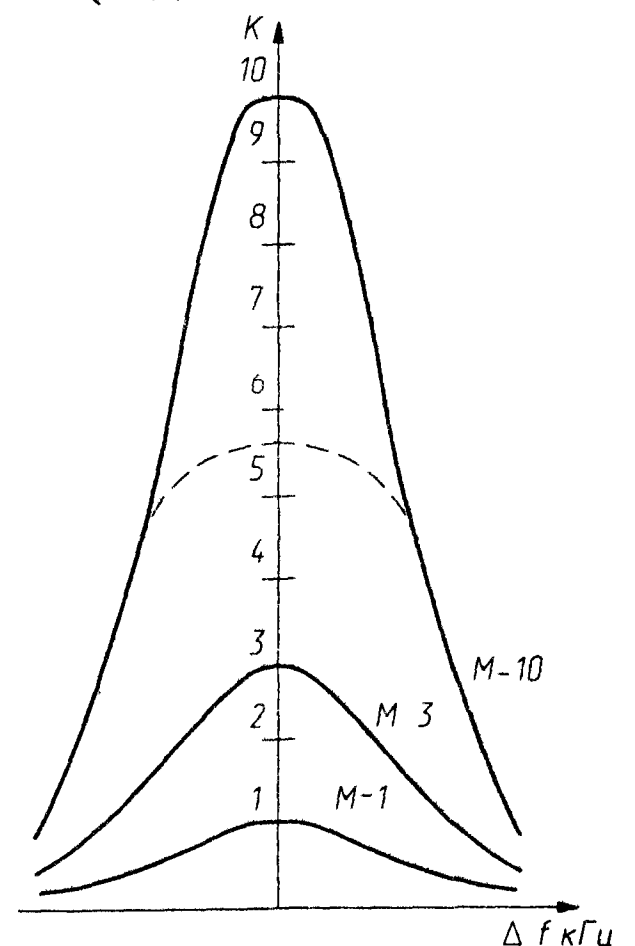


Рис 5.22 Кривые селективности синхродина

при сильных сигналах возможно снижение и до меньших значений. Полоса пропускания при этом расширяется, устраняя один из главных недостатков регенератора.

Ширина полосы захвата прямо пропорциональна амплитуде сигнала. Перепишем вышеприведенную формулу следующим образом:  $2\Delta f_{\text{захв}} = f_0 U_c / Q_0 U_0$ , где  $f_0$  и  $Q_0$  – частота настройки и конструктивная добротность контура,  $U_c$  и  $U_0$  – напряжения сигнала и собственных колебаний в контуре. Последнее в нашем приемнике легко установить порядка единиц и даже долей милливольт, слегка перейдя за порог генерации, а дальше амплитуду собственных колебаний будет поддерживать на этом уровне система АРУ. При столь малой амплитуде собственных колебаний обеспечивается их легкий захват даже слабыми сигналами.

Положим, для ориентировочного расчета  $f_0 = 1000$  кГц,  $Q_0 = 200$ ,  $U_0 = 2$  мВ. Тогда для получения полосы захвата  $\pm 250$  Гц (вполне приемлемой для синхронного приема) оказывается достаточным напряжение несущей в контуре 200 мкВ, чему соответствует напряженность поля  $E$  порядка 100 мкВ/м, создаваемая даже достаточно дальними станциями.

Здесь любопытно заметить, что реальная полоса захвата не зависит от конструктивной добротности контура магнитной антенны. Действительно,  $U_c = E h_d Q_0$ , и подставляя это выражение в формулу для ширины полосы захвата, получаем:  $2\Delta f_{\text{захв}} = f_0 E h_d / U_0$ . Тем не менее конструктивную добротность контура лучше стараться сделать высокой, тогда в обычном регенеративном режиме потребуются устанавливать меньшую ОС, и устройство будет работать стабильнее. Из полученной формулы также видно, что теоретически есть возможность получить достаточную полосу захвата при сколь угодно слабом сигнале, просто снижая напряжение собственных колебаний в контуре.

Настройка приемника в автодинном режиме имеет ряд особенностей, вряд ли обрадующих обычного радиослушателя, но интересных радиолобителям. При подходе к частоте радиостанции на выходе приемника слышен свист понижающегося тона, который при точной настройке исчезает (наступает синхронный режим – захват частоты) и радиостанция прослушивается чисто, причем сигналы соседних мешающих станций значительно подавляются. Дальнейшая перестройка в ту же сторону снова переводит приемник в режим биений, снова слышен свист, но уже повышающегося тона, пока не появится сигнал другой станции и явления не повторятся.

Автодинному синхронному приему свойственны и другие недостатки: недостаточная селективность в условиях сильных помех от соседних станций, слабая защищенность от мощных внеполосных сигналов. Очень мощная местная станция, например, может прослушиваться и при значительных расстройках единственного контура приемника. В какой-то мере эти недостатки компенсируются простотой схемы и конструкции приемника. Есть и пути их устранения. Рекомендуем, например, установить двухконтурный преселектор на входе приемника (см. выше), затем буферный УРЧ с очень небольшим усилением (вероятно, можно обойтись и без него), а затем – синхродин с хорошо заэкранированным контуром. Понадобится строенный блок КПЕ, довольно широко применявшийся в старых радиоприемниках.

Но вернемся к одноконтурному синхродину. Регулировка ПОС подгибанием проводников, разумеется, не слишком удобна, поэтому схема УРЧ была переработана так, чтобы была возможность регулировать ПОС переменным резистором, выведенным на переднюю панель приемника. Обратной связью теперь охвачен не весь усилитель, а только первый каскад на полевом транзисторе VT1 (рис. 5.23). Он собран по схеме Q-умножителя. Напряжение ПОС подается из истоковой цепи через регулятор ОС R1 на отвод емкостного делителя C2C3. Стабилизирующая ООС получается при протекании тока транзистора через резистор в цепи истока R3.

Второй каскад УРЧ, собранный по самой обычной схеме на биполярном транзисторе VT2, усиливает сигнал перед детектированием

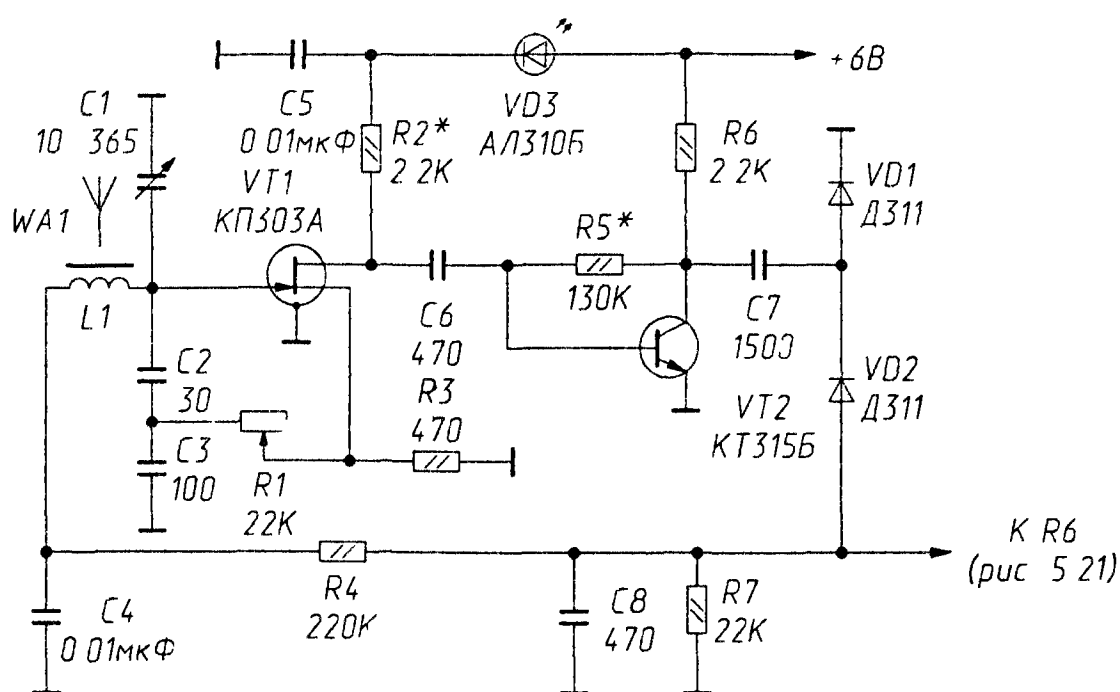


Рис 5 23 СВ синхродин с плавной регулировкой ОС

и повышает эффективность АРУ, действующей только в первом каскаде, то есть регулирующей не столько усиление, сколько коэффициент регенерации. Постоянные времени RC-цепочек в нагрузке детектора (R7C8) и фильтре АРУ (R4C4) значительно уменьшены, чтобы избежать «самомодуляции», или релаксационных колебаний амплитуды при слишком сильной ПОС, проявляющейся в виде свиста или гудения в громкоговорителе.

Налаживание этого варианта УРЧ состоит в подборе резисторов R2 и R5 до получения напряжений на стоке первого транзистора и коллекторе второго, примерно равных половине напряжения питания. Для более плавной регулировки ПОС резистор R1 целесообразно заменить цепочкой последовательно включенных переменного и постоянного (или подстроечного) резисторов, сопротивления которых подбираются при налаживании. Схема УЗЧ осталась без изменений. Результаты испытаний приемника с УРЧ по схеме рис. 5.23 такие же, как и предыдущего, но настройка удобнее и подход к порогу генерации «мягче». Радиостанции можно слушать как в обычном регенеративном режиме, установив ПОС несколько ниже порога генерации, так и в автодинном синхронном режиме, установив ПОС несколько выше порога. Для приема же местных станций сопротивление регулятора R1 устанавливают максимальным, ослабляя ПОС. При этом снижается чувствительность и расширяется полоса пропускания приемника, что обогащает звучание верхними частотами звукового спектра. По-прежнему рекомендуется использовать хороший громкоговоритель, например один из описанных в главе 3.

В заключение раздела приведем обобщенную структурную схему предложенного синхродина (рис. 5.24). Приемник содержит входной контур или даже двух-трехконтурный фильтр, на вход которого подается сигнал от антенны WA1, а на последний контур — сигнал ПОС с УРЧ А1. По частоте приемник перестраивается

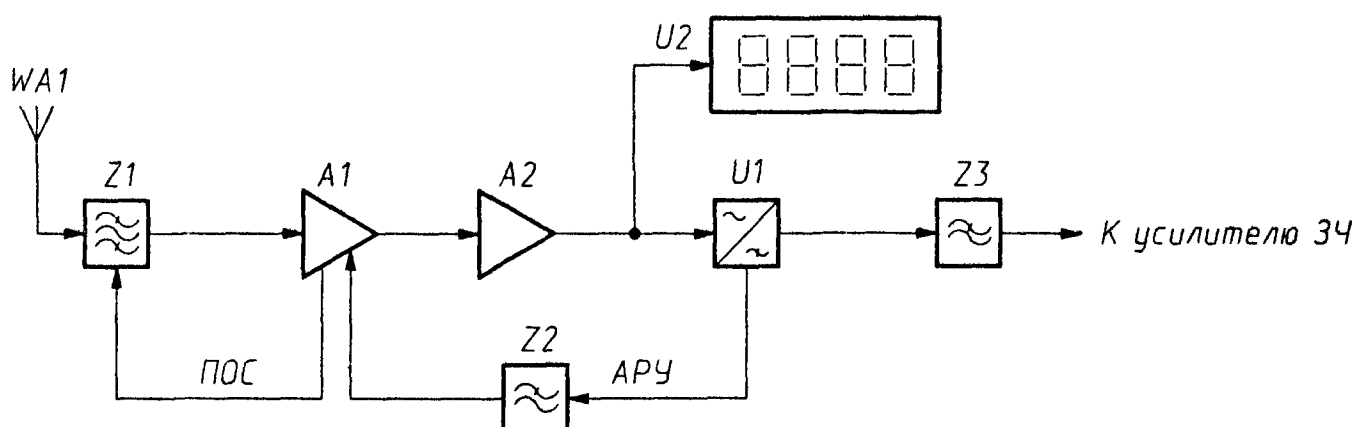


Рис. 5.24. Обобщенная структурная схема синхродина

только этим контуром или фильтром. Далее сигнал усиливается еще одним широкополосным УРЧ А2 и демодулируется амплитудным детектором U1. Постоянная составляющая протектированного сигнала через фильтр АРУ Z2 воздействует на УРЧ А1, регулируя усиление, а следовательно, и коэффициент регенерации. На выходе детектора включен ФНЧ Z3 с полосой пропускания от 50 Гц до 3,5–6,5 кГц, повышающий селективность приемника в синхронном режиме. Такое построение приемника позволяет стабилизировать собственные колебания на выходе контура или фильтра Z1 на малом уровне, что и обеспечивает работу в синхронном режиме с достаточной полосой захвата даже при слабых сигналах.

Еще одно уникальное достоинство предложенного приемника состоит в возможности подключения цифрового частотомера U2 к выходу УРЧ А2. Получается, как бы странно это ни звучало, приемник прямого усиления с цифровым отсчетом частоты. Действительно, во входном регенераторе А1 – Z1 благодаря ПОС всегда поддерживаются слабые собственные колебания. Усиленные в УРЧ А2, они достигают амплитуды, достаточной для работы детектора, системы АРУ и... частотомера. Без входного сигнала последний покажет частоту настройки преселектора Z1, а при настройке на станцию произойдет захват ее частоты и частотомер покажет точное значение частоты несущей.

Опыт с частотомером (тем самым, самодельным, который калибровался по сигналам ГСВЧ – см. выше описание ПЭЧ) был произведен, и вполне успешно. Но частотомер надо хорошо заэкранировать, по меньшей мере поместить в металлический корпус, и развязать по цепям питания. В противном случае счетчики частотомера создают наводку на магнитную антенну приемника, что нарушает плавность подхода к порогу генерации и искажает принимаемый сигнал. Меньше помех создают экономичные счетчики серии КМОП, быстроедействие которых вполне достаточно для работы в СВ диапазоне.

### 5.3.2. Синхродины КВ диапазона

Автор очень рад, что у него появились последователи и недавно было опубликовано описание КВ синхродина С. Коваленко [51]. Этот приемник рассчитан на работу в 25-метровом радиовещательном КВ диапазоне (11,7–12,1 МГц). Он достаточно прост и содержит только дешевые недефицитные детали. Первый каскад УРЧ собран

по схеме Q-умножителя на биполярном транзисторе VT1 и охвачен быстродействующей системой автоматической регулировки регенерации (рис. 5.25). Входной колебательный контур содержит рамочную антенну WA1 (ее индуктивность и служит индуктивностью контура) и конденсаторы C6 – C10. На рабочей частоте его добротность Q высока, поэтому эффективная действующая высота рамочной антенны  $h_d Q$  иногда достигает десятков метров. Такая антенна способна принимать довольно слабые сигналы. Фактором, ограничивающим чувствительность, могут стать собственные шумы транзистора VT1, поэтому имеет смысл заменить его на малошумящий, например КТ368А.

Второй каскад УРЧ собран по обычной схеме на транзисторе VT2 и нагружен диодным детектором с удвоением напряжения на диодах VD1, VD2. Начальный ток смещения для кремниевых диодов и одновременно для транзистора VT1 создается резисторами R1, R2 и R6. Через них же замыкается цепь автоматической регулировки регенерации (АРУ). Фильтром в этой цепи является конденсатор C2. Действует эта цепь так: при возрастании сигнала продетектированное напряжение отрицательной полярности действует на базу транзистора VT1 и закрывает его, уменьшая коэффициент регенерации. Сигнал ЗЧ с выхода детектора фильтруется конденсатором C13 и подается на однокаскадный УЗЧ, собранный на транзисторе VT3 и нагруженный на высокоомные телефоны. Выходная мощность УЗЧ – около 1 мВт, потребляемый приемником ток не превосходит 3 мА.

Катушка рамочной антенны бескаркасная, она имеет диаметр 200 мм и содержит два витка медного провода диаметром 1,5 мм,

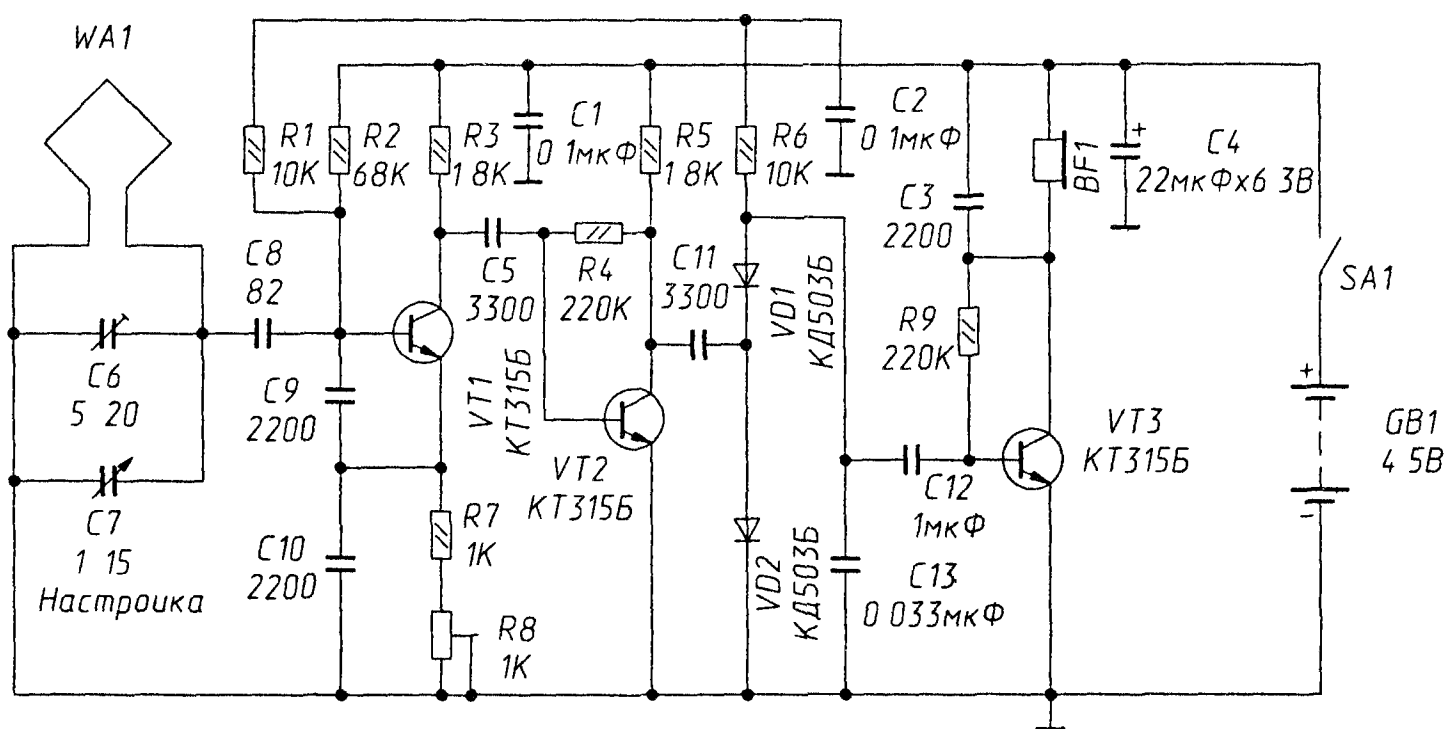


Рис 5.25 КВ синхродина С Коваленко

расстояние между витками – 10 мм. Витки для жесткости скреплены диэлектрическими вкладышами, а их выводы прикреплены винтами к изоляционной подставке. Можно попытаться использовать магнитную ферритовую антенну, но ферриты с большой магнитной проницаемостью в КВ диапазоне имеют недопустимо большие потери, поэтому стержень должен быть из феррита ВЧ20 или ВЧ30. Однако эффективность ферритовой антенны будет хуже, чем рамочной.

Как сообщается, предложенный вариант приемника хорошо принимает сигналы далеких радиостанций и по сравнению с простым супергетеродином дает более чистый прием за счет узкополосности и направленных свойств рамочной антенны, отсутствия зеркальных и интерференционных помех. Правда, эти преимущества реализуются, если нет мощных мешающих радиостанций.

Автор еще в 1992 г. также испытал описанный выше СВ синхродина на коротких волнах. Он предназначался для прослушивания любительских радиостанций в диапазоне 28–29,7 МГц (10 м). Схема его приведена на рис. 5.26. Отличий немного: изменены данные входного (и единственного) контура и номиналы некоторых деталей. Использован также другой УЗЧ, но это не принципиально. Связь входного контура с антенной емкостная, подстроечным воздушным конденсатором С1. Контур образован катушкой L1 и конденсаторами С2, С3, образующими емкостный делитель, на который и подается сигнал обратной связи. Регенеративный каскад собран на полевом транзисторе VT1 по схеме Q-умножителя. ОС регулируется резистором R1. Второй каскад УРЧ выполнен по обычной схеме на высокочастотном транзисторе VT2 и нагружен диодным детектором (VD1, VD2).

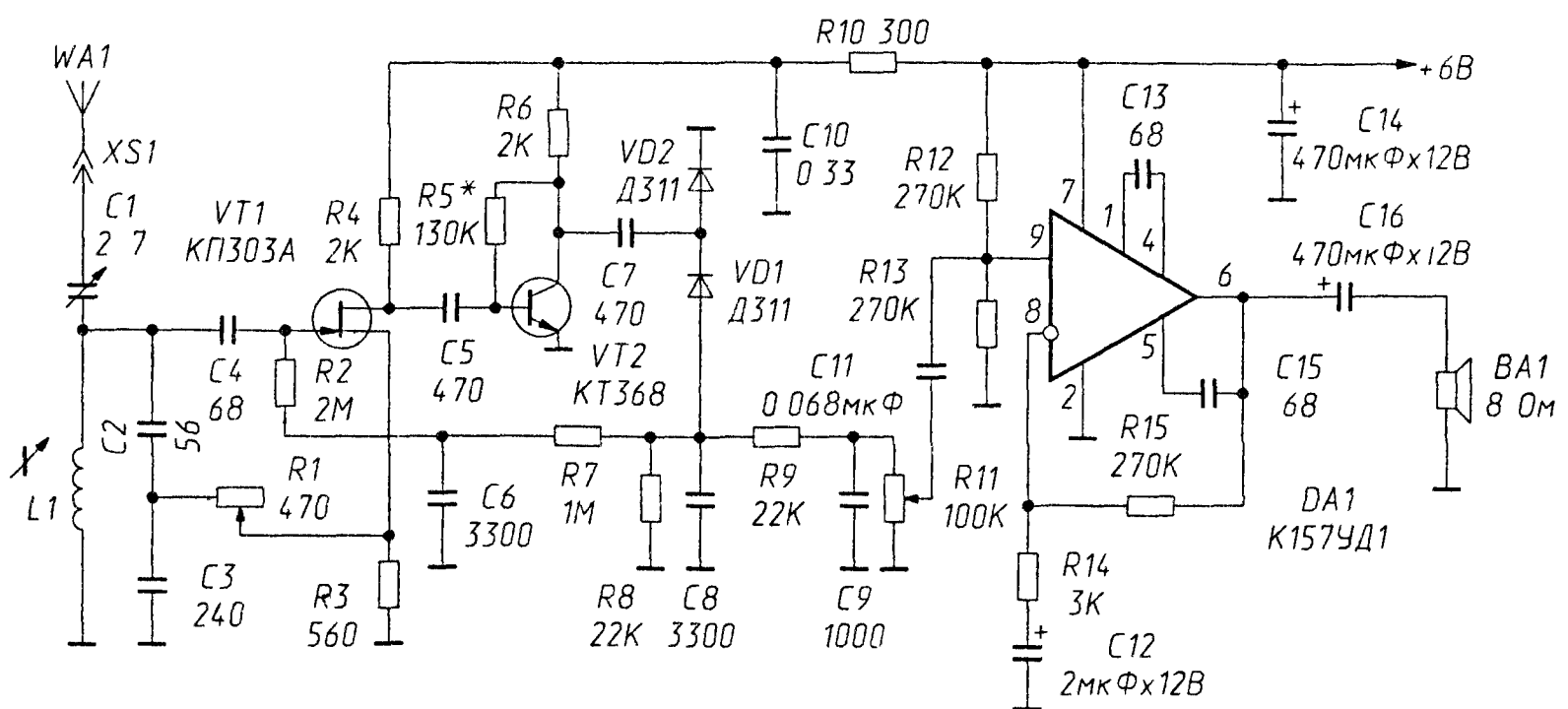


Рис 5 26 КВ синхродина с полевым транзистором

Сигнал АРУ, точнее АРР (автоматической регулировки регенерации), подается через фильтр R7C6 и резистор «утечки затвора» R2 на затвор полевого транзистора VT1. Продетектированный сигнал ЗЧ фильтруется элементами ФНЧ C8R9C9 и через регулятор громкости R11 подается на УЗЧ.

УЗЧ приемника [40] собран на операционном усилителе средней мощности DA1 по стандартной схеме включения. Резисторы R12 R13 делят напряжение питания пополам и устанавливают рабочую точку усилителя: постоянное напряжение на выходе также равно половине напряжения питания. На инвертирующий вход с выхода подается сигнал ООС. По постоянному току она стопроцентная, что жестко стабилизирует режим, а по переменному току звуковых частот она определяется делителем R15 и R14. Коэффициент усиления по напряжению примерно равен отношению сопротивлений этих резисторов, в нашем случае около 100. При шестивольтовом питании УЗЧ отдает более 0,1 Вт выходной мощности на нагрузке 8 Ом. Он может работать и при больших напряжениях, отдавая до 0,5 Вт при напряжении питания 12,6 В. Ток покоя мало зависит от напряжения питания и равен 4–5 мА. Разумеется, в приемнике допустимо применить и другой УЗЧ, равно как и этот УЗЧ можно использовать в других приемниках.

Вернемся к радиочастотной части. На конструктивное выполнение ее надо обратить серьезное внимание, иначе «влияние рук» и прочие нестационарности сделают работу с приемником невозможной. Приемник собран на небольшом шасси с металлической передней панелью. На нее выведены ручки конденсатора C1 (через диэлектрический удлинитель) и резисторов R1 и R11. Используются обычные переменные резисторы типа СП, но качество R1 должно быть хорошим, иначе шум подвижного контакта будет мешать точной установке ОС.

Для настройки подойдет триммер с воздушным диэлектриком типа КПВ, такой же, как для связи с антенной, но подключенный параллельно катушке. Автор поступил иначе: в старых «запасах» нашелся керамический каркас с металлическим основанием и резьбовым отверстием М4 в торце. Основание каркаса было закреплено на передней панели, а для настройки в отверстие ввинчивался латунный винт с ручкой на конце. Металлический сердечник при завинчивании в катушку уменьшает ее индуктивность. Если же на винте закрепить сердечник из магнитодиэлектрика, индуктивность будет увеличиваться. Настройка получается очень плавной и удобной, но

для такого механизма трудно придумать шкалу. Люфт сердечника в резьбовом отверстии также недопустим. Сама же катушка L1 содержит 6 витков посеребренного провода диаметром 0,7–1,5 мм. Диаметр каркаса 23 мм, длина намотки 27 мм. Для других диапазонов данные контура могут быть и другими.

Этот синхродин обеспечил очень мягкий подход к порогу генерации. Прослушивались собственные шумы как до порога, в режиме регенератора, так и за порогом, в режиме автодина. Чувствительность приемника была измерена с помощью генератора стандартных сигналов, 50-омный выход которого подключался между разъемом антенны XS1 и общим проводом. При приеме АМ сигнала (и тщательной установке ПОС вблизи порога генерации) она оказалась примерно 1 мкВ, а в режиме автодинного приема телеграфного сигнала еще выше – около 0,5 мкВ.

Во время прохождения радиоволн на 10-метровом диапазоне можно было прослушивать дальние телеграфные станции (АМ коротковолновники не используют) даже на отрезок провода длиной около 1,5 м, подключенный вместо антенны. Теперь этому приемнику нашлось новое применение – слушать станции гражданского Си-Би диапазона 27 МГц, правда с АМ там работают тоже мало, предпочитая узкополосную ЧМ. Кстати, ЧМ довольно неплохо принимается при небольшой расстройке контура приемника относительно несущей: на скате резонансной кривой ЧМ превращается в АМ и с успехом детектируется. Ну и наконец, увеличив число витков катушки или использовав рамочную антенну, можно настроить приемник на радиовещательные КВ диапазоны.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Поляков В. Т. Посвящение в радиоэлектронику. – М.: Радио и связь, 1988.
2. Борисов В. Г. Юный радиолюбитель. – М.: Радио и связь, 1985.
3. Чистяков Н. И., Сидоров В. М. Радиоприемные устройства. – М.: Связь, 1974.
4. Мейнке Х., Гундлах Ф. В. Радиотехнический справочник. Т т. 1 и 2. – М.–Л.: ГЭИ, 1961.
5. Гинкин Г. Г. Справочник по радиотехнике. – М.–Л.: ГЭИ, 1948.
6. Справочник радиолюбителя-конструктора // Под ред. Р. М. Малинина. – М.: Энергия, 1977.
7. Варбанский А. Организация мирового радиовещания // Радио. – 1991. № 6. – С. 14–17.
8. Гусятинский И. А., Пирогов А. А. Радиосвязь и радиовещание. – М.: Советское радио, 1974.
9. Синхронное радиовещание // Под ред. А. А. Пирогова. – М.: Радио и связь, 1989.
10. Очерки истории радиотехники. – М.: Изд. АН СССР, 1960.
11. Белоцерковский Г. Б. Антенны. – М.: ГИОП, 1956.
12. Поляков В. Радиоприемные антенны // Радио. – 1998. № 2. – С. 44.
13. Шепелев Г. Простой индикатор поля. Радиолюбитель. – 1993. № 6. – С. 24.
14. Беседин В. Еще один... // Радиолюбитель. – 1994. № 6. – С. 34.
15. Вахитов Я. Ш. Теоретические основы электроакустики и электроакустическая аппаратура. – М.: Искусство, 1982.
16. Шоров В. Акустический агрегат с повышенным КПД на низких частотах // Радио. – 1970. № 6. – С. 34.
17. Поляков В. «Вечноговорящее радио» // Радио. – 1997. № 5. – С. 23.
18. Псурцев В. Открытие амплитудного диодного детектора // Радио. – 1986. № 1. – С. 33.
19. Балашов М., Беляков В. «Громкоговорящий» детекторный приемник // Радио. – 1982. № 9. – С. 50.
20. Поляков В. О питании радиоприемников «свободной энергией» // Радио. – 1997. № 1. – С. 22–23.
21. Radio-Electronics. – 1966. № 2.
22. Приемник с питанием от свободной энергии // Радио. – 1966. № 7. – С. 57.

23. Федоров А. Приемник без источника питания // Радио. – 1993. № 11. – С. 14.
24. Прокопцев Ю. Приемник с питанием от энергии поля // Радио. – 1997. № 12. – С. 12.
25. Поляков В. Рамочная средневолновая антенна // Радио. – 1994. № 1. – С. 19.
26. Поляков В. «Карманный» для рыбалки // Радио. – 1994. № 6. – С. 24.
27. Поляков В. Чувствительный амплитудный детектор // Радио. – 1994. № 7. – С. 10.
28. Турчинский Д. Миниатюрный радиоприемник // Радио. – 1999. № 1. – С. 30.
29. Поляков В. Одноконтурный приемник прямого усиления // Радио. – 1984. № 10. – С. 49.
30. Поляков В. Двухконтурный преселектор приемника прямого усиления // Радио. – 1993. № 12. – С. 12.
31. Поляков В. Средневолновый приемник прямого усиления // В помощь радиолюбителю, вып. 95. – М.: Изд-во ДОСААФ, 1986. – С. 41.
32. Поляков В. Транзисторный громкоговорящий // Радио. – 1994. № 8. – С. 23.
33. Тимофеев В. Усилитель ЗЧ для приемников с батарейным питанием // Радио. – 1999. № 4. – С. 49.
34. Маслаев В., Сергеев Б. Схемотехника «карманных» приемников // В помощь радиолюбителю, вып. 106. – М.: Патриот, 1990. – С. 3.
35. Поляков В., Сергеев Б. Эффективность, качество и простота // Радио. – 1987. № 6. – С. 51.
36. Хрусталева А. А. ZN414Z – радиоприемник в корпусе транзистора // Chip News. – 1996. № 1. – С. 12.
37. Нечаев И. Радиолюбительские конструкции на микросхеме КР174УН23 // Радио. – 1997. № 2. – С. 36.
38. Янчук И. Радиоприемник на микросхеме К174ХА10 // Радио. – 1991. № 12. – С. 72.
39. Нечаев И. Радиоприемник на многофункциональной микросхеме // Радио. – 1994. № 7. – С. 18.
40. Поляков В. Универсальный усилитель ЗЧ // Радио. – 1994. № 12. – С. 34.
41. Словарь радиотерминов // Под ред. С. П. Чумакова и С. Э. Хайкина. – М.: Радиоиздат, 1937.

42. Поляков В. Генераторы синусоидальных колебаний // Радио. – 2000. № 6. – С. 55.
43. Харкевич А. А. Нелинейные и параметрические явления в радиотехнике. – М.: ГИТТЛ, 1956.
44. Гольд্রেер И. Г. Ламповый каскад с обратной связью. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1954.
45. Михайлов В. Тракт РЧ для приемников // Радио. – 1995. № 3. – С. 21.
46. Поляков В. Приемник эталонной частоты // Радио. – 1988. № 5. – С. 39.
47. Краснов Ю., Пушкин С. Служба времени и частоты в СССР // Радио. – 1983. № 2. – С. 14.
48. Борисочкин В., Каган С., Черенков Г. Эталонные сигналы частоты и времени // Радио. – 2000. № 2. – С. 67.
49. «Последний из могикан...» // Радио. – 1997. № 4. – С. 20.
50. Поляков В. Автодинный синхронный приемник // Радио. – 1994. № 3. – С. 11.
51. Коваленко С. Регенеративный КВ приемник // Радио. – 1999. № 2. – С. 21.
52. World Radio TV Handbook. VRTN vol. 44, 1990.
53. Wave Handbook. Sony Corp. Japan, 3-893-802-11.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Когда создавалась эта книга, оказалось, что ее объем уже больше, чем предполагалось, а не изложено и половины того, о чем хотелось бы сказать. Не вошел материал о простых УКВ приемниках, в том числе и детекторных, о синхронных приемниках с фазовой автоподстройкой частоты, способных принимать и АМ, и ЧМ сигналы, о простых, сложных и совсем сложных супергетеродинных приемниках, в частности полупрофессиональных и профессиональных, предназначенных как для радиовещания, так и для связи. Наконец, надо рассказать и о перспективных видах радиовещания с излучением одной боковой полосы частот в АМ диапазонах, о возможностях развития цифрового радиовещания. Стало совершенно очевидно, что нужна вторая книга, в которую и должны войти все перечисленные темы. Пока же прощаемся с вами, уважаемый читатель, ждем отзывов об этой книге, а также пожеланий относительно следующей.

# ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

## А

- Автодин 200
- Автодинный прием 221
- Автоматическая регулировка усиления (АРУ) 161, 167
- Акустическая
  - мощность 100
  - система 102
- АМ сигнал 61
- Амплитудная модуляция 44
  - боковые
    - полосы 46
    - частоты 45
  - коэффициент модуляции 44
  - спектры сигналов 44
- Антенна 18
  - Бевереджа 93
  - волновой канал 22
  - Г- и Т-образная 65
  - действующая высота 75
  - диполь 63
  - емкостная нагрузка 64
  - зонтичная 67
  - комнатная 70
  - коэффициент эффективности антенны 20
  - КПД 78
  - магнитная 63, 144
  - наклонный луч 65
  - направленная 22
  - рамочная 94, 146
  - распределение тока 74, 75

- с магнитной связью 71
- собственная длина волны 74
- сопротивление излучения 75
- суррогатная 70
- типы 63
- электрическая 63

## Б

- Биения 222
- Блокировочный конденсатор 62

## В

- Вариометр 82
- Вольтодобавка 169

## Г

- Гальваническая батарея 151
- Генератор 200
- Гетеродин 50
- Грозозащита 68
- Громкоговоритель 98
  - КПД 100
  - отдача 100
  - чувствительность 101
  - электродинамический 100
- Громкость звука 98

## Д

- Детектирование 61
  - двухполупериодное 111
  - искажения 112, 167

мостовая схема 112  
сеточное 202  
транзисторными ключами 114

### Детектор

амплитудный 159  
диодный 116  
истоковый 142  
транзисторный 116

Децибел 98

Диод 61

Длина волны 14

## Е

Емкостная связь 83

Емкостное сопротивление 57

## З

Заземление 64, 67, 92  
сопротивление 78

Замирания 40

Захват частоты 222

Звуковые

волны 99  
колебания 42  
пик-фактор 43  
спектр звуковых частот 43

## И

Индуктивное сопротивление 57

Ионосфера 36

критическая частота 37

МПЧ 37

поглощение 37

слои 36

## К

Когерер 12

Колебательный контур 56

добротность 58

затухание 58

полоса пропускания 60  
резонансная кривая 58, 173  
характеристическое  
сопротивление 57, 204

## Л

Литцентрат 84

## М

Микрофон 42

Модулятор 44

Мощность 73

## Н

Напряженность

магнитного поля 16

электрического поля 16

Несущая 44

## О

Отношение сигнал/шум 41

## П

Период колебаний 14

Повторитель

истоковый 145

эмиттерный 124

Положительная обратная  
связь См Регенератор

Помехи

атмосферные шумы 41

импульсные 41

искусственные 41

тепловые шумы 41

Проводное вещание 133

**Р**

- Радиоволны 10, 14, 33
  - дифракция 34
  - поверхностные 34
  - пространственные 36
- Радиоприемник 48
  - детекторный 56
  - динамический
  - диапазон 53, 54
  - полоса пропускания 52
  - прямого усиления 48, 172
  - радиотракт 48
  - реальная селективность 53
  - селективность 48, 52
  - супергетеродинный 49
  - См также Супергетеродин
  - чувствительность 51
- Регенератор 200
  - коэффициент регенерации 205

**С**

- Сверхрегенератор 226
- Синхродин 200, 228, 234
- Синхронное радиовещание 27
- Скин-эффект 148
- Смеситель 50
- Структура электромагнитной волны 13
- Супергетеродин 49
  - зеркальный канал 50
  - побочные каналы приема 50

- преобразователь частоты 49
- промежуточная частота (ПЧ) 50

**Т**

- Телефоны 62, 90, 154
- Ток покоя 169
- Трансформатор 89

**У**

- Угловая частота 45
- Уравнения Максвелла 11
- Усилитель 49
  - апериодический 49
  - двухтактный 124
  - мостовой 126
- Условия согласования 74

**Ф**

- Фигура Лиссажу 216
- Фильтр
  - двухконтурный 174
  - пьезокерамический 50

**Ч**

- Частотная модуляция 47
  - спектр сигнала 47

**Э**

- Электродинамика 11
- Электромагнитные волны 11
- Эталонные сигналы 27

Поляков Владимир Тимофеевич

**Техника радиоприема**  
**Простые приемники АМ сигнала**

Главный редактор *Захаров И М*  
Литературный редактор *Готлиб О В*  
Технический редактор *Прока С В*  
Верстка *Пискунова Л П*  
Графика *Бахарев А А*  
Дизайн обложки *Антонов А И*

ИД № 01903 от 30 05 2000

Подписано в печать 23 01 2001 Формат 60×88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Гарнитура «Петербург» Печать офсетная  
Усл печ л 16 Тираж 5000 экз Зак № 78

Издательство «ДМК Пресс», 105023, Москва, пл Журавлева, д 2/8  
Отпечатано в типографии № 9 Волочаевская, 40