

В. А. Козловский

# 500 схем

для радиолюбителей

## УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ РАДИОСТАНЦИЙ



Настольная книга радиолюбителя-коротковолновика. Полезные схемные решения. Пошаговое руководство по самостоятельному изготовлению: принципы работы, схемотехника, печатные платы. Советы и секреты.



**В. А. Кляровский**

**500 схем для радиолюбителей**

**Усилители мощности  
любительских радиостанций**



---

**Наука и Техника  
Санкт-Петербург**

**2008**

# Содержание

Кляровский В.А.

500 схем для радиолюбителей. Усилители мощности любительских радиостанций. — СПб.: Наука и техника, 2008. — 256 с.: ил.

ISBN 978-5-94387-384-3

Серия «Радиолюбитель»

Книга продолжает ряд тематических изданий в серии «Радиолюбитель». Названия этих книг начинаются словами «500 схем...» с уточняющими названиями: «Приемники», «Источники питания», «Радиостанции и трансиверы», «Шпионские штуки», «Дистанционное управление моделями». В данной книге представлены схемные решения УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ ЛЮБИТЕЛЬСКИХ РАДИОСТАНЦИЙ.

Многие радиолюбители занимаются самостоятельным изготовлением линейных усилителей мощности. Это вызвано, с одной стороны, высокой стоимостью фирменной аппаратуры, а с другой — желанием собрать конструкцию согласно индивидуальным требованиям.

При разработке усилителя автором была поставлена задача создать конструкцию, соответствующую фирменному уровню, но достаточно простую для повторения. В книге подробно описан усилитель в универсальном корпусе, который позволяет применять любые радиолампы от ГУ-50 до ГУ-81М и ГУ-78Б. Рассмотрена схемотехника и работа всех его узлов, наиболее важные схемные и конструктивные решения фирменной аппаратуры. Эти решения можно успешно использовать и для модернизации аппаратуры.

Впервые подробно изложены вопросы охлаждения металлокерамических ламп, защита их по току, порядок настройки ирек азлов усилителя. Книга будет полезна радиолюбителям как при эксплуатации и ремонте, так и в случае приобретения готового усилителя.

Автор и издательство не несут ответственности за возможный ущерб, причиненный в результате использования материалов данной книги.

Контактные телефоны издательства  
(812) 567-70-25, 567-70-26  
(044) 516-30-66

Официальный сайт: [www.nit.com.ru](http://www.nit.com.ru)

© Кляровский В. А. (РА1WТ)

© Наука и Техника (оригинал-макет), 2008

ООО «Наука и Техника».

196067, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29.

Подписано в печать. Формат 60×88 1/16.

Бумажга газетная. Печать офсетная. Объем 16 п. л.

Тираж 3000 экз. Заказ № 834

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Петроцентр»  
Обособленное подразделение «Пушкинская типография»

196601, г. Пушкин, ул. Средняя, д. 3/8

тел. (812) 451-90-00

Предисловие .....	9
<b>1. Усилители мощности для радиосвязи .....</b>	<b>11</b>
Состав радиостанции .....	11
Преимущества и недостатки ламповых и транзисторных каскадов .....	11
Сравнение типовой цены трансивера и усилителя .....	14
<b>2. Рекомендации по эксплуатации генераторных ламп .....</b>	<b>17</b>
Полезные советы .....	17
Схема релейной защиты первой сетки .....	20
Схема защиты сетки с автоматическим разблокированием .....	20
<b>3. Режимы работы ламп .....</b>	<b>23</b>
Графики режимов работы лампы .....	23
Показатели, характеризующие режимы работы лампы .....	24
Угол отсечки анодного тока .....	24
Коэффициент использования анодного напряжения .....	28
Нагрузочная характеристика .....	29
Потребляемая мощность .....	31
Эквивалентное сопротивление лампы .....	32
О роли стабильности напряжения .....	32
<b>4. Схемы включения ламп и входные цепи .....</b>	<b>33</b>
Варианты схемы включения .....	33
Каскады с общей сеткой .....	35
Каскады с общим катодом .....	37
<b>5. Цепи питания управляющей сетки .....</b>	<b>43</b>
Смещение .....	43
Режимы работы .....	44



9 785943 873843

ISBN 978-5-94387-384-3

<b>6. Схемы получения управляющего напряжения для ALC</b> .....	<b>49</b>
<b>7. Цепи питания экранной сетки</b> .....	<b>51</b>
<b>8. Цепи анодного питания</b> .....	<b>55</b>
8.1. Схемы анодного питания .....	55
Варианты цепей анодного питания .....	55
Параллельная схема .....	55
Последовательная схема .....	56
Применение схем .....	57
8.2. Проверка частот последовательного резонанса дросселя ..	58
<b>9. Анодный источник питания</b> .....	<b>61</b>
<b>10. Колебательная система</b> .....	<b>73</b>
Виды колебательных систем .....	73
Параметры колебательных систем .....	73
Наиболее распространенные колебательные системы .....	76
Расчет П-контура .....	78
Расчет ПЛ-контура .....	81
Регулировка и настройка П-контура и ПЛ-контура .....	82
Пример определения добротности П-контура .....	86
Конструкция колебательной системы .....	89
Варианты изготовления цилиндрических катушек .....	89
Тороидальная катушка .....	91
Расчеты катушек .....	93
Конструктивное решение П-контура усилителя KENWOOD TL-922 .....	94
<b>11. Переключатели диапазонов</b> .....	<b>97</b>
11.1. Переключатели с ручным управлением .....	97
Механические переключатели .....	97
Релейный переключатель диапазонов .....	104
11.2. Автоматическое переключение диапазонов .....	105

<b>12. Дополнительные фильтры для подавления помех</b> .....	<b>108</b>
Виды помех и применяемые фильтры .....	108
Параметры фильтров .....	108
Порядок проектирования ФНЧ Чебышева .....	111
ФНЧ Чебышева 9-го порядка .....	115
Порядок проектирования ФВЧ Чебышева .....	118
ФВЧ Чебышева 9-го порядка .....	120
<b>13. Переключатели РХ/ТХ</b> .....	<b>122</b>
Особенности включения и выключения .....	122
Варианты схем .....	122
Переключатель повышенной сложности .....	124
Варианты схемных решений из литературы .....	126
<b>14. Системы воздушного охлаждения в усилителях мощности</b> ..	<b>127</b>
14.1. Общие сведения .....	128
Типы применяемых вентиляторов .....	128
Схемы работы вентилятора .....	129
Методика расчета .....	130
Недостатки методики расчета .....	133
Оценка эффективности различных систем охлаждения ..	133
14.2. Системы охлаждения с осевым вентилятором .....	135
Схемы обдува .....	135
Боковая схема обдува .....	136
Сравнение вытяжной и приточной схемы .....	137
Испытание двухвентиляторных схем обдува .....	139
Определение расстояния между вентилятором и радиатором .....	141
Определение зазора В между радиатором и воздуховодом .....	142
Результаты испытаний вытяжной системы охлаждения с осевым вентилятором .....	143
14.3. Системы охлаждения с центробежным вентилятором ..	146
Основные способы обдува .....	146
Сравнение вытяжной схемы и приточной схемы с осевым потоком .....	147
Испытание приточной схемы с боковым потоком .....	148

14.4. Уменьшение шума при работе системы охлаждения.....	150
Способы снижения шума .....	152
Пути уменьшения шума осевого вентилятора.....	155
14.5. Защита лампы от перегрева.....	156
Защита при аварийной остановке вентилятора .....	156
Охлаждение лампы после аварийной остановки вентилятора .....	158
Защита от перегрева при повышенном тепловыделении .....	158
14.6. Рекомендации для изготовления систем охлаждения.....	160
Рекомендации по результатам испытаний.....	160
Определение подачи вентилятора в SSB- и CW-режимах.....	161
Влияние анодного крепления панельки на охлаждение лампы .....	162
Размещение системы охлаждения в корпусе усилителя.....	163
<b>15. Усилитель мощности в универсальном корпусе .....</b>	<b>165</b>
15.1. Принцип открытой архитектуры в усилителях мощности .....	165
Особенности открытой архитектуры.....	165
Состав типового усилителя .....	165
Варианты изготовления усилителя .....	167
15.2. Принципиальная схема усилителя и детали .....	170
<b>16. Конструкция усилителя .....</b>	<b>188</b>
16.1. Компоновка усилителя .....	188
Варианты конструкции .....	188
Конструкция с релейным переключением диапазонов .....	188
Универсальная компоновка .....	191
16.2. Конструкция корпуса и печатных плат .....	196
<b>17. Настройка усилителя .....</b>	<b>214</b>
Необходимые контрольно-измерительные приборы .....	214
Плата A1 .....	214
Плата A2 .....	216
Плата A3 .....	216
Плата A4 .....	218
Блок A5 .....	219

Плата A6 .....	220
Плата A7 .....	221
Проверка автомата защиты экранной сетки по току в режиме TX .....	222
Плата A8 .....	223
Проверка автомата защиты анода по току в режиме TX .....	224
Плата A9 .....	225
Плата A10 .....	227
Анодный дроссель L4 .....	227
П-контур .....	230
Переключатель диапазонов.....	234
Антипаразитный дроссель L3-R7 .....	236

<b>Список литературы и ресурса Интернет .....</b>	<b>238</b>
---	------------

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Многие радиолюбители занимаются самостоятельным изготовлением линейных усилителей мощности. Это вызвано, с одной стороны, высокой стоимостью фирменной аппаратуры, а с другой — желанием собрать конструкцию согласно индивидуальным требованиям.

В 2006 году вступило в действие решение Госкомиссии по радиочастотам РФ об увеличении разрешенной мощности для радиолюбительских станций до 1 кВт. В связи с этим установлены более жесткие нормы к качеству излучения передатчиков — потребуется уделять больше внимания грамотному изготовлению, настройке и эксплуатации усилителей мощности.

Однако подобные вопросы практически не рассматривались на страницах журналов, отсутствуют книги с систематизированным и доступным для радиолюбителей изложением материала.

**Примечание.** Настоящее издание восполняет этот пробел: впервые в одной книге рассмотрены принципы работы, схемотехника, конструкторские решения, применяемые в аппаратуре ведущих производителей. Особое внимание уделяется вопросам охлаждения металлокерамических ламп, защите по току, а также методикам настройки узлов усилителя.

Вариант конструкции, предложенный автором, позволяет (за счет использования универсального корпуса) приме-

нять разнообразные радиолампы — от ГУ-50 до ГУ-81М или ГУ-78Б.

Хорошая повторяемость конструкции обеспечивается многочисленными иллюстрациями — издание содержит 112 схем и рисунков (включая 23 чертежа деталей универсального корпуса и печатных плат), необходимых для изготовления усилителя: следуя рекомендациям автора, радиолюбители смогут самостоятельно изготовить устройство, удовлетворяющее самым высоким требованиям.

Материалы книги будут полезны и в случае приобретения готового изделия, а также при эксплуатации усилителей.

Автор выражает благодарность **Алексю Старкову** (UA1BX), **Анатолию Матруничу** (EU1AU), **Игорию Логинову** (UA1XN), **Владимиру Романову** (RZ3BA).

## 1. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ ДЛЯ РАДИОСВЯЗИ

### Состав радиостанции

При мощности свыше 100 Вт радиостанция, как правило, состоит из двух отдельных частей:

- трансивера (приемопередатчика) с выходной мощностью 10—100 Вт;
- усилителя мощности с необходимым коэффициентом усиления.

*Совет. Лучший усилитель — это антенна. Поэтому сразу после приобретения трансивера целесообразно все средства направить на создание полноразмерных и направленных антенн. Это даст наибольшую отдачу вложений. И только затем следует устанавливать усилитель мощности.*

### Преимущества и недостатки ламповых и транзисторных каскадов

Усилительный каскад может быть ламповым или транзисторным. Рассмотрим их преимущества и недостатки.

**Коэффициент усиления по мощности.** У транзисторного двухтактного каскада коэффициент усиления по мощности составляет 10—20 раз. Для лампового каскада также он составляет:

- 10—20 в схеме с общей сеткой;
- 25—150 в схеме с общим катодом.

Здесь лампа имеет большое преимущество.

**Примечание.** *Ламповые усилители имеют большой КПД.*

**Надежность.** Ламповые усилители надежнее транзисторных. Полную защиту лампы от нештатных ситуаций обеспечивают несложные релейные схемы. В транзисторных усилителях схемы защиты от высоких КСВ значительно сложнее.

**Примечание.** *Коэффициент стоячей волны характеризует степень согласования антенны и фидера (также говорят о согласовании выхода передатчика и фидера). На практике всегда часть передаваемой энергии отражается и возвращается в передатчик. Отраженная энергия ухудшает работу передатчика и может его повредить. КСВ рассчитывается следующим образом:  $КСВ = (W_{\text{над}} + W_{\text{отр}}) / (W_{\text{над}} - W_{\text{отр}})$ , где  $W_{\text{над}}$  — падающая энергия,  $W_{\text{отр}}$  — отраженная энергия. В идеале  $КСВ = 1$ , значения до 2 считаются приемлемыми.*

**Массо-габаритные характеристики.** Радиатор транзистора при одинаковой мощности имеет большие габариты, чем радиатор лампы (а чаще — даже большие, чем у лампы с радиатором вместе взятых). Это связано с тем, что максимально допустимая температура у транзистора примерно в 3 раза ниже, чем у лампы. Следовательно, его радиатор для той же теплоотдачи должен быть соответственно больше. В результате габариты лампового каскада будут намного меньше транзисторного.

**Стоимость.** Цены на лампы и транзисторы при мощности до 200—500 Вт примерно равные. С увеличением мощности относительная цена транзисторов (руб/Вт) возрастает.

**Особенности источника питания.** Технически гораздо проще сделать источник питания с высоким напряжением

и малым током для ламп, чем с небольшим напряжением и током в 10—20 ампер для транзисторов.

**Входное и выходное сопротивления.** У транзисторов входное и выходное сопротивления в большей степени зависят от частоты. Поэтому они имеют большой коэффициент неравномерности усиления по диапазонам. Фактически без эффективной АLC они не работоспособны.

**Примечание.** *АLC (automatic level control) — автоматическая регулировка уровня (сигнала).*

**Линейность характеристики.** В ламповых усилителях легко достигается равномерность усиления на всех диапазонах. Усилители мощности на полевых транзисторах уступают по линейности ламповым каскадам.

**Особенности.** На первый взгляд, преимуществом транзисторного усилителя является его широкополосность и, как следствие, отсутствие диапазонных контуров. Но переключаемые ФНЧ (фильтры низкой частоты) на выходе занимают не меньше места, чем П-контур в ламповом усилителе. Фактически, преимущество широкополосного транзисторного усилителя состоит лишь в том, что не нужно подстраиваться внутри диапазона. Но эта цель достигается и в ламповом каскаде с переключаемыми контурами.

**Механическая прочность и срок службы.** По сравнению с радиолампами (в стеклянном оформлении), транзисторы имеют два бесспорных преимущества. Это большая механическая прочность и больший срок службы.

**Примечание.** *Металлокерамические лампы обладают не меньшей механической прочностью, а реальные (с учетом нештатных ситуаций) сроки службы таких ламп и транзисторов сопоставимы.*



Учитывая вышесказанное, можно сделать следующие выводы.

**Вывод 1.** Применение транзисторных усилителей оправдано в трех случаях:

- при мощности передатчика до 200—500 Вт;
- на транспортных средствах при питании от бортовой сети, так как вес и цена усилителя уменьшаются из-за отсутствия блока питания; кроме того, транзисторы отличаются большей вибростойкостью;
- при длительной круглосуточной работе из-за большей долговечности полупроводников.

**Вывод 2.** В стационарных радиостанциях, работающих от сети, более выгодно применение усилителей на радиолампах. Последние надежнее в нештатных ситуациях, имеют больший КПД и больший коэффициент усиления при меньших габаритах, весе и стоимости. Стационарные усилители не испытывают динамических нагрузок, а срок службы ламп при некруглосуточной работе вполне достаточен для длительной эксплуатации.

#### Сравнение типовой цены трансивера и усилителя

Усилитель представляет из себя только один каскад, поэтому он значительно проще, чем трансивер, но его цена (см. табл. 1.1) в 2—3 раза выше [51, 53, 55].

Это вызвано четырьмя причинами.

- **Во-первых**, усилитель гораздо более металлоемкий. Его вес обычно в 5—10 раз превышает вес трансивера.
- **Во-вторых**, усилители изготавливаются в меньшем количестве, чем трансиверы. А мелкосерийное или штучное производство всегда дороже.
- **В-третьих**, в нем применяется много дорогих, специальных деталей, которые также изготавливаются малосерийно. Кроме радиолампы с панелькой, это:

- переключатель диапазонов, который способен выдерживать ток в десятки ампер;
- постоянные и переменные конденсаторы, рассчитанные на большие напряжения и реактивную мощность;
- высоковольтный блок питания;
- большое количество других специфических деталей.
- **В-четвертых**, высокая цена обусловлена сложностью конструкции. В ограниченном объеме должны слаженно работать:
  - высоковольтный источник напряжения и слаботочные цепи электроники;
  - радиолампа с  $t = 150—200\text{ }^\circ\text{C}$ , которая выделяет сотни ватт тепла;
  - малошумящая вентиляторная установка для ее охлаждения.

Огромные токи и напряжения колебательной системы не должны вызывать высокочастотные наводки и сбои в работе вспомогательных электронных схем.

Высокая стоимость фирменных усилителей подталкивает радиолюбителя к их самостоятельному изготовлению вследствие ряда факторов.

**Вывод.** *Собрать в домашних условиях усилитель (несмотря на его более высокую рыночную стоимость) проще, чем трансивер, — сложность усилителя в основном вызвана конструктивным исполнением, т. е. схемотехника сводится к единственному каскаду усиления (как отмечалось выше).*

Комплектующие на внутреннем рынке можно приобрести сравнительно недорого. В собственной конструкции радиолюбителю не обязательно копировать все схемотехнические решения фирменных устройств: например, отсутствие таймеров создает некоторый дискомфорт, но никак не сказывается

на результатах работы в эфире. Настройка усилителя также проще, чем трансивера, и для ее осуществления требуется меньшее количество приборов.

Цены на трансиверы и усилители

Таблица 1.1

Название	Выходная мощность, Вт	Цена, \$
<b>Трансиверы</b>		
IC-718	100	770
FT 840	100	990
FT 920	100	990
FT 817	5	1100
TS-570D	100	1500
IC-746	100	1850
TS-870S	100	2100
IC-756PRO	100	2800
FT 1000D	200	4950
<b>Ламповые усилители мощности</b>		
Ameritron AL-1200	1200	2495
Kerwood TL-922	1300	3700
Commander HF-2500	1500	4700
ETO-91p	1500	4700
ACOM-2000	1500	5500
Commander HF-2500E	3500	8700
<b>Транзисторные усилители мощности</b>		
IC-PW 1	1000	5107
YAESU VL 1000	1000	7100

## 2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ГЕНЕРАТОРНЫХ ЛАМП

**Внимание.** Надежная работа генераторных ламп зависит от правильного выбора режимов их эксплуатации.

### Полезные советы

**Рекомендация 1.** Сопротивление холодной нити накала намного меньше, чем в нагретом состоянии, поэтому при включении через нее проходит пусковой ток, в несколько раз превышающий номинальный. Это приводит к повышенному износу и уменьшению срока службы подогревателя (катода — для прямонакальной лампы). Для уменьшения броска тока следует применять ступенчатое включение напряжения. Это достигается с помощью резистора в первичной обмотке накального трансформатора, который через 5—10 с после включения замыкается контактами реле [35].

**Рекомендация 2.** В процессе работы оксидного катода образуется облако объемного заряда (т. е. облако электронов) между сеткой и катодом. Этот заряд защищает оксидный слой катода от прямого воздействия анодного напряжения. В противном случае положительное поле анода повреждает оксидный слой. При включении лампы перед подачей высокого напряжения катод должен разогреться до появления защитного облака. Время разогрева катода указывается в технической характеристике лампы. Например, для ГУ-78Б оно равно 4 мин [19, 31, 35].

**Рекомендация 3.** С увеличением тока анода уменьшается плотность объемного заряда, а следовательно, нарушается защита оксидного катода. Поэтому для каждой лампы указы-

вается максимально допустимое значение постоянной составляющей анодного тока, при котором объемный заряд еще защищает оксидный катод [35].

**Рекомендация 4.** Напряжение накала должно соответствовать указанному в паспорте. При снижении напряжения уменьшается плотность объемного заряда, защищающего оксидный катод. При повышении — уменьшается срок службы нити накала, а, значит, и всей лампы.

**Рекомендация 5.** Подача напряжения на электроды при выключении производится в следующей последовательности:

- включается обдув, напряжение накала и смещение первой сетки;
- после необходимого прогрева включается напряжение анода;
- включается напряжение экранной сетки, при запертой лампе анодное и экранное напряжение можно включать одновременно;
- подается напряжение раскачки.

Выключение напряжений производится в обратном порядке. При запертой лампе выключение всех напряжений можно делать одновременно. Принудительное охлаждение выключается через 3—5 мин после отключения накала. Время выдержки охлаждения указывается в технической характеристике лампы [19, 31, 35].

**Рекомендация 6.** Предельное значение должен иметь только один электрический параметр. Превышение предельных значений двух и более параметров резко сокращает срок службы радиоламп [19, 31, 35].

В лампах малой и средней мощности имеется значительный запас электрической прочности, поэтому у них напряжение на аноде может превышать без снижения срока службы, если одновременно не происходит превышения других предельных величин [35]. Например, в фирменных усилителях ЕТО 91В, АСОМ 1000, АСОМ 2000 на лампы ГУ-74Б без нагрузки подается анодное напряжение 2850 В [5].

**Рекомендация 7.** При первом включении и после длительного перерыва в работе следует проводить обязательную тренировку (жестчение) радиолампы. При длительном хранении внутренние элементы лампы выделяют поглощенные остаточные газы, и вакуум ухудшается. Поэтому при включении могут возникать электрические пробоя. Если отсутствуют предохранительные устройства, может произойти повреждение лампы. Так как газопоглотители работают только в нагретом состоянии, то лампу необходимо прогревать постепенно, т. е. провести тренировку лампы [19, 35].

Для тренировки лампа устанавливается в усилитель, включается охлаждение и на нее подается напряжение накала и смещения. В этом режиме она должна работать в зависимости от времени хранения от 1 до 10—30 часов. При этом лампу периодически отключают. Затем подаются анодное и экранное напряжения, усилитель переключается в режим передачи — ТХ (напряжение возбуждения не подается), и лампа работает с током покоя 0,5—1 ч.

Если есть переключатель CW/SSB, то вначале устанавливают малый ток покоя (CW), а затем — повышенный (SSB). При возникновении пробоев повторяют предыдущую операцию. Как правило, пробоя возникают после подачи высокого напряжения при первом переключении в режим ТХ.

**Рекомендация 8.** В схеме должны быть предусмотрены средства защиты, отключающие питание лампы в отсутствие охлаждения и при превышении тока сеток и анода. Время срабатывания защиты должно быть менее 100 мс. Кроме того, следует применять ограничительные сопротивления, уменьшающие максимальный ток при пробое [35].

Для обеспечения времени срабатывания менее 0,1 с [35] можно использовать электромагнитные реле.

### Схема релейной защиты первой сетки

Рассмотрим схему релейной защиты первой сетки (рис. 2.1). При превышении тока первой сетки срабатывает управляющее реле K1, которое контактами K1.1 включает реле блокировки K2. Контакты 2.1 переводят каскад в режим приема — RX, а контакты K2.2 удерживают реле K2 включенным после размыкания контактов K1.1.

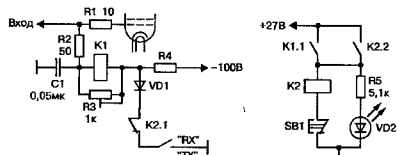


Рис. 2.1. Схема релейной защиты первой сетки

О срабатывании защиты сигнализирует светодиод VD1. После устранения перекачки в исходное состояние схема защиты переводится нажатием кнопки SB1. Подстроечным сопротивлением R3 регулируют ток срабатывания защиты.

Недостаток рассмотренной схемы состоит в том, что при преждевременном нажатии на кнопку SB1 (пока не устранена перекачка) защита отключается, и в лампе возникает аварийная ситуация.

### Схема защиты сетки с автоматическим разблокированием

Для устранения этой опасности можно применить автоматическую разблокировку защиты с помощью ждущего мультивибратора (рис. 2.2).

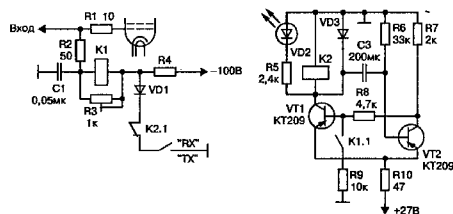


Рис. 2.2. Схема защиты сетки с автоматическим разблокированием

В исходном состоянии транзистор VT1 закрыт, VT2 открыт, а конденсатор C1 заряжен через обмотку реле K2, открытый транзистор VT2, R10. При превышении тока первой сетки управляющее реле K1 контактами K1.1 открывает транзистор VT1, а затем реле K2 запирает лампу.

Одновременно закрывается транзистор VT2, а ранее заряженный конденсатор C1 начинает разряжаться через R6, открытый VT1 и R10. После его разряда положительное напряжение на базе VT2 уменьшается, он открывается, вызовет закрытие VT1 и перевод каскада в режим TX. Время выдержки ждущего мультивибратора зависит от величины C2. При указанных номиналах оно составляет приблизительно 5 с. Если за это время оператор не устранил перекачку, защита сработает вновь.

По сравнению с предыдущей схемой (рис. 2.1) такая конструкция более сложная, но она не требует установки кнопки SB1 на передней панели.

При появлении тока первой сетки падение напряжения на сопротивлении обмотки K1 вызовет рост уровня гармоник. Поэтому эксплуатировать каскад с такой схемой защиты следует без тока первой сетки.

Схема защиты сеток и анода может быть выполнена в двух вариантах.

Первый вариант содержит одно устройство отключения лампы (в нашем примере — ждущий мультивibrator и реле К2) и три независимых управляющих ждущими мультивibratorом элемента в цепях питания сеток и анода. Такой принцип построения использован в фирменном усилителе ЕТО 91Р [5].

Преимущество этого варианта в простоте и невысокой стоимости.

Однако имеются и недостатки:

- при срабатывании защиты, непонятна причина отключения, т. к. нет отдельной индикации о состоянии цепей сеток и анода;
- переключение в режим RX не защищает источники питания от короткого замыкания;
- при отказе схемы отключения нарушается защита всех электродов лампы.

Второй вариант защиты содержит полностью независимые схемы отключения сеток и анода. При этом возрастает надежность всей предохранительной системы в целом, а отдельная светодиодная индикация электрода, где произошло превышение тока, упрощает эксплуатацию. Поэтому второй вариант (подробно изложен в главе 15) более предпочтителен.

### 3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛАМП

#### Графики режимов работы лампы

Во время работы каскада на управляющую сетку лампы подано отрицательное смещение  $E_C$  и высокочастотное напряжение возбуждения  $U_C = U_{CA} \cos(\omega t)$ .

$U_{CA}$  — амплитудное значение напряжения,  $\omega = 2\pi f$  — круговая частота. Мгновенное напряжение на управляющей сетке  $e_c = -E_C + U_{CA} \cos(\omega t)$ . На экранную сетку подано напряжение  $+E_{\phi}$ , на анод  $+E_A$ . Падение напряжения на контуре, настроенном на рабочую частоту,  $U_K = U_{KA} \cos(\omega t)$ .  $U_{KA}$  — амплитудное значение напряжения на контуре. Мгновенное напряжение на аноде  $e_a = E_A - U_K = E_A - U_{KA} \cos(\omega t)$ . Максимальное мгновенное напряжение на аноде  $e_{a \max} = E_A + U_{KA}$ , а минимальное —  $e_{a \min} = E_A - U_{KA}$  [1, 2].

По ряду причин, о которых будет сказано ниже, синусоидальный сигнал в процессе усиления искажается. В связи с этим величина анодного тока  $I_A$  выражается достаточно сложной зависимостью.

Согласно теореме Фурье всякая периодическая последовательность несинусоидальных импульсов анодного тока  $i_A$  является суммой постоянной величины, выражающей среднее за период значение тока  $I_{A0}$ , и синусоидально изменяющихся величин с периодами, в целое число раз отличающихся друг от друга:

$$i_A = I_{A0} + I_{A1} \cos(\omega t) + I_{A2} \cos(2\omega t) + I_{A3} \cos(3\omega t) + \dots \quad (3.1)$$

Составляющая, имеющая наибольший период, равный периоду колебаний, называется первой (основной) гармоникой. Остальные — второй гармоникой, третьей гармоникой и т. д. Величины  $I_{A0}$  и гармоник анодного тока определяются следующими выражениями:

$$I_{A0} = \alpha_0 \cdot I_{Amax}; I_{A1} = \alpha_1 \cdot I_{Amax}; I_{A2} = \alpha_2 \cdot I_{Amax} \text{ и т. д. (3.2)}$$

где  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots$  — коэффициенты разложения импульса анодного тока (коэффициенты гармонических составляющих анодного тока).

Наличие гармоник вызывает, во-первых, появление мешающих сигналов на кратных частотах и, во-вторых, расширение полосы излучения [7, 35].

Величина коэффициентов  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \dots$ , т. е. величина гармоник, зависит от линейности анодно-сеточной характеристики лампы и от режимов ее работы.

#### Показатели, характеризующие режимы работы лампы

Режимы работы лампы должны обеспечивать минимальные искажения сигнала.

Эти режимы характеризуются двумя наиболее важными показателями [7, 35]:

- углом отсечки анодного тока;
- коэффициентом использования анодного напряжения.

#### Угол отсечки анодного тока

Первый показатель — угол отсечки анодного тока. Угол отсечки  $\psi$  — это половина части периода колебаний, в течение которой в лампе протекает анодный ток. Угол отсечки измеряется в градусах (весь период —  $360^\circ$ ).

В зависимости от угла отсечки  $\psi$  различают режимы А, АВ и С (рис. 3.1).

В режиме А ( $\psi = 180^\circ$ ) теоретически форма анодного тока повторяет форму входного сигнала и имеет вид синусоиды. Практически из-за нелинейности анодно-сеточной характеристики искажения и гармоники есть, но они пренебрежимо малы. Начальная рабочая точка Х лежит посередине линей-

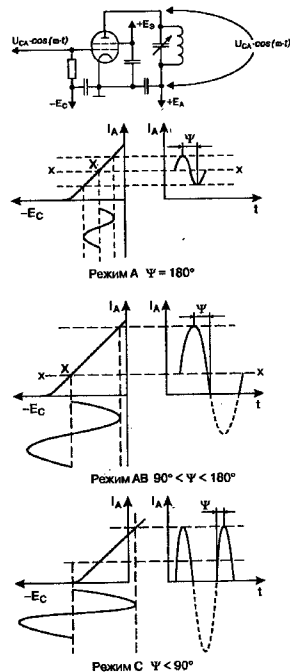


Рис. 3.1. Графики режимов работы лампы

ного участка анодно-сеточной характеристики. Режим А отличается большим током покоя  $I_{A0}$  ( $I_{A0} \approx 0,5 \cdot I_{Amax}$ ) и малым КПД (30—40 %).

При уменьшении тока покоя начальная рабочая точка будет смещаться вниз, и в определенный момент нижняя часть синусоиды анодного тока начнет «отсекаться». На рис. 3.1 «отсеченная» часть синусоиды показана штриховой линией. При дальнейшем снижении воображаемой линии  $x-x$  она совпадает с горизонтальной осью координат, и «отсеченной» будет половина синусоиды.

При этом  $\psi = 90^\circ$ , а режим называется В. Теоретически ток покоя должен быть равен нулю. Практически его устанавливают больше нуля  $I_{A0} \approx 0,1 \cdot I_{Amax}$ , т. к. в реальной характеристике есть нижний более пологий участок, для преодоления которого требуется значительное увеличение напряжения раскочки. Поэтому форма импульса анодного тока составит чуть больше, чем половина синусоиды. КПД в режиме В  $\approx 60-70\%$ .

Когда линия  $x-x$  занимает промежуточное положение между режимами А и В, угол отсечки  $90^\circ < \psi < 180^\circ$ , а режим называется АВ. В этом режиме величина анодного тока и КПД занимают промежуточное значение между режимами А и В. Ток покоя находится в пределах  $0,1-0,5 I_{Amax}$  КПД  $\approx 40-60\%$ .

При дальнейшем снижении воображаемой линии  $x-x$ , когда она опустится до оси  $i$ , начинается режим С. Ток покоя станет равным нулю (лампа заперта),  $\psi < 90^\circ$ , КПД  $\geq 80\%$ . Форма импульса анодного тока составляет меньше половины синусоиды.

Режим каскада зависит не только от начальной рабочей точки (от тока покоя), но и от амплитуды входного сигнала. Например, если в режиме АВ уменьшить напряжение возбуждения, то каскад будет работать без отсечки анодного тока, т. е. в режиме А.

Из-за несинусоидальной формы анодного тока в режимах АВ, В и С в нем появляются токи гармоник (выше указано, что теоретически они есть и в режиме А, но их величина пренебрежительно мала). Как уже отмечалось, в этих режимах анодный ток состоит из постоянной составляющей  $I_{A0}$  (ее показывает анодный амперметр), тока первой гармоники  $I_{A1}$  и токов высших гармоник  $I_{A2}$ ,  $I_{A3}$  и т. д. Величина гармоник определяется углом отсечки  $\psi$ . Относительную величину каждой гармоники, определяемую коэффициентом разложения  $\alpha$ , можно определить по рис. 3.2.

Из графиков на рис. 3.2 легко понять преимущества и недостатки различных режимов работы. Режим А обеспечивает наилучшее качество сигнала, но малый КПД (30—40 %). Поэтому обычно он применяется в предварительных каскадах. Но, как исключение, встречается даже в усилителях мощности. Например, в трансивере ГГ-1000 МР Mark V режим выходного каскада переключаемый. В режиме АВ его выходная мощность — 200 Вт, в режиме А — 75 Вт. 75 Вт достаточно для раскочки «большого» усилителя, и «тысячнику» позволяет подать на его вход практически безупречный сигнал.

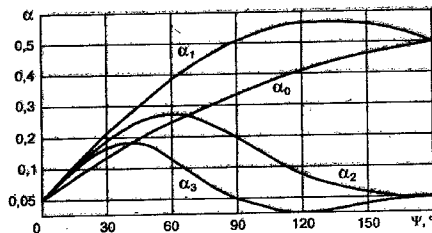


Рис. 3.2. Зависимость коэффициентов разложения импульсов анодного тока от угла отсечки

Режимы В и С обеспечивают высокий КПД, но из-за большого уровня гармоник расширяется полоса SSB-сигнала, поэтому они пригодны только для цифровых видов связи. Практически режим С редко используется, т. к. из-за нижнего пологого спада характеристики, по сравнению с В, требуется значительное увеличение напряжения раскачки.

Для усиления SSB-сигнала применяется режим АВ. Как уже отмечалось, при этом  $90^\circ < \psi < 180^\circ$  и  $I_{A0} = 0,1 - 0,5 I_{Amax}$ .

Из рис. 3.2 следует, что для усиления SSB-сигнала наиболее рациональный угол отсечки  $\psi = 90^\circ$ . Для первой гармоники  $\alpha_1 = 0,5$ , что всего на 7 % меньше его максимального значения при  $\psi = 120^\circ$ .

Для второй гармоники  $\alpha_2 = 0,2$  и для третьей  $\alpha_3 = 0$ , т. е. нечетные гармоники теоретически отсутствуют, что значительно улучшает качество сигнала. КПД каскада, определяемый величиной  $\alpha_0 = 0,33$ , будет существенно выше, чем при  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ .

В режимах АВ, В и С анодный ток имеет импульсный характер, но выходное напряжение усилителя сохраняет синусоидальную форму, потому что недостающая часть периода ВЧ-колебания восполняется энергией, запасенной в контуре.

В режиме А каскад работает без токов первой сетки. Режимы АВ и В могут быть без токов первой сетки (обозначаются АВ<sub>1</sub> и В<sub>1</sub>) и с током первой сетки (обозначаются АВ<sub>2</sub> и В<sub>2</sub>).

В режиме С каскад обычно работает с током первой сетки.

#### Коэффициент использования анодного напряжения

Второй наиболее важный показатель режима работы каскада — коэффициент использования анодного напряжения (коэффициент напряженности  $\xi$ ):

$$\xi = \frac{U_{KA}}{E_A} \quad (3.3)$$

Этот коэффициент характеризует энергетические показатели:

- выходную мощность;
- КПД.

В зависимости от величины  $\xi$  различают три режима:

- недонапряженный ( $\xi < 0,8 - 0,9$ );
- граничный ( $\xi = 0,8 - 0,9$ );
- перенапряженный ( $\xi > 0,8 - 0,9$ ).

#### Нагрузочная характеристика

С коэффициентом напряженности связана **нагрузочная характеристика**, по которой выбирают оптимальные параметры работы каскада.

**Определение. Нагрузочная характеристика** — это зависимость показателей режимов работы от сопротивления нагрузки (рис. 3.3, в, г).

Она показывает, что с увеличением сопротивления нагрузки до граничного режима напряжение на контуре  $U_K$  возрастает. При дальнейшем увеличении сопротивления нагрузки каскад переходит в перенапряженный режим, где  $U_K$  почти не растет. Первая гармоника  $I_{A1}$  и постоянная составляющая анодного тока  $I_{A0}$  уменьшаются до граничного режима примерно на 10—15 % и затем в перенапряженном — быстро понижаются.

При возрастании  $R_H$  и  $U_K$  изменение величины и формы импульса анодного тока происходит в два этапа.

**1-й этап — недонапряженный режим.** Здесь уменьшение анодного тока вызвано только увеличением  $U_K$  и уменьшением остаточного напряжения на аноде. Оно происходит с сохранением синусоидальной формы.

**2-й этап — перенапряженный режим.** При дальнейшем росте  $U_K$  мгновенное остаточное напряжение на аноде уменьшается настолько, что оказывается сопоставимым с напряже-



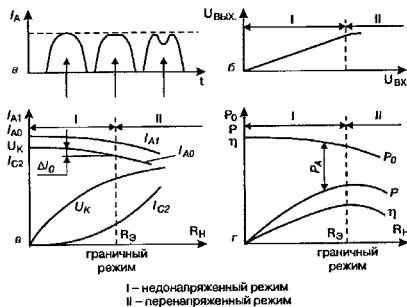


Рис. 3.3. Характеристики выходного каскада:

а — форма импульсов анодного тока;  
 б — амплитудная характеристика выходного каскада;  
 в, г — нагрузочные характеристики выходного каскада;  
 $I_{A1}$  — ток первой гармоники;  $I_{A0}$  — постоянная составляющая анодного тока (показание прибора в анодной цепи);  $\Delta I_0$  — провал  $I_{A0}$  в граничном режиме;  
 $U_K$  — напряжение на контуре;  $I_{C2}$  — ток экранной сетки;  $P_0$  — подводимая к аноду мощность;  $P$  — выходная мощность;  $R_H$  — сопротивление нагрузки;  
 $\eta$  — КПД каскада;  $R_0$  — сопротивление нагрузки;  
 $R_0$  — эквивалентное сопротивление лампы.

нием питания экранной сетки  $E_2$ . В эти моменты экранная сетка начинает «перехватывать» электроны на себя.

**Примечание.** Рост тока сетки происходит за счет перераспределения электронного потока внутри лампы (при малых мгновенных напряжениях на аноде) в пользу сетки.

Так как это явление происходит только на пиках синусоиды, то по мере роста  $R_H$  и  $U_K$  она сначала уплощается (рис. 3.3, а), а затем на этом месте образуется впадина, которая уменьшает амплитуду анодного тока. Ограничение амплитуды приводит к нелинейности каскада (рис. 3.3, б).

**Определение.** Режим лампы, который определяется малозаметным уплощением верхушки синусоиды при сохранении линейности и разделяет недонапряженный и перенапряженный режимы, называется **граничным**.

### Потребляемая мощность

Потребляемая мощность  $P_0$  изменяется так же, как постоянная составляющая анодного тока. Выходная мощность  $P = 0,5 \cdot I_{A1} \cdot U_K$  плавно возрастает до граничного режима, а затем также плавно уменьшается. Это объясняется тем, что оба множителя (в указанной формуле) имеют максимум в граничном режиме. В недонапряженном режиме мало напряжение на контуре  $U_K$ , а в перенапряженном — мал ток 1-ой гармоники  $I_{A1}$ .

КПД каскада  $\eta = \frac{P}{P_0}$  плавно возрастает до граничного режима, затем еще некоторое время увеличивается в перенапряженном режиме и далее остается почти неизменным. Мощность, рассеиваемая на аноде  $P_a = P_0 - P$ , быстро уменьшается вплоть до граничного режима, а затем снижается незначительно.

Нагрузочные характеристики показывают, что наиболее выгодным является граничный режим каскада, в котором он отдает максимальную выходную мощность при КПД и коэффициенте усиления, близких к максимальным. В граничном режиме провал анодного тока  $\Delta I_{A0}$  составляет примерно 10—15 %, и ток экранной сетки, как правило, не превышает 2—3 % от максимальной величины тока анода.

**Примечание.** Для достижения лучшей линейности можно отступить в область недонапряженного режима, а для получения максимального КПД — сместиться в перенапряженный режим.

Но в последнем случае повышается ток экранной сетки и ухудшается линейность каскада.

### Эквивалентное сопротивление лампы

**Определение.** Сопротивление нагрузки, при котором лампа работает в граничном режиме, называется эквивалентным сопротивлением лампы  $R_9$ .

Оно зависит от напряжения смещения на управляющей сетке  $E_C$ , от анодного  $E_A$  и экранного  $E_9$  напряжений и от напряжения раскочки  $U_C$ . Формула для расчета величины  $R_9$  приведена в главе 10.

### О роли стабильности напряжения

Важным для режимов усиления является стабильность напряжений, величина которых влияет на коэффициент усиления. Если на пиках сигнала напряжение «проседает», то коэффициент усиления в течение периода колебаний становится переменным, и синусоида дополнительно искажается.

## 4. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ ЛАМП И ВХОДНЫЕ ЦЕПИ

### Варианты схемы включения

В зависимости от того, какой электрод лампы соединен по высокой частоте с общим проводом [7, 8, 35], различают:

- ♦ схему с общей сеткой (рис. 4.1);

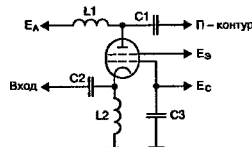


Рис. 4.1. Схема с общей сеткой

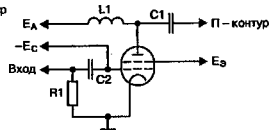


Рис. 4.2. Схема с общим катодом

- ♦ с общим катодом (рис. 4.2).

Каскад с общей сеткой имеет следующие преимущества:

- ♦ большую устойчивость, т. к. управляющая сетка является экраном между входом и выходом. Например, триоды устойчиво работают только в схеме с общей сеткой;
- ♦ меньший на 6 дБ уровень побочных излучений вследствие отрицательной обратной связи (ООС);
- ♦ больший КПД из-за малого тока покоя ( $\approx 6\%$ );
- ♦ в ряде случаев возможно непосредственное соединение сеток с массой и отпадает необходимость в источниках питания для 1-й и 2-й сеток.

Но схема имеет и существенные недостатки:

- ♦ малый коэффициент усиления, который, как правило, не превышает 10;

- входное сопротивление зависит от частоты, мощности возбуждения и сопротивления нагрузки, что затрудняет согласование с драйвером;
- на входе обязательно применение настроенного контура, иначе напряжение возбуждения становится несимметричным и уровень побочных излучений увеличивается;
- при самовозбуждении на вход усилителя из анодной цепи поступает значительная ВЧ-мощность, которая может повредить трансивер.

**Примечание.** Эти недостатки отсутствуют у каскада на основе тетрода, включенного по схеме с общим катодом, где более высокий коэффициент усиления сочетается с одинаковым входным сопротивлением на всех диапазонах. У такого каскада несколько больший ток покоя лампы в режиме АВ, который приводит к снижению КПД, но последнее не столь значительно [7, 8, 35].

Сказанное позволяет сделать вывод: при использовании триодов и для достижения максимального КПД следует использовать каскад с общей сеткой.

Большой коэффициент усиления при незначительном ухудшении КПД обеспечит каскад с общим катодом, выполненный на тетроде.

В фирменных усилителях применяют обе схемы. Но в последнее время в связи с широким распространением металлокерамических тетродов чаще используется схема с общим катодом. Каскад на тетроде работает устойчиво, имеет простые по конструкции и ненастраиваемые входные цепи, большой коэффициент усиления (25—50) и приемлемый КПД. Поэтому по совокупности показателей он более привлекателен [1, 4, 6].

От схемы включения лампы зависит конструкция входных цепей. Вначале рассмотрим каскады с общей сеткой.

### Каскады с общей сеткой

Если трансивер имеет на выходе П-контур или автоматический тонер [7, 8], то на входе усилителя, в большинстве случаев, достаточно дросселя (рис. 4.3, рис. 4.4).

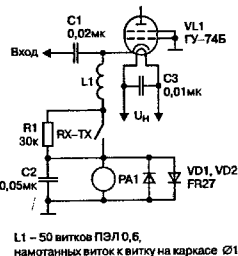


Рис. 4.3. Каскад с общей сеткой (схема «с заземленными сетками»)

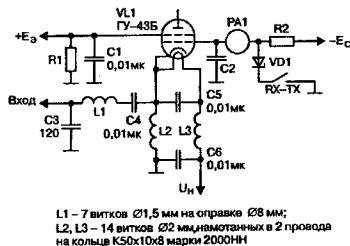


Рис. 4.4. Каскад с общей сеткой с возможностью регулировки тока покоя

**Примечание.** В такой схеме входная емкость лампы входит в выходную емкость колебательной системы трансивера. Туда же входит и емкость соединительного кабеля, который должен иметь минимальную длину.

Схема на рис. 4.3 называется «с заземленными сетками». В режиме RX в цепь катода для уменьшения его тока включается сопротивление R1. Индуктивность дросселя L1 невелика, т. к. он присоединен параллельно низкоомной входной цепи. Недостатком схемы является отсутствие возможности регулировать ток покоя.

Второй, более предпочтительный вариант (рис. 4.4) предусматривает такую возможность. Ток покоя устанавливается традиционным способом с помощью стабилизатора VD1. Элементы L1 C3 и входная емкость лампы образуют входной ФНЧ с частотой среза 32 МГц.

Чтобы усилитель мог работать с трансивером, имеющим 50-омный выход, на входе для согласования сопротивлений можно применить настроенные контуры. Наилучшее согласование и подавление гармоник обеспечивает П-контур (рис. 4.5).

При регулировке между трансивером и РА включают КСВ-метр и, изменяя величины C1, L1, C2, добиваются его минимальных показаний. Методика расчета и регулировки П-контура подробно изложена в главе 10. После определения величин C1, L1, C2 на входе устанавливают переключаемые П-контуры на каждый диапазон. Они должны иметь добротность  $Q = 4-6$ , чтобы не требовалась перестройка в преде-

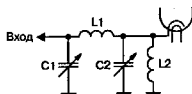


Рис. 4.5. Входной контур усилителя с общей сеткой

лах диапазона. Такие входные цепи применяются в большинстве фирменных и самодельных усилителей, выполненных по схеме с общей сеткой [1, 4].

### Каскады с общим катодом

Для получения большего коэффициента усиления применяется схема с общим катодом (рис. 4.6) [7, 8, 35]. Если необходим коэффициент, равный 100—200, во входной цепи применяются резонансные контуры, которые позволяют использовать высокое входное сопротивление лампы. Ее входная емкость входит в емкость C1.

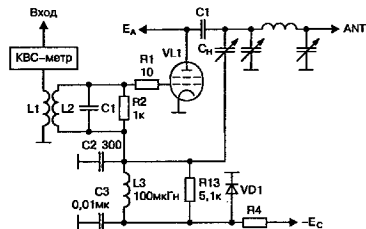


Рис. 4.6. Каскад с общим катодом

Катушку L2 наматывают на каркасе диаметром 8—10 мм с построечным сердечником. Сопротивление R2 шунтирует контур, расширяя его полосу пропускания. Шунтирующими сопротивлениями можно также выравнивать усиление каскада на разных диапазонах.

Для согласования высокого входного сопротивления контура с 50-омным выходом трансивера служит катушка связи L1. Число ее витков обычно равно 15—25 % от числа витков

L2. При регулировке оно уточняется по минимальным показаниям КСВ-метра, включенного между трансивером и усилителем.

Чтобы не изменять число витков катушки связи L1, можно ее намотать на бумажном кольце, которое перемещается по каркасу. В этом случае связь L1 и L2 регулируют, изменяя расстояние между ними.

Из-за большого коэффициента усиления для устойчивой работы каскада необходима нейтрализация проходной емкости лампы (рис. 4.7). Емкость  $C_{пр}$  вызывает обратное прохождение тока из выходной цепи лампы во входную [7, 8, 35].

- **Во-первых**, это уменьшает устойчивость и может привести к самовозбуждению каскада.
- **Во-вторых**, протекание этого тока равносильно появлению дополнительного входного сопротивления лампы, включенного параллельно основному.

Прходная емкость, умноженная на коэффициент усиления каскада по напряжению, входит в динамическую входную емкость лампы вместе с емкостью сетки-катода. В результате при изменении уровня сигнала входная емкость изменяется синхронно с ВЧ-колебаниями и периодически расстраивает входной контур L2C1, что приводит к амплитудной и фазовой модуляции сигнала. А при значительной величине  $C_{пр}$  и малой C1 входной контур теряет резонансные свойства. Это явление

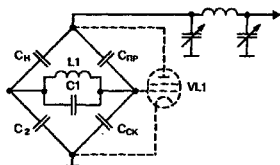


Рис. 4.7. Эквивалентная схема нейтрализации проходной емкости

существенно для  $f > 14$  МГц, т. к. при малой емкости C1 влияние изменения входной емкости лампы усиливается [7, 8, 35].

Величина тока обратного прохождения и напряжение, создаваемое им на первой сетке, зависит от емкости  $C_{пр}$  и  $C_{ск}$ . Чтобы нейтрализовать это напряжение, на «холодный» конец входного контура подается такое же напряжение через регулируемый делитель  $C_H$ , C2 (рис. 4.7). Таким образом, напряжение на обоих концах входного контура из-за обратного прохождения тока делается одинаковым, вследствие чего ток в контуре отсутствует, и проходная емкость уже не влияет на его работу.

Влияние проходной емкости максимально на диапазоне 28 МГц, поэтому регулировку цепи нейтрализации проводят на этой частоте. При обесточенной лампе на вход усилителя подают напряжение возбуждения, а к аноду подсоединяют милливольтметр и настраивают конденсаторы П-контура по максимуму его показания. Напряжение на аноде, которое показывает милливольтметр, обусловлено проходной емкостью лампы.

Регулируя величину  $C_H$  и подстраивая затем П-контур по максимуму показаний милливольтметра, добиваются минимального напряжения на аноде. При необходимости регулируется также величина емкости C2. Минимальные или нулевые показания прибора свидетельствуют о нейтрализации проходной емкости.

Еще одна методика состоит в том, что сигнал от ГСС (генератора синусоидальных сигналов) подается на разъем «ANTENNA», а напряжение, обусловленное проходной емкостью, измеряется на входном контуре.

**Совет.** При использовании 100-ваттного трансивера высокий коэффициент усиления не требуется. Это позволяет значительно упростить входную цепь, заменив резонансные диапазонные контуры на 50-омное без-

индуктивное сопротивление (рис. 4.8). Его мощность должна быть равна  $0,5—1,0 P_{\text{вых}}$ . Отсутствие контуров на входе позволяет отказаться от нейтрализации проходной емкости лампы.

Коэффициент усиления мощности в такой схеме равен 25—50. Недостатком схемы, изображенной на рис. 4.8, является шунтирование резистора R2 входной емкостью лампы, сопротивление которой с возрастанием частоты снижается. Например, на частоте 28 МГц при входной емкости лампы 100 пФ входное сопротивление уменьшится почти вдвое.

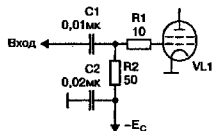


Рис. 4.8. Каскод без входного ФНЧ

Согласование с трансивером, имеющим на выходе П-контур или автоматический тюнер, будет возможно. Но при использовании драйвера с 50-омным выходом для уменьшения КСВ необходимо использовать схему компенсации входной емкости. Для этой цели применяют ФНЧ Чебышева 3-го порядка с частотой среза 33—36 МГц и волновым сопротивлением 50 Ом (рис. 4.9).

Входная емкость лампы (например, равная 120 пФ) является конденсатором C3, который составляет выходную емкость 50-омного фильтра, поэтому она не шунтирует сопротивление R2.

Если входная емкость лампы больше 100—120 пФ, то в КВ-диапазоне один непереключаемый ФНЧ третьего порядка не обеспечивает КСВ < 2.

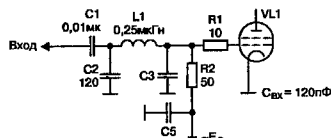


Рис. 4.9. Каскод с входным ФНЧ третьего порядка

**Примечание.** В этом случае рекомендуется применять ФНЧ Чебышева 5-го порядка, и управляющую сетку подсоединять к средней емкости фильтра C3, которая имеет наибольшую величину (рис. 4.10).

Такое схемное решение позволяет скомпенсировать входную емкость приблизительно до 150 пФ и обеспечить КСВ по входу < 1,5. При малой входной емкости лампы использование ФНЧ 5-го порядка позволит уменьшить мощность возбуждения за счет автотрансформатора T1 (рис. 4.11). Роль C3 выполняет входная емкость лампы.

Подробный расчет фильтров низкой частоты приведен в главе 12.

Следует отметить, что схемы, изображенные на рис. 4.10 и рис. 4.11, наряду с преимуществами имеют и существенный недостаток.

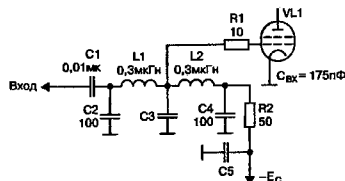


Рис. 4.10. Каскод с входным ФНЧ пятого порядка

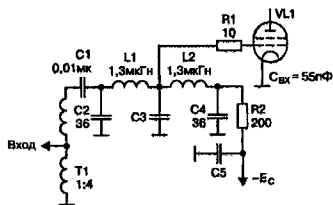


Рис. 4.11. Каскад с входным широкополосным трансформатором и ФНЧ 5-го порядка

**Внимание.** Они менее устойчивы из-за того, что управляющая сетка непосредственно не соединена с низкоомным сопротивлением  $R2$ . Поэтому они не нашли широкого применения в фирменных усилителях.

Например, в ЕТО 91В используются ФНЧ 3-го порядка (рис. 4.9) и катушка  $L1$  с замыкаемым отводом на диапазонах 24—28 МГц [4]. Коммутация производится электромагнитным реле. Уменьшение числа рабочих витков катушки на этих ВЧ-диапазонах обеспечивает  $KCB < 1,5$  на частотах до 30 МГц.

Вышесказанное не означает, что схемы (рис. 4.10, рис. 4.11) не следует применять вообще. Но при использовании следует учитывать их недостатки.

## 5. ЦЕПИ ПИТАНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТКИ

### Смещение

Для установки определенной начальной рабочей точки лампы (т. е. для установки тока покоя) на первую сетку относительно катода подается отрицательное напряжение. Его также называют **напряжением смещения** (смещения относительно катода) или просто «смещение».

**Внимание.** Для поддержания заданного режима работы каскада напряжение смещения должно быть стабилизированным.

Цепь питания первой сетки может быть выполнена по последовательной (рис. 5.1) или параллельной (рис. 5.2) схеме [35].

В схеме с последовательным питанием отрицательное смещение подается в точку контура с нулевым ВЧ-потенциалом. Поэтому цепь отрицательного напряжения не влияет на

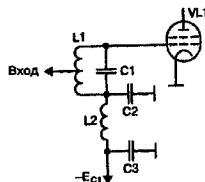


Рис. 5.1. Схема с последовательным питанием первой сетки

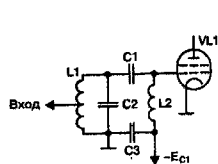


Рис. 5.2. Схема с параллельным питанием первой сетки

работу лампы по высокой частоте. В этом случае применен дроссель L2 даже не обязательно.

В схеме с параллельным питанием входной контур L1C и дроссель L2 включены по высокой частоте параллельно. Поэтому дроссель оказывает влияние на входной контур, уменьшая его индуктивность.

**Внимание.** Резонансы дросселя не должны совпадать с рабочей частотой каскада, поэтому перед установкой: схему он требует проверки.

При любой схеме питания смещение на первой сетке можно получить непосредственно от стабилизатора или с использованием делителя напряжения. На рис. 5.3 показана цепь питания первой сетки, применяемая в профессиональном усилителе на лампе ГУ-43Б [42].

### Режимы работы

В режиме RX на сетку подается полное отрицательно напряжение, и лампа заперта. В режиме TX величина необходимого смещения регулируется переменным сопротивлением R3. Резистор R1 и прибор PA1 предназначены для измерения тока первой сетки.

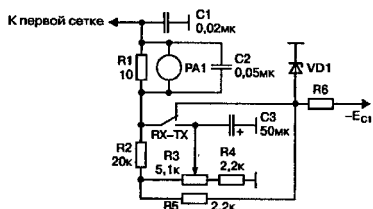


Рис. 5.3. Цепь питания первой сетки от делителя напряжений

Емкость C3 — проходной конденсатор входного отсека. Сопротивление R2 обеспечивает наличие отрицательного напряжения на первой сетке при отсутствии контакта в движке R3 и в момент срабатывания контактов TX—RX.

**Преимущества** этой схемы — в удобстве регулирования величины смещения в широких пределах. **Недостаток** — нельзя работать с током первой сетки, так как падение напряжения на резисторах R3, R5 начинает запереть лампу, то есть вызывает увеличение отрицательного напряжения на сетке и уменьшение коэффициента усиления. Возникает автоматическое ограничение тока первой сетки и рост уровня гармоник.

Однако это явление может играть и **положительную роль**. При случайной перегреке лампы сопротивления R3, R5 предотвращают аварийный ток первой сетки и выход ее из строя. Поэтому сопротивления R3, R5 выполняют также функцию предохранительного устройства.

Питание первой сетки непосредственно от стабилизатора (рис. 5.4) позволяет поддерживать напряжение смещения независимо от тока первой сетки.

**Недостаток** схемы на рис. 5.4 состоит в том, что смещение нельзя регулировать в широких пределах. Частично этот недостаток устраняется за счет включения последовательно со стабилитроном VD1 цепочки обычных силовых диодов VD2—VD10. Они с помощью переключателя SA1 ступенчато (с шагом около 0,6 В) в небольших пределах ( $\approx 5$  В) позволяют изменять величину смещения и устанавливать его более точно.

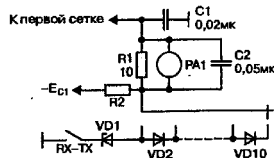


Рис. 5.4. Цепь питания первой сетки непосредственно от стабилизатора



Если триод используется в схеме с общей сеткой, смещение удобно получать в цепи катода (рис. 5.5). При этом отпадает необходимость в источнике питания с отрицательным напряжением, а лампа с заземленной сеткой работает более устойчиво.

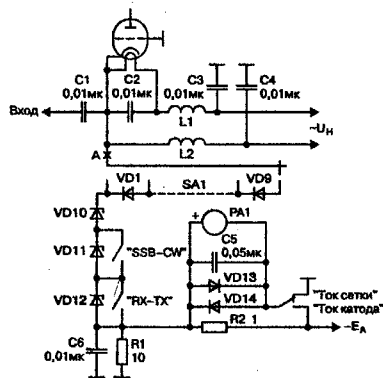


Рис. 5.5. Схема смещения в цепи катода

Отрицательное смещение на сетке по отношению к катоду образуется за счет падения напряжения на диодах VD1—VD12. Дроссели L1 и L2 отделяют входное ВЧ-напряжение. Они содержат 25 витков ПЭВ 1,5, намотанных в два провода на кольцевом или стержневом ферритовом сердечнике марки М600—1000 и сечением 0,5—1 см<sup>2</sup>. Переключатель SA1 и цепочка диодов VD1—VD9 работают аналогично схеме, приведенной на рис. 5.4.

Переключатель «CW—SSB» уменьшает ток покоя в режиме В при цифровых видах передачи. Контакты RX—T

запирают лампу в режиме приема за счет стабилитрона VD12 (а точнее, уменьшают ток анода до нескольких миллиампер).

Резисторы R1 и R2 служат, соответственно, для измерения тока сетки и катода прибором PA1.

Для плавной регулировки тока покоя в широких пределах вместо стабилитронов (рис. 5.5) можно установить транзисторный стабилизатор (рис. 5.6) [43]. Ток покоя определяется стабилитроном VD1 и переменным сопротивлением R1. В режиме приема запирающее напряжение устанавливается диодом VD2. Транзистор VT2 должен иметь теплоотвод в соответствии с рассеиваемой на нем мощностью.

Если не измерять ток сетки, то точку Б можно заземлить и транзистор VT2 прикрутить непосредственно к шасси. Катодный амперметр в этом случае следует разместить в точке А (в разрыв цепи). Если не измеряется ток сетки, следует получить амплитудную характеристику каскада (рис. 3.3, б), чтобы определить максимальный ток катода, при котором сохраняется линейность усилителя.

Особо следует сказать о режиме работы лампы с током первой сетки. При перекачке каскада появление тока первой сетки вызывает уменьшение коэффициента усиления на пиках

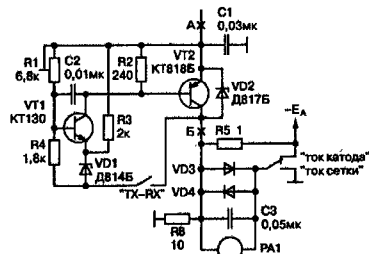


Рис. 5.6. Схема транзисторного стабилизатора смещения

сигнала, поэтому он в течение периода делается непостоянным, и сигнал искажается. Следствием является рост уровня гармоник и интермодуляционных искажений.

При наличии сопротивления в цепи первой сетки это явление обусловлено двумя причинами.

**Во-первых**, при появлении на пиках сеточного тока падения напряжения на сопротивлении, увеличивает смещение и уменьшает ток анода.

**Во-вторых**, из-за перераспределения электронного потока внутри лампы в пользу сетки искажается вершина синусоиды анодного тока, на ней появляется провал, и его амплитуда также уменьшается.

При отсутствии сопротивления в цепи первой сетки искажение будет обусловлено только второй причиной, поэтому оно значительно меньше. В этом случае допускается ток первой сетки, примерно равный 0,5—1,0 % анодного. Так, в усилителе ЕТО—91В ток сеток двух ГУ-74Б при полной мощности равен 10 мА при допустимом качестве сигнала [5].

Работу в режиме SSB без появления тока первой сетки обеспечивает автоматическая система контроля уровня (ALC).

## 6. СХЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ALC

При работе SSB для уменьшения нелинейных искажений из-за перекачки в усилителях применяют автоматическую регулировку усиления. Такие устройства имеют порог срабатывания, превышение которого вызывает появление отрицательного управляющего напряжения на выходе схемы. Напряжение подают на специальный вход ALC-трансивера, что вызывает уменьшение мощности раскачки. Система называется Automatic Level Control (автоматический контроль уровня), сокращенно ALC.

На рис. 6.1 показана схема ALC-усилителя KENWOOD TL-922.

Получение управляющего напряжения ALC происходит за счет выпрямления части входного ВЧ-напряжения. При небольших сигналах диод VD1 заперт положительным напряжением, поступающим на него через резисторы R4 и R5; поэтому управляющее напряжение отсутствует.

Переменный резистор R4 устанавливает порог срабатывания, превышение которого приводит к открыванию диода VD1 и появлению управляющего отрицательного напряжения на гнезде XS1. Время задержки срабатывания ALC определя-

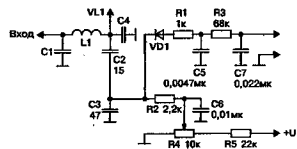


Рис. 6.1. Схема ALC в усилителе KENWOOD TL-922



становится сопоставимым с экранным напряжением, и тогда сетка начинает «отбирать электроны на себя», инициируя прямой ток. Здесь она — потребитель электроэнергии.

Если на аноде отсутствует ВЧ-напряжение или оно незначительно, то создаются условия для отбора эмиссионных электронов от экранной сетки. Тогда, как правило, обратный ток превышает прямой, и сетка становится источником электроэнергии.

Если не обеспечить для обратного тока достаточную нагрузку, напряжение на экранной сетке повысится. Это приведет к увеличению крутизны лампы и росту анодного тока, который, в свою очередь, увеличит вторичную эмиссию. Лавинообразный процесс, длящийся доли секунды, может происходить, пока не сработает защита или, при ее отсутствии, до выхода лампы из строя.

Поэтому источник экранного напряжения должен одновременно являться и потребителем тока.

**Совет.** Для исключения влияния динаatronного эффекта завод-изготовитель рекомендует питать экранную сетку от источника с внутренним сопротивлением 3—5 кОм [30, 31, 32].

В таком случае нейтрализация динаatronного эффекта обеспечивается без дополнительных мер. Выполнение этого условия (при небольших токах) обеспечивает цепочка полупроводниковых стабилизаторов.

Мощные стабилизаторы напряжения, которые могут одновременно быть потребителями тока, достаточно сложны и не получили широкого распространения. Проще, когда функцию источника и потребителя электроэнергии выполняют различные элементы (рис. 7.1). Подобные решения встречаются и в фирменных усилителях [5].

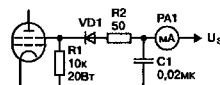


Рис. 7.1. Схема питания экранной сетки

**Примечание.** В схеме источник питания отделен от второй сетки диодом VD1, поэтому при повышении экранного напряжения последнее не поступает в стабилизатор.

Высоковольтный диод VD1, рассчитанный на соответствующее напряжение, защищает источник питания даже в случае замыкания экранной сетки на анод. Но за счет применения предохранительного диода VD1 источник экранного напряжения становится высокоомным. Поэтому параллельно второй сетке подключается отдельный потребитель электроэнергии — резистор R1, который должен быть безиндуктивным.

Как уже упоминалось, необходимая величина сопротивления R1 указана в паспорте радиолампы и обычно равна 3—5 кОм [30, 31, 32]. Если эти данные отсутствуют или если необходимо уменьшить мощность антидинаatronного сопротивления, его можно подобрать экспериментально.

При подборе величины R1 для конкретной лампы к экранной сетке подключают вольтметр и затем проверяют работу с током покоя при отсутствии ВЧ-напряжения на аноде. Напряжение на экранной сетке не должно возрастать. Если это происходит, то уменьшают величину R1 до тех пор, пока напряжение не стабилизируется.

В качестве R1 удобно использовать параллельное включение 2 Вт 100 кОм сопротивлений МЛТ. При этом легко уменьшить величину R1 во время регулировки, подключая дополнительные параллельные сопротивления. В большинстве

случаев необходимая величина антидисторционного сопротивления находится в пределах 5—10 кОм.

Вместо R1 можно применить газоразрядный стабилитрон. Такой потребитель энергии используется в фирменных усилителях ЕТО 91β и АСОМ 2000 [5]. Также возможно использование варистора [46] или цепочки мощных полупроводниковых стабилитронов. Но резистор — самый простой и надежный способ. Потеря 10—20 Вт, которые постоянно рассеиваются на нем, для усилителя не существенны.

Сопротивление R2 (рис. 7.1) является антипаразитным, а также служит для ограничения тока короткого замыкания.

Миллиамперметр РА1 при запертой лампе показывает ток, текущий через сопротивление R1. Иногда это положение стрелки называют «искусственный ноль». Когда на аноде имеется достаточное ВЧ-напряжение, экранная сетка «отбирает» электроны на себя и стрелка отклоняется вправо от «нуля» на величину прямого тока.

При отсутствии на аноде ВЧ-напряжения, а также если оно незначительно, стрелка отклоняется влево, так как при наличии обратного тока экранной сетки потребляемый сопротивлением R1 ток от стабилизатора уменьшается.

## 8. ЦЕПИ АНОДНОГО ПИТАНИЯ

### 8.1. Схемы анодного питания

#### Варианты цепей анодного питания

Цепь анодного питания [7, 35] может быть выполнена:

- ♦ по параллельной схеме (рис. 8.1);
- ♦ по последовательной схеме (рис. 8.2).

#### Параллельная схема

В параллельной схеме лампа, контур и анодный дроссель L1, который отделяет ВЧ-напряжение от источника питания, соединены по высокой частоте параллельно. Поэтому дроссель влияет на параметры контура: увеличивает его начальную емкость и уменьшает индуктивность.

Для ослабления влияния дросселя его индуктивность должна быть в 10—20 раз больше индуктивности катушки контура L2 на **низшей рабочей частоте**.

Например, в усилителе KENWOOD TL-922 его индуктивность равна 160 мкГн [6].

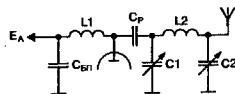


Рис. 8.1. Параллельная схема питания анодной цепи

**Совет.** Чтобы уменьшить емкость дросселя, ближние к аноду 10—15 витков выполняют с шагом 1—1,5 мм. А сам дроссель по возможности удаляют от стенок корпуса. Емкость дросселя обычно находится в пределах 5—10 пФ.

Индуктивность дросселя вместе с распределенной емкостью обеспечивает появление частот **последовательного резонанса** (в дальнейшем — резонанса), на которых его сопротивление резко уменьшается. Высокое выходное сопротивление лампы, параллельно которой подключен дроссель, не ослабляет его резонансных свойств.

При совпадении рабочей частоты и резонансной частоты дросселя он начинает пропускать ВЧ-ток, нагревается и, в худшем случае, выходит из строя. Из-за этого усилительный каскад на резонансных частотах дросселя делается неработоспособным. Полностью исключить резонансы дросселя во всем КВ-диапазоне (1,5—30 МГц) достаточно трудно. Если усилитель предназначен для работы на узких участках диапазона, то подбором числа витков добиваются расположения резонансных частот между диапазонами. В случае, когда каскад должен перекрывать весь КВ-диапазон, чаще используют несколько дросселей или переключаемый дроссель. Переключаемый дроссель применяется в усилителях ЕТО-91 и АСОМ-2000 [1].

### Последовательная схема

В **последовательной схеме** лампа, контур и анодный дроссель включены последовательно. По высокой частоте дроссель присоединен параллельно низкоомной нагрузке (антенне). Шунтирование дросселя ее низким сопротивлением (50—75 Ом) значительно ослабляет в нем резонансные явления. Индуктивность и габариты дросселя могут быть в 3—5 раз меньше, чем в предыдущей схеме.

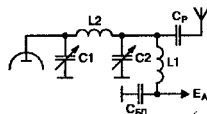


Рис. 8.2. Последовательная схема питания анодной цепи

Емкость дросселя не критична. Но в этой схеме на КПЕ (конденсатор переменной емкости) П-контур к ВЧ-напряжению прибавляется напряжение питания  $E_A$ , поэтому зазор в них должен быть значительно больше. Из-за этого резко возрастают габариты П-контра и усилителя в целом.

Для устранения анодного напряжения на КПЕ последовательно с ними можно присоединить разделительные конденсаторы. Их емкость должна быть 8—10 нФ. Они будут иметь большие габариты и стоимость, так как должны рассеивать значительную реактивную мощность.

### Применение схем

**Преимущества и недостатки** каждой схемы определяют их применение.

В **параллельной схеме** отсутствует анодное напряжение на деталях П-контра, поэтому он упрощается. Но требуется более сложная конструкция дросселя, из-за его резонансов появляются «пораженные частоты», начальная емкость на аноде возрастает на 5—10 пФ. Но схема оправдана, если усилитель работает на узких участках диапазона и резонансы можно разместить между ними. Фирменные усилители выполнены с параллельной схемой анодного питания [1, 4, 6].

В **последовательной схеме** значительно упрощается конструкция дросселя, в нем исключаются резонансные явления, и начальная емкость на аноде уменьшается на 5—10 пФ. Но

удвоенное напряжение на КПЕ вызывает усложнение и увеличение габаритов П-контура. Использование схемы целесообразно [42], если усилитель должен перекрывать весь диапазон 1,5—30 МГц и нет ограничения по габаритам (например, в профессиональных усилителях для радиостанций P-140, P-161).

## 8.2. Проверка частот последовательного резонанса дросселя

**Примечание.** *Определение резонансных частот необходимо только при параллельном питании анодной цепи, так как в последовательной схеме дроссель зашунтирован низким сопротивлением нагрузки и его резонансы не выражены.*

При предварительной проверке резонансных частот получают амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) дросселя L1. Для этой цели применяется АЧХ-метр или ГСС и милливольтметр (рис. 8.3, рис. 8.4). Резисторы R1 и R2 препятствуют регистрации «ложных» резонансов, которые могут появиться при участии индуктивно-емкостных цепей приборов. Предварительную проверку удобно делать отдельно от П-контура, чтобы он не мешал видеть резонансы.

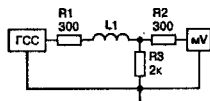


Рис. 8.3. Схема для предварительного определения резонансов дросселя

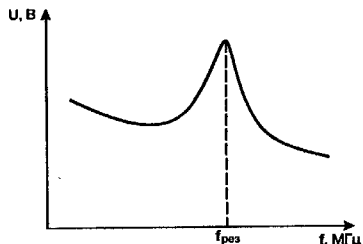


Рис. 8.4. Амплитудно-частотная характеристика дросселя

Для удаления резонансной частоты за пределы рабочего диапазона изменяют индуктивность дросселя, а при секционной намотке — также количество секций и число витков в каждой секции.

В литературе упоминается, что для устранения резонансов можно использовать в дросселе высокоомный провод. Недостаток этого способа — дефицитность провода и уменьшение добротности и КПД П-контура (так как по ВЧ дроссель присоединен параллельно П-контуру). По этим причинам данный способ не получил широкого распространения.

При установке дросселя в схему за счет присоединенного параллельно П-контура его резонансная частота повышается. Для ее уточнения также используется АЧХ-метр или ГСС и милливольтметр (рис. 8.5, рис. 8.6).

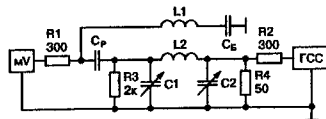


Рис. 8.5. Схема для определения резонансной частоты дросселя

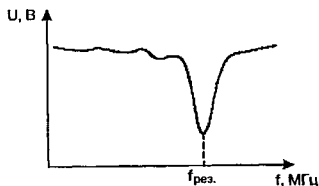


Рис. 8.6. Амплитудно-частотная характеристика колебательной системы с присоединенным анодным дросселем

Эта проверка более трудоемкая, чем предыдущая, так как необходимо постоянно подстраивать П-контур. Но на данной схеме достаточно проверить только резонансноопасный участок. Если после присоединения П-контра резонансная частота слишком приближается к рабочему диапазону, то необходимо продолжить регулировку числа витков дросселя.

Для получения АЧХ колебательной системы при отсутствии ГСС в качестве измерительного генератора можно использовать «раскрытый на передачу» фирменный трансивер (рис. 8.7). Но здесь следует соблюдать осторожность. При резонансе дросселя через него проходит почти вся выходная мощность усилителя. Поэтому с трансивера следует подавать минимально возможный для измерения сигнал.

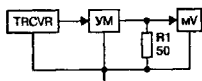


Рис. 8.7. Схема для точного определения резонансных частот дросселя с помощью трансивера

## 9. АНОДНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Расчет трансформаторов блока питания достаточно подробно изложен в литературе, поэтому здесь не приводится.

Для выпрямления анодного напряжения используется мостовая схема или параллельная схема удвоения. В фирменных усилителях применяются обе схемы [1, 4, 6].

Выпрямители KENWOOD TL-922 и AMERITRON-572 во многом похожи (рис. 9.1, рис. 9.2). Они выполнены по

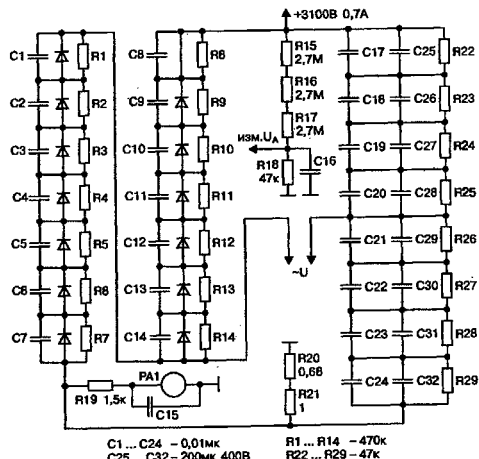
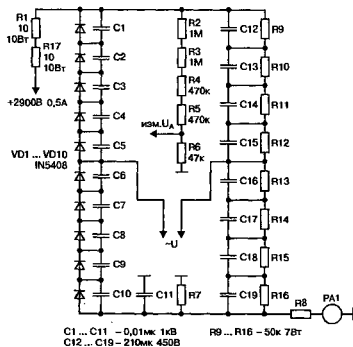


Рис. 9.1. Выпрямитель анодного блока питания усилителя KENWOOD TL-922





**Рис. 9.2.** Выпрямитель анодного блока питания усилителя AMERITRON AL-572

схеме с удвоением напряжения и рассчитаны на ток до 0,7 А. Выпрямительные диоды для увеличения надежности зашунтированы конденсаторами, поглощающими мгновенные пики перенапряжения в сети, которые появляются при переходных процессах. Такие пики напряжения в 2 и более раз превышают его номинальную величину.

В TL-922 диоды зашунтированы резисторами величиной 470 кОм для равномерного распределения напряжения. Некоторые типы диодов не требуют шунтирования. Например, IN5408 в AL-572 (рис. 9.2) или отечественные КД257, КД258.

Емкости сглаживающих фильтров образованы последовательным соединением 8 и 9 электролитических конденсаторов

200—220 мкФ × 400—450 В. Для равномерного распределения напряжения они зашунтированы сопротивлениями 100—150 кОм. Эти же резисторы способствуют быстрому разряду конденсаторов после выключения блока питания. Суммарная емкость на выходе выпрямителей равна примерно 25 мкФ.

Для контроля за анодным напряжением применены однотипные делители напряжения. Измерение анодного тока производится прибором, включенным в разрыв цепи у отрицательного полюса источника питания. Сопротивление R1 и R2 (рис. 9.2) уменьшает ток короткого замыкания в период до срабатывания защиты.

В усилителе ЕТО 91β выпрямитель выполнен по мостовой схеме (рис. 9.3). Суммарная емкость на выходе — 24 мкФ. По сравнению с предыдущими схемами его защита более совершенная. Кроме ограничительных сопротивлений R30 и R37 и предохранителей в цепи 220 В FU3 и FU4, блок питания снабжен реле K1, которое при превышении тока в анодной цепи контактами K1.1 и K1.2 размыкает цепь первичной обмотки трансформатора.

Стабилитроны VD21 и VD22 защищают резисторы R35 и R36 от тока короткого замыкания в период до срабатывания защиты. Резисторы R38 и R39 ограничивают пусковой ток, затем они замыкаются контактами K2.1 и K2.2. Если короткое замыкание в выпрямителе произошло до его включения, то из-за незарядившихся конденсаторов оно мгновенно вызовет рост тока в первичной обмотке трансформатора и срабатывание отдельных пусковых предохранителей FU1 и FU2.

Недостатком рассмотренных схем является отсутствие предохранительных элементов в высоковольтной цепи. Из-за этого при коротком замыкании или простреле лампы выделяется вся разрушительная энергия, запасенная в конденсаторах. Поэтому в аварийной ситуации более вероятно повреждение лампы или других деталей.



- блок питания проще модернизировать, так как при этом не затрагивается сам усилитель;
- усилитель без анодного питания потребляет 150—200 Вт, поэтому легко стабилизировать напряжение накала сетевым стабилизатором на 220 В.

Недостаток один — большая трудоемкость при изготовлении, но она компенсируется указанными преимуществами.

На рис. 9.4 изображена принципиальная схема внешнего анодного блока питания, разработанного с учетом вышеуказанных требований [24]. При отключенном тумблере SA2 дистанционное управление блоком питания обеспечивает реле

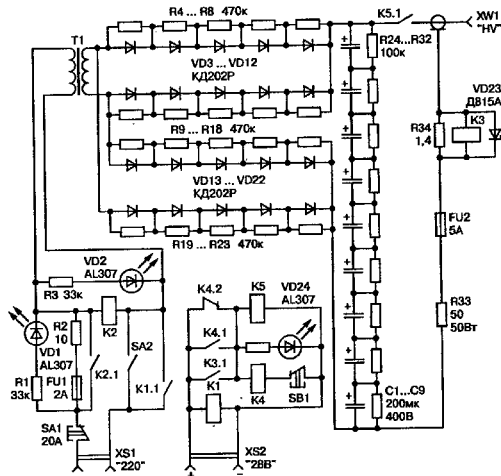


Рис. 9.4. Схема внешнего анодного блока питания

K2. Напряжение + 28 В, поступающее с усилителя, вызывает срабатывание контактов 2.1 и подачу 220 В. Включение также можно делать тумблером SA2. Сигнализирует о включении светодиод VD 2.

**Внимание.** Режим работы блока питания при коротком замыкании зависит от его места в схеме и от количества энергии, запасенной в конденсаторах.

В случае, когда конденсаторы фильтра заряжены, в режиме короткого замыкания выпрямитель можно рассматривать как два источника напряжения, работающих на одну нагрузку. Один из них с малым внутренним сопротивлением — конденсаторы, а другой с большим сопротивлением — выпрямитель.

Поэтому при заряженных конденсаторах в режиме короткого замыкания подавляющую часть тока в нагрузке обеспечивают конденсаторы, а не диоды. Срабатывание реле K5 или предохранителя FU2 происходит за счет энергии, накопленной в конденсаторах. Ток в выпрямительных диодах и в цепи 220 В до срабатывания защиты просто не успевает возрасти. Поэтому элементы защиты цепи 220 В в этом случае не работают. По этой причине блок питания имеет шесть элементов защиты от превышения тока и коротких замыканий.

**Элемент 1** — резистор ступенчатого включения R2 — ограничивает пусковой ток и защищает диоды при зарядке конденсаторов. Задержка на замыкание R2 равна времени срабатывания контактов K2.1.

**Элемент 2** — плавкий предохранитель FU1 — предназначен для защиты в момент подключения, когда конденсаторы еще не заряжены. Он предохраняет резистор R2 от теплового разрушения при коротком замыкании в обмотках T1 и в выпрямителе, и диоды при коротком замыкании в цепи анодного напряжения. В этих случаях происходит резкое возрастание тока в цепи 220 В и большое падение напряжения на

резисторе R2. Поэтому реле K2 не включается. О срабатывании предохранителя сигнализирует светодиод VD1.

**Элемент 3** — автоматический выключатель SA1 — срабатывает, если превышение тока или короткое замыкание в цепи 220 В и во вторичной обмотке T1 произошло после включения, когда контакты реле K2.1 уже замкнуты.

**Элемент 4** — резистор R33 — предназначен для уменьшения тока короткого замыкания в анодной цепи в период до срабатывания защиты.

**Элемент 5** — при увеличении тока анода  $> 1,8$  А или при коротком замыкании в анодной цепи срабатывает релейный автомат. Управляющее реле K3 включает реле блокировки K4, которое отключает реле K5, и контакты K5.1 разрывают цепь анодного питания. Контакты K4.1 блокируют реле K4 во включенном состоянии. Светодиод VD24 сигнализирует о срабатывании защиты, которая возвращается в исходное состояние кнопкой SB1. Стабилитрон VD23 защищает реле K3 и резистор R34 от тока короткого замыкания. Конструктивно релейный автомат более удобно выполнить в корпусе усилителя, так как при этом светодиод VD24 и кнопка SB1 более доступны.

**Элемент 6** — дублирование релейной защиты осуществляется плавким предохранителем FU2, который срабатывает при отказе других систем.

На рис. 9.5 изображена компоновка внешнего анодного блока питания, который, в основном, выполнен с применением навесного монтажа. Печатный монтаж (рис. 9.6) использован только для выпрямителя. На этих рисунках не показаны элементы защиты на реле K3 — K5, которые могут быть размещены в корпусе усилителя.

Реле K1 — ТКЕ-53ПД, три группы контактов включены параллельно. K2 — РП21, все группы контактов включены параллельно. K3 — РЭС49 (сопротивление обмотки 50—60 Ом). K4 — РЭС60 (сопротивление обмотки 1300—2100 Ом). K5 — вакуумный выключатель В1В.

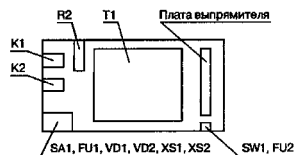


Рис. 9.5. Схема расположения основных деталей в корпусе внешнего анодного блока питания

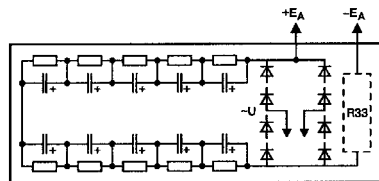


Рис. 9.6. Схема расположения элементов выпрямителя на печатной плате

**Совет.** Если в качестве диодов использовать КД257Д или КД258Д, то шунтирующие сопротивления R4—R23 не требуются.

В качестве предохранителя FU 2 используется стандартная плавкая вставка длиной  $\approx 30$  мм или медная проволока, закрепленная между клеммами.

Диаметр проволоки выбирается по табл. 9.1 [11]. Клеммы для плавкой вставки расположены в отдельном отсеке, который имеет быстросъемную крышку для оперативного доступа.

Анодный блок питания составляет 40—50 % массы усилителя. Поэтому обычно предпринимаются попытки по снижению его веса. Один из путей решения этой проблемы — **бестрансформаторный блок питания**. В этом случае может использоваться симметричный двухполупериодный умножитель [13, 40, 50].

Плавающие вставки предохранителей

Таблица 9.1

Рабочий ток, А	Диаметр проволоки, мм	Материал
0,25	0,04	Константан
0,5	0,07	—
1,0	0,07	Медь
2,0	0,12	—
3,0	0,15	—
4,5	0,20	—
6,0	0,23	—
10,0	0,32	Медь
15,0	0,41	—
20,0	0,45	—
25,0	0,50	—
50,0	1,0	—
80,0	1,2	—
100	1,4	—

В настоящее время все более широко применяются **импульсные источники питания**, которые можно использовать и для питания анодных цепей радиолампы.

При снижении (под нагрузкой) анодного напряжения уменьшается коэффициент усиления радиолампы. Поэтому в течение периода колебания он непостоянен: при малом уровне сигнала коэффициент усиления наибольший, а на пиках — наименьший. Следствием является дополнительное искажение усиливаемой синусоиды и увеличение уровня гармоник.

Есть несколько способов стабилизации анодного напряжения, **например**, применение управляемого дросселя [27]. Но из-за своей сложности они не получили широкого распространения.

В **фирменных усилителях**, рассчитанных на однофазную сеть, блок питания выбирается такой мощности, чтобы снижение под нагрузкой анодного напряжения не превышало 10—15 %. Для уменьшения «просадки» на пиках SSB- сигнала в выпрямителе используется конденсатор 20—22 мкФ. При таком конструктивном решении качество сигнала находится в допустимых пределах [1, 4, 6].

Теоретически увеличение емкости приведет к дальнейшему улучшению качества сигнала. Но в фирменных усилителях TL-922, AL-572, ETO 91β емкость фильтра не превышает 20—22 мкФ. В усилителях фирмы QRO она равна 41—58 мкФ.

Очевидно, большие емкости не применяются, потому что с ее увеличением резко возрастает вероятность разрушения электродной системы лампы при коротких замыканиях и пробоях. Так что здесь необходим разумный компромисс.

Кроме вышеуказанного явления, «просадка» анодного напряжения приводит к уменьшению выходной мощности.

Чтобы «удержать» анодное напряжение под нагрузкой на номинальном значении, без нагрузки его увеличивают на 25—40 % выше номинала. **Например**, в усилителях ETO 91 β и АСОМ-2000 на аноды ГУ-74Б подается 2850 В (при паспортном значении 2000 В) [4].

Анодная изоляция лампы рассчитана на примерно удвоенное номинальное анодное напряжение. Поэтому на запертой лампе повышенное даже на 40 % питающее напряжение не вызовет пробоя. С ростом тока анода питающее напряжение из-за «просадки» уменьшается до безопасной величины.

**Примечание.** В литературе также указывается на допустимость превышения указанного в паспорте анодного напряжения для генераторных ламп малой и средней мощности при соблюдении остальных параметров [35].

Наилучшие результаты будут при использовании трехфазного источника, где легко добиться «просадки» не более 5—10 %.

## 10. КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

### Виды колебательных систем

У колебательной системы (КС), которая находится на выходе усилителя мощности, четыре функции:

- трансформировать сопротивление антенны в эквивалентное сопротивление нагрузки лампы;
- компенсировать реактивную составляющую нагрузки;
- за счет энергии, запасенной в контуре, восполнять недостающую часть периода при работе с отсечкой анодного тока;
- подавлять гармоники основной частоты.

В качестве КС, как правило, используется **параллельный колебательный контур** с различными вариантами включения.

### Параметры колебательных систем

Колебательную систему характеризуют следующие **параметры**.

#### 1. Резонансная частота $f_{РЕЗ}$

Резонансная частота параллельного и последовательного колебательного контура при добротности  $Q > 10$  определяется по формуле

$$f_{РЕЗ(МГц)} = \sqrt{\frac{159}{L_{(МкГн)} \cdot C_{(пФ)}}}. \quad (10.1)$$

#### 2. Коэффициент фильтрации $K_{\Phi}$

$$K_{\Phi} = \frac{I_{Г.ВХ} / I_{ВХ}}{I_{Г.ВЫХ} / I_{ВЫХ}}. \quad (10.2)$$

где  $I_{Г,ВХ}$  — ток гармоники на входе колебательной системы;  
 $I_{ВХ}$  — ток основной частоты на входе;  
 $I_{Г,ВЫХ}$  — ток гармоники на входе колебательной системы;  
 $I_{ВЫХ}$  — ток основной частоты на выходе.

Например, на входе  $I_{Г,ВХ} = 0,5 \text{ А}$ ,  $I_{ВХ} = 1 \text{ А}$ , на выходе  $I_{Г,ВЫХ} = 0,05 \text{ А}$ ,  $I_{ВЫХ} = 0,9 \text{ А}$ .

$$K_{\phi} = \frac{0,5 / 1}{0,05 / 0,9} = 9.$$

### 3. Добротность $Q$ .

**Добротность** — это отношение запасенной в контуре энергии (в виде электрического и магнитного полей) к энергии, рассеиваемой контуром за один период колебаний. Она определяется соотношением:

$$Q = \frac{U_K}{U}, \quad (10.3)$$

где  $U_K$  — напряжение на контуре при резонансе;

$U$  — напряжение, приложенное к контуру.

Добротность ненагруженного контура на КВ находится в пределах  $Q_{ХХ} = 100\text{—}300$ . При подключении к контуру нагрузки (например, антенны) его сопротивление и добротность уменьшаются. Оптимальная «нагруженная» добротность на КВ  $Q = 10\text{—}15$ . С ростом «нагруженной» добротности возрастает реактивный ток в контуре и снижается его КПД ( $\eta_K$ ):

$$\eta_K = 1 - \frac{Q}{Q_{ХХ}}. \quad (10.4)$$

При малых значениях  $Q$  ухудшается фильтрация высших гармоник, а также невозможно получить большой коэффициент трансформации сопротивлений.

При неизменном значении сопротивления нагрузки контура можно получить его различную добротность. Для этого изменяем величины  $L$  и  $C$ . С ростом емкости контура и уменьшением индуктивности (при неизменной  $f_{РЧ}$ ) добротность растет. Особенно наглядно это наблюдается на диапазоне 10 м, когда емкость контура вынужденно получается больше оптимальной, и из-за большого реактивного тока контур нагревается.

Минимально необходимая добротность для трансформации сопротивлений

$$Q \geq \sqrt{\frac{\eta_K \cdot R_{\lambda}}{R_H}}, \quad (10.5)$$

где  $\eta_K$  — КПД контура;

$R_{\lambda}$  — эквивалентное сопротивление лампы;

$R_H$  — сопротивление нагрузки.

Так как  $\eta_K > 0,9$ , а  $R_{\lambda} \gg R_H$ , то для практических расчетов ламповых усилителей используется формула

$$Q \geq \sqrt{\frac{R_{\lambda}}{R_H}}. \quad (10.6)$$

### 4. Входное сопротивление $R_{\phi}$ .

Оно должно быть равным сопротивлению нагрузки, при котором выходной каскад работает в граничном режиме и отдает наибольшую мощность. Другими словами, оно должно быть равно эквивалентному сопротивлению лампы.

### 5. Выходное сопротивление $R_{\text{вх}}$ .

Оно должно быть равным сопротивлению нагрузки (антенны).

Практически  $R_{\text{вх}}$ , как правило, равно волновому сопротивлению антенного кабеля (50 или 75 Ом).

### 6. Коэффициент трансформации.

$$K_{\text{тр}} = \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{ВЫХ}}} = \frac{R_{\text{а}}}{R_{\text{н}}} \quad (10.7)$$

Он должен быть таким, чтобы колебательная система трансформировала сопротивление антенны в эквивалентное сопротивление лампы.

#### Наиболее распространенные колебательные системы

В табл. 10.1 приведены наиболее распространенные колебательные системы [7].

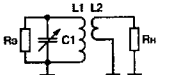
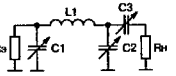
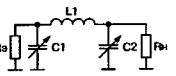
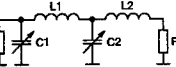
Конденсатором С1 настраивают контур на резонансную частоту, а конденсатором С2, регулирующим связь, — с антенной, то есть величину нагрузки лампы (другими словами — регулируют коэффициент трансформации КС).

В реальной конструкции емкость С1 состоит из емкости анодного КПЕ, выходной емкости лампы (до 30 пФ), емкости монтажа (до 15 пФ), емкости катушки (до 10 пФ), емкости анодного дросселя (до 10 пФ, только при параллельном питании). По этой причине на диапазоне 28 МГц при минимальной емкости анодного КПЕ емкость С1, а следовательно и добротность, получаются больше оптимальной. Увеличивается нагрев контура и снижается его КПД.

Наилучшие показатели по соотношению  $K_{\text{ф}}$ /число элементов у схемы №3. Она получила название П-контур. Максимальное подавление гармоник дает схема № 4. Она названа ПЛ-контур. В колебательных системах усилителей применяют обе схемы. Например, в KENWOOD TL 922 и AMERITRON AL 572 используется П-контур. В ЕТО 91β и АСОМ2000 используется ПЛ-контур.

#### Колебательные системы

Таблица 10.1

№	Колебательная система	Коэффициент фильтрации		
		2-й гармоники	3-й гармоники	n-й гармоники
1		3Q	8Q	$n^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \cdot Q$
2		3Q	8Q	$n^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \cdot Q$
3		6Q	24Q	$n^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \cdot Q$
4		12Q	72Q	$n^2 \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \cdot Q$

Коэффициенты фильтрации высших гармоник у этих схем при  $Q = 10$  представлены в табл. 10.2.

#### Коэффициент фильтрации

Таблица 10.2

Колебательная система	Номер гармоники			
	2	3	4	5
П-контур	60'	240	600	1200
ПЛ-контур	120	720	2400	6000

Как видно из табл. 10.2, 2-ю гармонику ПЛ-контур подавляет в два раза больше. 2-я гармоника может быть мешающей на кратных диапазонах, и здесь ослабление в 2 раза несущественно.



С возрастанием номера гармоники разница в коэффициентах фильтрации возрастает. Как видно из табл. 10.2,  $n$ -ю гармонику ПЛ-контур подавляет в  $n$  раз больше. Поэтому при подавлении телевизионных помех он обеспечивает существенное преимущество.

Но расчетным путем трудно определить величину необходимого подавления для ближайшего телевизора. Поэтому ПЛ-контур гарантированно не избавляет от помех. Можно только сказать, что вероятность их появления будет меньше. Вместе с тем введение дополнительной катушки с переключаемыми отводами усложнит конструкцию колебательной системы.

Производители фирменной аппаратуры применяют и тот, и другой варианты. Поэтому при изготовлении усилителя применение ПЛ-контра не бесспорно. Работая на загородной позиции, дополнительным подавлением гармоник, может быть, не придется заниматься вообще, и ПЛ-контур окажется лишним.

При работе из многоквартирного дома даже ПЛ-контур может оказаться недостаточным. Поэтому метод и степень подавления гармоник более рационально решать как отдельный вопрос, исходя из конкретной обстановки.

Кроме ПЛ-контра, можно использовать режим с большим углом отсечки анодного тока, или дополнительный фильтр. Расчет фильтров для подавления гармоник приведен в главе 12. Помимо высших гармоник, помехи может создавать основной сигнал, проникающий на вход телевизора. Для его подавления потребуются отдельные фильтры, расчет которых также изложен в главе 12.

#### Расчет П-контра

При расчете П-контра мы задаемся добротностью  $Q$ , рабочей частотой  $f$  и сопротивлением нагрузки  $R_H$ .

Расчет начинают с определения входного сопротивления П-контра, которое должно быть равно эквивалентному сопротивлению лампы  $R_9$  [7]:

$$R_9 = k \frac{E_a}{I_{A0}}, \text{ Ом}, \quad (10.8)$$

где  $E_a$  — напряжение на аноде под нагрузкой, В;  
 $I_{A0}$  — постоянная составляющая анодного тока (ток, который показывает анодный амперметр), А;  
 $k$  — коэффициент режима работы (см. табл. 10.3).

Коэффициенты  $k$  режима работы

Таблица 10.3

Режим работы	AB	B	C
Для тетродов	0,57	0,51	0,5
Для пентодов и триодов	0,65	0,58	0,56

Затем определяют минимально необходимую добротность П-контра:

$$Q \geq \sqrt{\frac{R_9}{R_H}}$$

И с учетом полученного значения проверяем, что заданная добротность П-контра достаточна. При расчетах добротность  $Q$  чаще всего принимается равной 12 [7].

Определяем среднегеометрическое сопротивление П-контра:

$$R_{CP} = \sqrt{R_9 \cdot R_H}, \text{ Ом} \quad (10.9)$$

Реактивное сопротивление конденсаторов:

$$X_{C1} = -\frac{R_9 + R_{CP}}{Q}, \text{ Ом}; \quad X_{C2} = -\frac{R_H + R_{CP}}{Q}, \text{ Ом}. \quad (10.10)$$

**Индуктивное сопротивление катушки:**

$$X_L = -(X_{C1} + X_{C2}), \text{ Ом.} \quad (10.11)$$

Затем вычисляют значения  $C_1, C_2, L$ :

$$C_1 = \frac{159000}{f \cdot X_{C1}}, \text{ нФ; } C_2 = \frac{159000}{f \cdot X_{C2}}, \text{ нФ; } L = \frac{X_L}{2\pi \cdot f}, \text{ мкГн.} \quad (10.12)$$

**Пример расчета П-контура** для тетрода в режиме АВ при  $E_a = 1000 \text{ В}, I_{A0} = 0,5 \text{ А}, f = 14 \text{ МГц}, R_H = 50 \text{ Ом}, Q = 12$ .

1. Находим входное сопротивление П-контура по формуле (10.8)

$$R_{вх} = R_s = K \frac{1000}{0,5}$$

2. По табл. 10.3 для тетрода в режиме АВ коэффициент  $K = 0,57$ ; тогда:

$$R_{вх} = 0,57 \cdot \frac{1000}{0,5} = 1140 \text{ Ом.}$$

3. Минимально допустимая добротность

$$Q \geq \sqrt{\frac{R_{вх}}{R_{вых}}} = \sqrt{\frac{1140}{50}} = 4,8.$$

Следовательно, принятая добротность  $Q=12$  будет достаточна.

4. Среднегеометрическое сопротивление П- контура

$$R_{ср} = \sqrt{R_{вх} \cdot R_{вых}} = \sqrt{1140 \cdot 50} = 240 \text{ Ом.}$$

5. Индуктивные сопротивления конденсаторов и катушки

$$X_{C1} = -\frac{1140 + 240}{12} = -115 \text{ Ом;}$$

$$X_{C2} = -\frac{50 + 240}{12} = -24 \text{ Ом;}$$

$$X_L = -(115 - 24) = 139 \text{ Ом.}$$

Определяем величины  $C_1, C_2, L$ :

$$C_1 = \frac{159000}{14 \cdot 115} = 99 \text{ нФ; } C_2 = \frac{159000}{14 \cdot 24} = 473 \text{ нФ;}$$

$$L = \frac{139}{2 \cdot 3,14 \cdot 14} = 1,6 \text{ мкГн.}$$

### Расчет ПЛ-контура

Расчет ПЛ-контура производится как отдельный расчет П-контура и Г-контура [28]. Так как расчет П-контура уже изложен, остается рассмотреть только расчет Г-контура.

1. Определяем промежуточное сопротивление:

$$R_{пр} = \sqrt{R_p \cdot R_H}, \text{ Ом.} \quad (10.13)$$

Промежуточное сопротивление  $R_{пр}$  является выходным сопротивлением (сопротивлением нагрузки) для П-контура и входным сопротивлением для Г-контура. Обычно его принимают равным 300 Ом [28].

2. Определим минимально необходимую добротность:

$$Q = \sqrt{\frac{R_{пр}}{R_s}} = \sqrt{\frac{300}{50}} \approx 2,5.$$

3. Реактивное сопротивление конденсатора  $C_3$

$$X_{C3} = \frac{R_{пр}}{Q}. \quad (10.14)$$

4. Индуктивное сопротивление катушки  $L_2$

$$X_{L2} = \frac{R_s}{Q}. \quad (10.15)$$

Значения  $C_3$  и  $L_2$  вычисляют по выражениям (10.12). Конденсаторы  $C_2$  и  $C_3$  в реальной конструкции объеди-

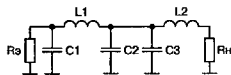


Рис. 10.1. П-контур

нены. Существуют и другие формулы для расчета [28]. Окончательную регулировку контуров делают опытным путем.

### Регулировка и настройка П-контура и ПЛ-контура

После присоединения отводов к расчетным точкам катушки П-контура следует проверить его резонансные частоты методом «холодной настройки». Для этого к П-контуру присоединяют ГСС и милливольтметр, как показано на рис. 10.2.

Резисторы R1—R4 должны быть безындукционными. R2 равен эквивалентному сопротивлению лампы, R4 — сопротивлению антенны (антенного фидера).

Резисторы R1 и R3 служат для развязки индуктивно-емкостных цепей приборов и П-контура. Без них эти цепи и П-контур могут образовать свою собственную резонансную систему, и милливольтметр покажет максимум на частоте ложного резонанса. Окончательную настройку П-контура делают при работе каскада в режиме номинальной мощности.

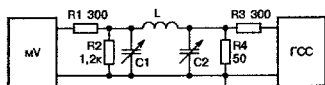


Рис. 10.2. Схема «холодной» настройки П-контура

Главным показателем правильности настройки П-контура является максимальная выходная мощность, которая обеспечивается в граничном режиме.

**Совет.** Наиболее точно граничный режим можно определить по максимуму тока экранной сетки. В триодах для определения граничного режима следует в первую очередь контролировать величину «провала» анодного тока.

Провал анодного тока  $\Delta I_{A0}$  равен

$$\Delta I_{A0} = \frac{I_{A0(R0)} - I_{A0(RH)}}{I_{A0(R0)}}, \% \quad (10.16)$$

где  $I_{A0(R0)}$  — ток анода при расстроенном контуре, когда его сопротивление близко к нулю;

$I_{A0(RH)}$  — ток анода при настроенном по максимальной выходной мощности контуре.

Схематично «провал» анодного тока изображен рис. 10.3.

Порядок регулировки следующий.

**Шаг 1.** Подключают антенну или соответствующее ей нагрузочное сопротивление.

**Шаг 2.** В режиме неполной выходной мощности настраивают по максимальному напряжению на выходе конденсаторы C1 и C2.

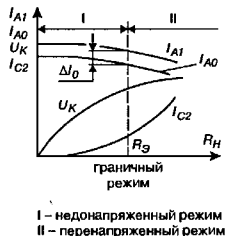
**Шаг 3.** В режиме полной выходной мощности уточняют настройку C1 и C2. Затем измеряют величину провала анодного тока и ток экранной сетки.

**Шаг 4.** Если провал анодного тока превышает 15 %, а ток экранной сетки — (0,01—0,03) от тока анода, то, как следует из рис. 10.3, каскад работает в перенапряженном режиме. При этом не достигается полная выходная мощность и значительно возрастает ток экранной сетки. Кроме того, на пиках сигнала усилитель переходит в нелинейный режим (рис. 10.4), и полоса

излучения расширяется. Чтобы перейти в граничный режим, необходимо уменьшить сопротивление нагрузки, т. е. уменьшить коэффициент трансформации П-контура. Для этого увеличивают емкость  $C1$  и уменьшают емкость  $C2$  в такой пропорции, чтобы их общая емкость и резонансная частота  $f_{PE3}$  П-контура не изменились. Влияние конденсаторов  $C1$  и  $C2$  на сопротивление нагрузки делается более понятным, если изобразить схему П-контура в нетрадиционном виде (рис. 10.5). Емкости  $C1$  и  $C2$  и их реактивное сопротивление  $X_{C1}$  и  $X_{C2}$  на схеме изображены отдельными элементами.

**Шаг 5.** Если провал анодного тока  $< 5\%$ , а ток экранной сетки отсутствует, каскад работает в недонапряженном режиме (рис. 10.3).

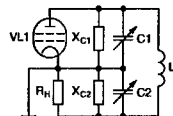
В последнем случае невозможно получить максимальную выходную мощность, а большая мощность, рассеиваемая на аноде, увеличивает тепловую напряженность лампы и снижает КПД. Чтобы перейти в граничный режим, следует уве-



**Рис. 10.3.** Нагрузочная характеристика каскада:  
 $I_{A0}$  — постоянная составляющая анодного тока (показания анодного амперметра);  
 $\Delta I_{\theta}$  — провал анодного тока;  $P_{\text{вых}}$  — выходная мощность;  
 $P$  — выходная мощность;  $\eta$  — КПД каскада;  
 $I_{C2}$  — ток экранной сетки



**Рис. 10.4.** Амплитудная характеристика усилителя:  
 $U_{\text{вх}}$  — напряжение возбуждения на входе усилителя;  
 $U_{\text{нх}}$  — напряжение на нагрузке усилителя



**Рис. 10.5.** П-контур

личить коэффициент трансформации П-контура. Для этого уменьшают емкость  $C1$  и увеличивают  $C2$ .

**Шаг 6.** Таким образом, регулируя настройку обоих КПЕ П-контура, добиваются работы каскада в граничном режиме, которому соответствует максимальная выходная мощность.

При использовании ПЛ-контура вначале регулируют П-контур, нагружаемый на промежуточное сопротивление, а затем, присоединив L-катушку, регулируют величины  $C3$  и  $L2$  (рис. 10.1) по такой же методике. В реальной конструкции ПЛ-контура емкости  $C2$  и  $C3$  объединяют в один КПЕ.

Затем следует убедиться, что добротность изготовленного П-контура соответствует расчетной.

Экспериментально добротность определяется по формуле

$$Q = \frac{f_{cp}}{f_{max} - f_{min}} \cdot \sqrt{\frac{100}{P} - 1}, \quad (10.17)$$

где  $f_{cp}$  — средняя частота при измерении;  
 $f_{max}$  и  $f_{min}$  — максимальная и минимальная частота расстройки трансивера при проведении измерений;

$P$  — выходная мощность при частоте  $f_{max}$  и  $f_{min}$ , выраженная в % от выходной мощности при частоте  $f_{cp}$ .

При  $P = 50\%$  подкоренное выражение станет равным 1, и формула примет более простой вид:

$$Q = \frac{f_{cp}}{f_{max} - f_{min}}. \quad (10.18)$$

Если трансивер позволяет делать необходимую расстройку частоты, то упрощенной формулой пользоваться более удобно.

#### Пример определения добротности П-контура

1. Устанавливаем трансивер на частоту  $f_{cp} = 14,2$  МГц и при полной раскчке настраиваем конденсаторы  $C1$  и  $C2$  П-контура по максимальному напряжению на нагрузке.
2. Регулятором прибора-измерителя выхода усилителя устанавливаем отклонение стрелки на 100 % шкалы.
3. Не меняя положения ручек конденсаторов  $C1$  и  $C2$  П-контура, уменьшаем частоту настройки трансивера от  $f_{cp}$  до тех пор, пока отклонение стрелки измерителя выхода не уменьшится до 70 % всей шкалы. Эта частота будет  $f_{min}$  (например,  $f_{min} = 13,5$  МГц).
4. Затем увеличивают частоту настройки трансивера от  $f_{cp}$ , пока отклонение стрелки измерителя выхода не уменьшится до 70 % всей шкалы. Эта частота будет  $f_{max}$  (например,  $f_{max} = 14,7$  МГц).

5. Определяем  $Q$ :

$$Q = \frac{f_{cp}}{f_{max} - f_{min}} = \frac{14,2}{14,7 - 13,5} = 11,8.$$

Из-за несимметричной полосы пропускания П-контура  $f_{cp} = 14,2$  МГц, при которой начали измерения, не равна полусумме  $f_{min}$  и  $f_{max}$ , определенных экспериментально. Но для практических расчетов этой разницей можно пренебречь.

**Внимание.** *Необходимо помнить, что при  $P = 50\%$  вторая половина мощности рассеивается на аноде. Поэтому перед измерением следует проверить по справочнику, что мощность рассеивания на аноде не превысит максимально допустимую. Измерения следует проводить оперативно.*

Для уменьшения нагрузки на аноде при проведении измерений, а также, если трансивер не позволяет выйти за пределы узких участков диапазона, можно измерить добротность по формуле (10.17) при  $P = 60, 70$  или  $80\%$ .

Так как  $P = U^2/R$ , то показания измерителя выхода при этом будут 77,84 и 90% соответственно.

Если добротность оказалась выше 15, то следует увеличить число витков катушки и уменьшить  $C1$ , если  $Q < 10$  — уменьшить число витков и увеличить емкость  $C1$ . После этого повторяют вышеуказанную регулировку для получения граничного режима.

Большой неприятности, если  $Q = 8$  или  $Q = 20$ , не будет. Но при  $Q = 8$  следует более внимательно убедиться в отсутствии мешающих гармоник, а при  $Q = 20$  проверить нагрев деталей.

**Примечание.** *Большая добротность доставляет неудобства при настройке конденсаторов  $C1$  и  $C2$ , так как она становится слишком «острой».*

Используя выражения (10.17) или (10.18) и вышеуказанный метод, можно также определить **ненагруженную добротность**, а затем по формуле (10.4) вычислить КПД П-контура.

Измерения ненагруженной добротности проводят на выключенном усилителе и отсоединенной антенне. Сигнал с трансивера подают на вход усилителя, и он поступает в П-контур через проходную емкость лампы. Напряжение на контуре измеряют милливольтметром, присоединенным к аноду через вентиляционные отверстия корпуса, расположенные над лампой.

Для получения максимальной выходной мощности **настройку конденсаторов С1 и С2 проводят в несколько этапов.**

**Этап 1.** Конденсатором С1 настраиваем анодный контур на рабочую частоту.

**Этап 2.** Конденсатором С2 устанавливаем сопротивление нагрузки, при котором лампа выдает максимальную мощность. При изменении емкости С2 также меняется общая емкость С1, С2, что приводит к некоторому изменению частоты настройки контура. Поэтому после регулировки С2 требуется небольшая подстройка конденсатора С1. При настройке контура напряжение на нем возрастает, остаточное напряжение на аноде уменьшается, следовательно, импульсы и постоянная составляющая анодного тока уменьшаются.

Из-за малого остаточного напряжения на аноде ток экранной сетки возрастает. Поэтому настройку П-контура лучше всего контролировать по максимуму тока экранной сетки, который является наиболее острым показателем. Следующие показатели — максимальное напряжение на нагрузке и минимума постоянной составляющей анодного тока.

**Внимание.** Если минимальные показания анодного амперметра не совпадают с максимумом тока экранной сетки, значит, проходная емкость лампы оказывает слишком большое влияние, и требуется ее нейтрализация.

### Конструкция колебательной системы

Конструктивное выполнение КС является достаточно сложной задачей. Рассмотрим **общие правила.**

**Правило 1.** Все катушки индуктивности, входящие в П-контур и анодный дроссель, должны быть взаимно перпендикулярны.

**Правило 2.** Для уменьшения габаритов и расхода меди, а также для упрощения компоновки катушку П-контура рекомендуется выполнять из 2-х соединенных последовательно катушек. Одна из них работает на диапазонах 10—28 МГц и наматывается более толстым проводом. Вторая — для диапазонов 1,8—7 МГц из более тонкого провода. Их располагают взаимно перпендикулярно, чтобы неработающие витки «большой» катушки меньше влияли на работу контура на ВЧ-диапазонах.

**Правило 3.** Детали П-контура и дроссель располагают так, чтобы их соединительные провода были как можно короче.

**Правило 4.** Расстояния от катушек П-контура до стенок корпуса должны быть  $> 0,5$  диаметра катушки.

### Варианты изготовления цилиндрических катушек

В качестве индуктивности чаще всего применяют цилиндрические катушки. При их изготовлении есть **три варианта.**

**Вариант 1.** Катушки, намотанные круглым проводом или трубкой. Их преимущество — простота намотки, а недостатки — большие габариты и в случае использования провода — большой вес.

**Вариант 2.** Катушки, изготавливаемые из шины или ленты методом «плоской» намотки. Они выполняются наиболее просто, их преимуществом является минимальная межвитковая емкость, но из-за вынужденно большого расстояния между



Рис. 10.6. Катушка с «плоской» намоткой

витками у катушки получается маленькая индуктивность при больших габаритах (рис. 10.6).

**Вариант 3.** Намотка «на ребро» позволяет добиться минимального расстояния между витками. Поэтому такие катушки имеют максимальную индуктивность при заданных размерах. По сравнению с «плоской» намоткой при той же индуктивности габариты катушки получаются в 2–3 раза меньше, но межвитковая емкость больше (рис. 10.7).

Намотка «на ребро» широко применяется в промышленных конструкциях. Ее недостаток состоит в сложности изготовления. Для намотки необходима специальная оправка с канавкой для укладки шины, а саму медную шину, чтобы придать ей максимальную пластичность, следует отжечь. Для этого ее нагревают до  $t = 350\text{—}400\text{ }^\circ\text{C}$  и выдерживают 1–2 часа. После намотки витки катушки фиксируют 3-мя «гребенками» из фторопласта.

Можно применить спиральные катушки (рис. 10.8). Их легко намотать широкой лентой, даже если она неотожженная. Габариты получаются значительно меньшими, чем у «плоской» цилиндрической катушки, и сравними с катушкой,



Рис. 10.7. Катушка, намотанная «на ребро»

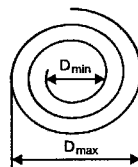


Рис. 10.8. Спиральная катушка

намотанной «на ребро». Каркас не требуется, витки скрепляются «гребенками» из фторопласта.

**Внимание.** К сожалению, привлекательность намотки «на ребро» уменьшает один существенный недостаток. Если  $D_{max}/D_{min} > 2$ , то внутренние витки попадают в зону центральных силовых линий наружных витков и разогреваются. Это явление не позволяет выполнить компактную катушку для диапазонов 10–160 м.

При изготовлении катушек на диапазоны 10–20 м или однодиапазонных условие  $D_{max}/D_{min} < 2$  соблюдается легко, и можно избежать нагрева внутреннего витка. Но при испытании нужно обязательно проконтролировать его температуру. Вторым недостатком этой катушки является большая межвитковая емкость.

#### Тороидальная катушка

Следующий вариант — тороидальная катушка. Ее преимущество — нерассеянное магнитное поле, что позволяет легко ее «развязать» с остальными катушками. Недостаток — большие габариты, но сравнительно с цилиндрической катушкой. Это легко проверить. Намотайте цилиндрическую

катушку, измерьте индуктивность, а затем сверните ее в тор. Индуктивность уменьшается примерно в 1,5 раза, а объем занимаемой катушки увеличивается.

Тороидальная намотка применяется в ПЛ-контурах для L-катушки. Это позволяет «развязать» ее от анодного дросселя и двух взаимно перпендикулярных катушек П-контура.

**Примечание.** *Оптимальная конструкция П-контура получается, если катушку на диапазоны 10—28 МГц сделать из трубки, а соединенную с ней последовательно катушку на диапазоны 1,8—7 МГц — из шины, намотанной «на ребро».*

Трубка на ВЧ-диапазонах обеспечивает:

- минимальную емкость катушки (которая присоединена параллельно аноду);
- высокий КПД контура;
- приемлемые габариты;
- удобство крепления отвода комутиком;
- возможность выполнить витки сравнительно небольшого диаметра (50—60 мм). При малом диаметре катушки легче подобрать отвод напротив переключателя и сделать соединительные проводники минимальной длины. На НЧ-диапазонах намотка шиной «на ребро» обеспечивает наименьшие габариты «большой» катушки, а значительная межвитковая емкость не столь существенна.

**Совет.** *С технологической точки зрения всю катушку П-контура наиболее просто изготовить из трубки. Она легко наматывается и не требует каркаса.*

### Расчеты катушек

Выбору диаметра (периметра) провода посвящены многие публикации [3, 28], которые зачастую противоречивы (табл. 10.4, табл. 10.5).

В справочнике [7] рекомендуется плотность тока в расчете на 1 мм периметра провода от 0,7 А на 28 МГц до 1 А на 3,6 МГц. Величину тока первой гармоники определяют в зависимости от угла отсечки.

Для режима В она примерно равна  $1,6I_{A0}Q$ . Для режима АВ —  $1,3I_{A0}Q$  (рис. 3.2).  $I_{A0}$  — показания анодного амперметра,  $Q$  — добротность. Такая плотность тока необходима для работы непрерывным излучением.

При работе SSB и CW в режиме RX/TX средняя нагрузка на провод будет примерно в 3–4 раза меньше.

В том же справочнике [1] зазор для КПЕ рекомендуется принимать 0,7—1 мм в расчете на 1 киловольт анодного напряжения. Э. Ред [39] приводит более сложную нелинейную зависимость (табл. 10.6).

Выбор диаметра провода из [3]

Таблица 10.4

Подводимая мощность, Вт	Диапазон, МГц	Диаметр, мм
1000	21—28	4,1
	7,0—14,0	3,3
	1,8—3,6	2,6
500	21—28	3,3
	7,0—14,0	2
	1,8—3,6	1,6
150	21—28	2
	7,0—14,0	1,6
	1,8—3,6	1



Выбор диаметра провода из [28]

Таблица 10.5

Выходная мощность, Вт	Диапазон, МГц	Диаметр, мм
500	21—28	5,5
	7,0—14,0	4
	1,8—3,6	2,8
100	21—28	3
	7,0—14,0	2,2
	1,8—3,6	1,5
40	21—28	2
	7,0—14,0	1,3
	1,8—3,6	0,8

Зависимость зазора в анодном КПЕ от анодного напряжения

Таблица 10.6

$E_a$ , кВ	Зазор, мм
1000	0,4
1500	0,8
2000	1,3
2500	1,5
3000	1,8
3500	2,1
4000	2,5
4500	3
5000	3,6
5500	4

### Конструктивное решение П-контура усилителя KENWOOD TL-922

В заключении главы рассмотрим [2] конструктивное решение П-контура усилителя KENWOOD TL-922 (рис. 10.9).

В П-контуре используется анодный КПЕ емкостью 150 пФ, а на низкочастотных диапазонах к нему подключаются добавочные постоянные конденсаторы C2 и C3. Это уменьшает габариты КПЕ и П-контура в целом и значительно снижает

плотность настройки на 14—28 МГц за счет «электрического верньера».

Кроме того, минимальная емкость малогабаритного анодного КПЕ C1 способствует оптимизации параметров контура на диапазоне 28 МГц. Практически максимальная емкость анодного КПЕ определяется возможностью перестройки контура в диапазоне 1,8 МГц. Для уменьшения плотности настройки также можно применить двухсекционный КПЕ [4].

Анодный КПЕ состоит из двух секций. Для уменьшения плотности настройки на диапазонах 7—28 МГц используется секция C6, на диапазонах 3,6 МГц параллельно ей подключается вторая секция C7, и на диапазоне 1,8 МГц подключается добавочная емкость 1000 пФ. (конденсаторы C4 и C5).

Индуктивность П-контура выполнена из двух отдельных катушек L1 и L2, которые расположены взаимно перпендикулярно для уменьшения влияния неработающих витков «большой» катушки L2 на диапазоне 28 МГц.

Переключение отводов катушки и коммутацию конденсаторов обеспечивает специальный двухгалетный переключатель с «широкими» подвижными контактами. Благодаря такой конструкции секция SA1-2 может одновременно ком-

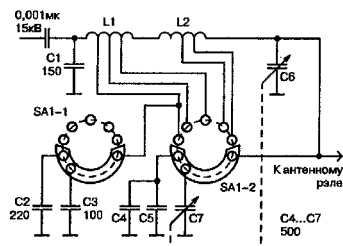


Рис. 10.9. Схема П-контура усилителя KENWOOD TL-922

мутировать отводы и подключать дополнительные емкости к антенному КПЕ.

Для уменьшения влияния неработающих витков широкой бегунок позволяет замыкать все отводы неработающей части катушки.

Подвижный контакт секции SA1.1 связан не с анодным КПЕ, а с «десятиметровым» отводом катушки L1. Это позволило упростить монтаж, не прокладывая по ВЧ-отсеку отдельную шину от КПЕ C1 к SA1.1, а используя короткий проводник между SA1.1 и SA1.2. Для диапазонов 1,8 и 3,6 МГц перенос точки подключения постоянных конденсаторов несущественен.

Аналогичные конструктивные решения использованы и в других фирменных усилителях [1, 4].

## 11. ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ ДИАПАЗОНОВ

### 11.1. Переключатели с ручным управлением

При ручном управлении применяются:

- электромагнитные реле;
- механические переключатели.

#### Механические переключатели

Переключение диапазонов в профессиональных и фирменных усилителях (даже в автоматических АСОМ 2000 и P-161) производится механическими переключателями, т. к. они более просты, надежны и имеют меньшую стоимость.

Конструкция механического переключателя, специально разработанного для усилителя мощности, и его электрическая схема изображены на рис. 11.1—рис. 11.3 [20]. Переключатель имеет три группы контактов, которые позволяют коммутиро-

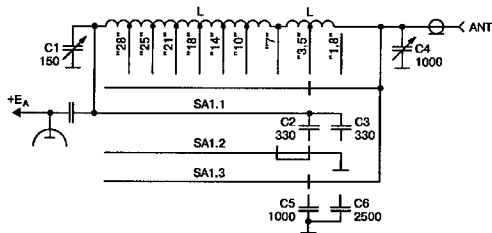


Рис. 11.1. Схема П-контура с трехгалетным переключателем диапазонов

вать отводы катушки и постоянные конденсаторы, подключаемые к обом КПЕ на НЧ-диапазонах.

Для галет использован фторопласт. По электрической прочности он сопоставим с фарфором — 25—40 кВ/мм. Применение фторопласта позволило изготавливать галеты путем механической обработки и разместить в одной из них компактный фиксатор.

Переключатель состоит из трех галет 1, 4, 10, на которых находятся неподвижные контакты 11. Галеты соединены между собой стойками 3 и 8. Стойки 13 переключатель крепится к передней панели. Галета 1 используется для коммутации выводов катушки (группа контактов SA 1.1). Галета 4 — для подключения постоянных конденсаторов параллельно антенному КПЕ, (группа контактов SA 1.2).

В ней в качестве фиксатора размещен переключатель ПГК 27 без собственных галет. На его оси 26 с одной стороны закреплены двумя винтами 15 два подвижных контакта 2. Их токосъемником является втулка переключателя 27. С другой стороны его ось 26 через втулки 22, 25 и изолятор 23 соединена с осью 21, которая выведена на переднюю панель. На ней закреплен двумя винтами 15 подвижный «широкий» контакт 12 группы SA 1.3, который на галете 10 последовательно присоединяет к анодному КПЕ конденсаторы С6, С6. Его токосъемником является втулка 16, закрепленная на передней панели.

Иногда, в зависимости от компоновки усилителя, в группе 1.1 более удобно соединить с подвижным контактом не массу, а анод (рис. 11.2). Тогда между осью 21 и втулкой 16 устанавливается изолирующая муфта.

При вращении оси переключателя подвижные контакты 2 и 12 набегают на неподвижные контакты 11, упруго деформируются, отклоняясь на 1 мм, и плотно к ним прилегают.

В зависимости от компоновки усилителя, иногда более удобно соединить с анодом не конденсаторы С2, С3, а под-

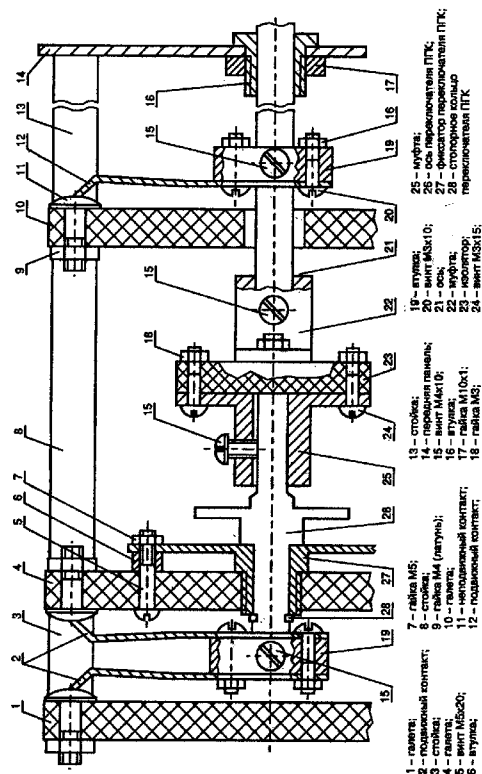


Рис. 11.2. Тригаленный переключатель диапазонов

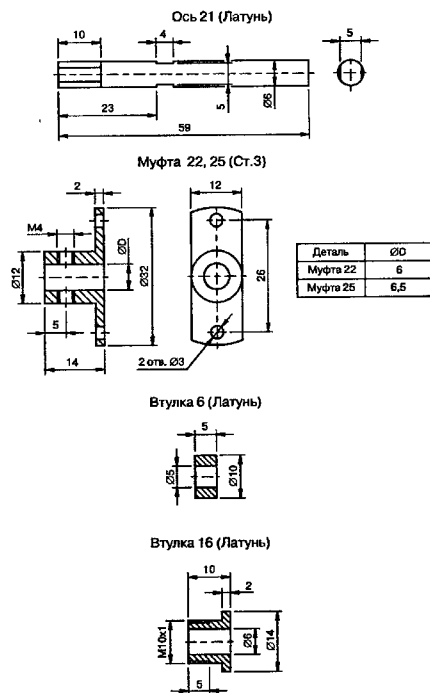


Рис. 11.3. Детализовка переключателя диапазонов

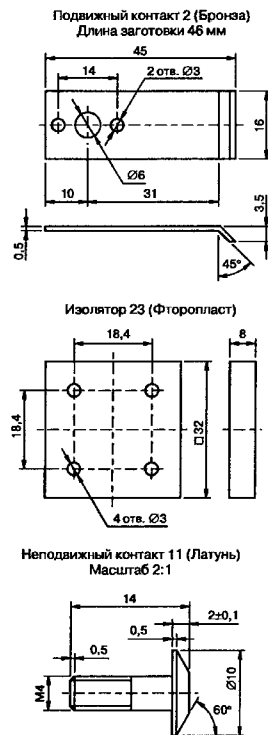


Рис. 11.3. Детализовка переключателя диапазонов (продолжение)

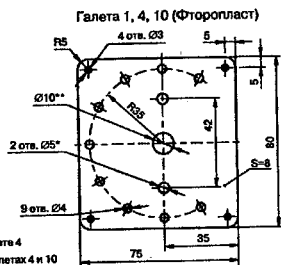
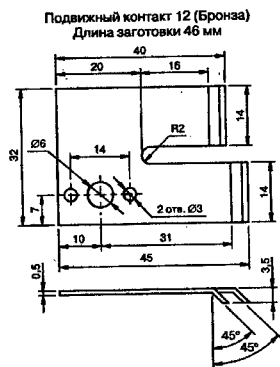


Рис. 11.3. Детализовка переключателя диапазонов (продолжение)

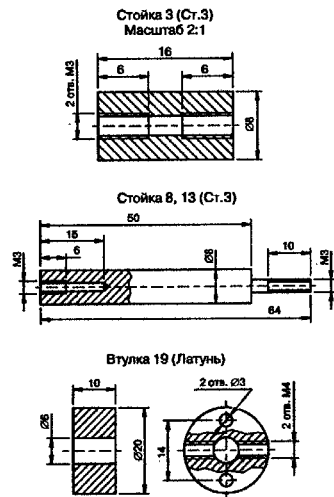


Рис. 11.3. Детализовка переключателя диапазонов (продолжение)

вижной контакт группы SA 1.2. Такая схема переключателя представлена на рис. 11.3. В этом варианте ось 21 изолируют от втулки с помощью еще одной муфты.

**Надежная работа** переключателя во многом зависит от упругости подвижных контактов 2 и 12. Наилучшие результаты будут, если изготовить их из бериллиевой бронзы БрБ1 или БрБ2. При отсутствии этого материала можно применить фосфорную бронзу или кремниевую бронзу.

**Достоинства.** Переключатель заменяет более 12 вакуумных замыкателей, требует меньше места, легче, дешевле, проще, а следовательно, надежнее. Кроме того, он упрощает монтаж П-контура.

При желании пользователя, переключатель позволит вообще отказаться от антенного КПЕ, который не подстраивают в пределах узких участков диапазонов. Его можно заменить переключаемыми постоянными конденсаторами, величина которых подобрана для конкретной нагрузки (антенны). Это повысит оперативность при смене диапазона т. к. после переключения необходимо будет настраивать только анодный КПЕ.

### Релейный переключатель диапазонов

В качестве электромагнитных реле наиболее удобно использовать вакуумные замыкатели типа В1В, специально спроектированные для подобных целей [22]. Электрическая схема переключения на реле приведена на рис. 11.4.

Диоды VD1—VD5 обеспечивают замыкание всех неработающих отводов катушки. Это улучшает работу П-контура на ВЧ-диапазонах. Для фильтрации ВЧ-наводок обмотки замыкателей зашунтированы конденсаторами С7—С15.

Преимущество замыкателей в том, что они могут быть расположены в любом месте, где необходима коммутация, и поэтому не требуется прокладывать ВЧ-шины. Кроме того, легко автоматизировать переключение с помощью декодера диапазонов.

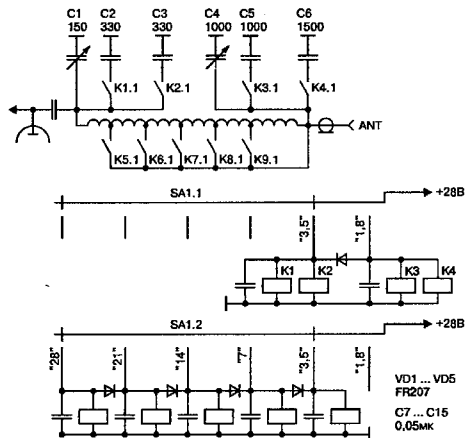


Рис. 11.4. Схема П-контура с релейным переключателем диапазонов

Недостаток — более трудоемкий монтаж, высокая цена и меньшая, по сравнению с механическим переключателем, надежность.

## 11.2. Автоматическое переключение диапазонов

В резонансных усилителях существует два способа автоматического переключения и настройки.

**Во-первых**, процесс можно автоматизировать, используя для вращения переключателя и КПЕ П-контура электродви-

гетели, которые управляются схемой автоматики. Такой способ использован, например, в усилителе АСОМ-2000.

**Второй способ** — это использование отдельных переключаемых П-контуров (рис. 11.5), настроенных на свой диапазон [17, 34].

Схема неоднократно публиковалась, поэтому следует лишь перечислить ее преимущества.

1. Достигается мгновенная смена диапазона.
2. Рабочее место оператора освобождается от громоздкого усилителя, а его место занимает компактный пульт дистанционного управления.
3. Так как усилитель удален от оператора, возможно применение любых «шумных» вентиляторов и «хлопающих» реле.
4. Снижается трудоемкость внешней отделки усилителя, так как для подобной конструкции требования к дизайну достаточно скромные.
5. Отдельные П-контура лучше работают с электрической точки зрения, так как нет неработающих витков.
6. Уменьшается количество реле, необходимых для переключения диапазонов. В шестидиапазонном «однокатушечном» переключаемом П-контуре 5 реле необходимы для переключения отводов катушки и по два реле на НЧ-диапазонах 80 м и 160 м — для подключения посто-

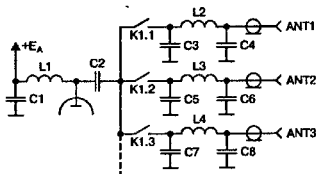


Рис. 11.5. Схема с переключаемыми П-контурами

янных конденсаторов к обоим КПЕ. В переключаемых контурах вместо 9-ти реле достаточно 6-ти.

7. Через контакты реле на диапазонах 1,8—14 МГц практически не проходит реактивный ток. Поэтому снижаются предъявляемые к ним требования. На диапазонах 21 и 28 МГц в зависимости от выходной емкости лампы через них проходит 30—50 % реактивного тока.
  8. При смене диапазона автоматически обеспечивается переключение антенн, так как выход каждого диапазонного П-контура непосредственно соединяется с антенной.
  9. Для лучшей фильтрации гармоник к каждому диапазонному П-контуру легко добавить ФНЧ Чебышева 3-го порядка. Никакой дополнительной коммутации не требуется. Подавление второй гармоники (рис. 12.3) возрастает минимум на 9 дБ, что позволит уменьшить добротность П-контура до  $Q = 6-7$  и обеспечить бесподстроечное перекрытие диапазонов. При этом суммарное подавление гармоник и КПД будет больше, чем с обычным П-контуром при  $Q = 15$ .
  10. На диапазонах 21 и 28 МГц легче достигается оптимальная добротность, т. к. отсутствует всдиапазонный анодный КПЕ с большой начальной емкостью. Если все-таки вследствие большой анодной емкости П-контура добротность  $Q = 6-7$  будет недостижима, то для бесподстроечного перекрытия следует применить два последовательных П-контура с промежуточным сопротивлением 300 Ом.
  11. Усилитель «автомат», изготовленный по этому принципу, будет значительно проще, надежнее и дешевле, чем фирменный АСОМ-2000.
- К недостаткам** можно отнести большие габариты колебательной системы.

## 12. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ПОМЕХ

### Виды помех и применяемые фильтры

Во многих случаях П-контур выходного каскада не может обеспечить отсутствие помех, которые проникают на антенный вход радиоприемного устройства (чаще всего телевизора). Помехи имеют два источника.

**Источник 1.** Совпадающие по частоте с ТВ-каналами недостаточно подавленные высшие гармоники основного сигнала.

**Источник 2.** Первая гармоника основного сигнала, проникающая в приемно-усилительный тракт телевизора из-за недостаточной селективности входных цепей.

Для ослабления высших гармоник применяются **дополнительные фильтры низкой частоты (ФНЧ)** на выходе передатчика. Они подавляют излучение выше максимальной рабочей частоты.

Для борьбы с первой гармоникой, проникающей в телевизор, служат **фильтры высокой частоты (ФВЧ)** на его входе. Они подавляют сигналы с частотой, которая находится ниже минимальной принимаемой частоты.

Как правило, успешное подавление радиопомех, поступающих на вход, возможно только с помощью «ножниц» и двух фильтров. Достаточно эффективными и несложными для изготовления и настройки являются фильтры Чебышева.

### Параметры фильтров

#### 1. Волновое сопротивление $R_{\phi}$ .

Оно должно быть равно волновому сопротивлению применяемой линии передачи.

#### 2. Коэффициент затухания (вносимое затухание) $A_s$ .

$$A_s = \frac{U_{вх}}{U_{вых}}, \text{pas},$$

$$A_s = 20 \cdot \lg \left( \frac{U_{вх}}{U_{вых}} \right), \text{дБ}, \quad (12.1)$$

где  $U_{вх}$  — напряжение частоты  $f_{3m}$  на входе фильтра (рис. 12.1, рис. 12.2);

$U_{вых}$  — напряжение частоты  $f_{3m}$  на выходе фильтра.

#### 3. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) или частотная избирательность.

Это зависимость коэффициента затухания от частоты. Она может быть представлена в графическом виде (рис. 12.1, рис. 12.2), в табличной форме, или в виде математического выражения.

#### 4. Коэффициент передачи $K_n$ .

Это величина, обратная коэффициенту затухания:

$$K_n = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} \quad (12.2)$$

#### 5. Неравномерность характеристики в полосе пропускания $A_{\Gamma}$ .

Фактически она равна максимально допустимому (нормируемому) коэффициенту затухания в полосе пропускания.

#### 6. Максимальный КСВ в полосе пропускания.

Он взаимосвязан с неравномерностью характеристики  $A_{\Gamma}$ .

#### 7. Ширина переходной области.

Это частоты от полосы пропускания (обычно от уровня –3 дБ) до величины расчетного (гарантированного) затухания  $A_s$ . (рис. 12.1, рис. 12.2)



### 8. Частота среза $f_c$

Это частота, которая разделяет полосу пропускания и переходную область фильтра. Как правило, она соответствует той точке ската характеристики, где  $A_n = -3$  дБ,  $K_n = 0,707$  (рис. 12.1, рис.12.2).

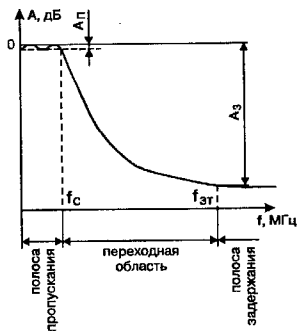


Рис. 12.1. Амплитудно-частотная характеристика ФНЧ Чебышева

### 9. Порядок фильтра.

Порядок фильтров Чебышева равен числу его элементов. Порядок фильтров Кауэра равен числу его элементов, умноженному на 0,75.

### 10. Фильтры Кауэра дополнительно характеризуются частотами бесконечного затухания ( $f_1, f_2, f_3, f_4$ на рис. 12.2).

По сравнению с фильтрами Чебышева, фильтры Кауэра при том же числе элементов обеспечивают меньшую переходную область (большую крутизну ската) и большее затухание в полосе задержания. Они более сложные и используются для разделения близких по частоте сигналов и помех.

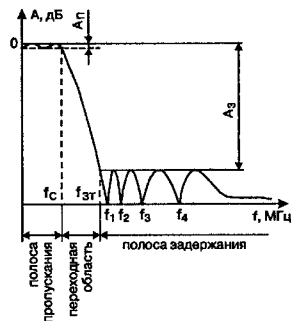


Рис. 12.2. Амплитудно-частотная характеристика ФНЧ Кауэра 9-го порядка (эллиптического ФНЧ 9-го порядка)

Порядок расчета фильтров изложен в литературе [2]. Его отличает универсальность, когда одни и те же формулы и таблицы коэффициентов использованы для расчета различных типов фильтров. Но, одновременно, это усложняет пользование методикой расчета.

Далее изложены отдельные варианты методики проектирования ФВЧ и ФНЧ Чебышева [2].

### Порядок проектирования ФНЧ Чебышева

1. Задаются величиной волнового сопротивления  $R_\phi$  и величиной неравномерности АЧХ  $A_n$  (или максимального КСВ) в полосе пропускания.
2. Руководствуясь необходимой величиной затухания  $A_3$ , по графикам на рис. 12.3 выбирают порядок фильтра.

3. Выбирают частоту среза  $f_c$  фильтра. Так как при приближении к частоте среза  $f_c$  КСВ возрастает, она выбирается выше максимальной рабочей частоты на 15—20 %
4. Вычисляют базовые значения  $L_B$  и  $C_B$  [2]:

$$L_c = \frac{R_{\psi(\text{Ом})}}{2\pi f_c(\text{МГц})}, \text{ мкГн}, \quad (12.3)$$

$$C_B = \frac{10^6}{2\pi f_c(\text{МГц})R_{\psi(\text{Ом})}}, \text{ пФ}. \quad (12.4)$$

5. Вычисляют окончательные значения  $L$  и  $C$  с учетом коэффициентов  $K$ , величина которых зависит, от порядка фильтра [3]:

$$L_1 = L_B \cdot K_{L1}; L_2 = L_B \cdot K_{L2}, \text{ и т. д.} \quad (12.5)$$

$$C_1 = C_B \cdot K_{C1}; C_2 = C_B \cdot K_{C2}, \text{ и т. д.} \quad (12.6)$$

Коэффициенты для формул (12.5) и (12.6) даны в табл. 12.1 [2].  
Пример расчета ФНЧ Чебышева 3-го порядка при

$$R_{\psi} = 50 \text{ Ом}, f_{\text{max}} = 30 \text{ МГц}, A_{\text{П}} = 0,028 \text{ дБ}.$$

**Шаг 1.** Определяем частоту среза:

$$f_c = 1,2 \cdot f_{\text{max}} = 36 \text{ МГц}.$$

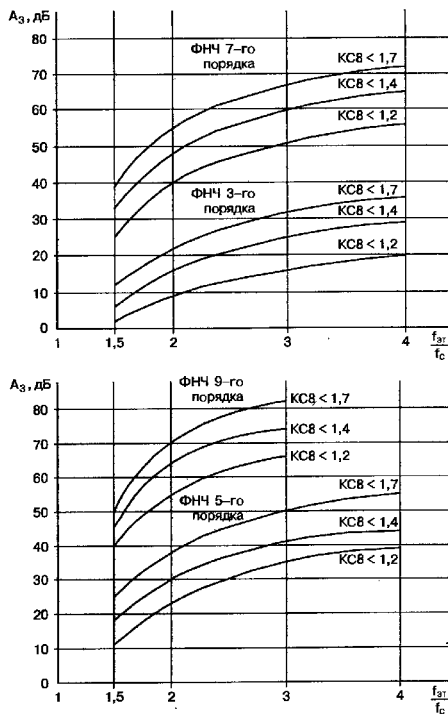
**Шаг 2.** Вычисляем базовые значения  $L_B$  и  $C_B$  по формулам (12.3) и (12.4):

$$L_B = \frac{50}{2 \cdot 3,14 \cdot 36} = 0,22 \text{ мкГн}; C_B = \frac{10^6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 36} = 88 \text{ пФ}.$$

**Шаг 3.** Определяем величины  $L_1, C_1, C_2$  для фильтра при КСВ = 1,2 и  $A_{\text{П}} = 0,028$  дБ по формулам (12.5) и (12.6):

$$L_1 = L_B \cdot K_{L1} = 0,22 \cdot 1,07 = 0,24 \text{ мкГн},$$

$$C_1 = C_2 = C_B \cdot K_{C1} = C_B \cdot K_{C2} = 88 \cdot 0,78 = 69 \text{ пФ}.$$



**Рис. 12.9.** Зависимость вносимого затухания  $A_3$  на частоте  $f_{31}$  от отношения  $\frac{f_{31}}{f_c}$  для ФНЧ Чебышева (графики построены по методике [39])

Для этого же фильтра при  $A_{П} = 0,1$  дБ и  $KCB \leq 1,4$  можно получить большой коэффициент затухания. В этом случае  $L = 0,25$  мкГн,  $C_1 = C_2 = 91$  пФ.

Если  $A_{П} = 0,28$  дБ и  $KCB \leq 1,7$ , затухание будет еще большим. Тогда  $L_1 = 0,25$  мкГн,  $C_1 = C_2 = 119$  пФ.

Для ФНЧ 5-го порядка при  $A_{П} = 0,028$  дБ и  $KCB \leq 1,2$ :

$$L_1 = L_B \cdot K_{L1} = 0,22 \cdot 1,36 = 0,30 \text{ мкГн};$$

$$L_2 = L_B \cdot K_{L2} = 0,22 \cdot 1,36 = 0,30 \text{ мкГн};$$

$$C_1 = C_B \cdot K_{C1} = 88 \cdot 0,89 = 78 \text{ пФ};$$

$$C_2 = C_B \cdot K_{C2} = 88 \cdot 1,73 = 152 \text{ пФ};$$

$$C_3 = C_B \cdot K_{C3} = 88 \cdot 0,89 = 78 \text{ пФ}..$$

Если  $A_{П} = 0,100$  дБ и  $KCB \leq 1,4$ :

$$L_1 = L_B \cdot K_{L1} = 0,22 \cdot 1,37 = 0,31 \text{ мкГн};$$

$$L_2 = L_B \cdot K_{L2} = 0,22 \cdot 1,37 = 0,31 \text{ мкГн};$$

$$C_1 = C_B \cdot K_{C1} = 88 \cdot 1,14 = 100 \text{ пФ};$$

$$C_2 = C_B \cdot K_{C2} = 88 \cdot 1,97 = 175 \text{ пФ};$$

$$C_3 = C_B \cdot K_{C3} = 88 \cdot 1,14 = 100 \text{ пФ}.$$

Коэффициенты для расчета ФНЧ Чебышева 3-9 порядков

Таблица 12.1

Порядок фильтра	Схема фильтра	max KCB	A <sub>П</sub> , дБ	Коэффициенты K									
				K <sub>L</sub>				K <sub>C</sub>					
				K <sub>L1</sub>	K <sub>L2</sub>	K <sub>L3</sub>	K <sub>L4</sub>	K <sub>C1</sub>	K <sub>C2</sub>	K <sub>C3</sub>	K <sub>C4</sub>	K <sub>C5</sub>	
3		1,2	0,028	1,07			0,78	0,78					
		1,4	0,100	1,15			1,03	1,03					
		1,7	0,280	1,14			1,35	1,35					
5		1,2	0,028	1,36	1,36			0,89	1,73	0,89			
		1,4	0,100	1,37	1,37			1,14	1,97	1,14			
		1,7	0,280	1,31	1,31			1,45	2,28	1,45			

Таблица 12.1 (продолжение)

Порядок фильтра	Схема фильтра	max KCB	A <sub>П</sub> , дБ	Коэффициенты K								
				K <sub>L</sub>				K <sub>C</sub>				
				K <sub>L1</sub>	K <sub>L2</sub>	K <sub>L3</sub>	K <sub>L4</sub>	K <sub>C1</sub>	K <sub>C2</sub>	K <sub>C3</sub>	K <sub>C4</sub>	K <sub>C5</sub>
7		1,2	0,028	1,43	1,63	1,43		0,93	1,87	1,87	0,93	
		1,4	0,100	1,42	1,57	1,42		1,18	2,09	2,09	1,18	
		1,7	0,280	1,34	1,45	1,34		1,49	2,39	2,39	1,49	
9		1,2	0,028	1,46	1,70	1,70	1,46	0,95	1,92	2,01	1,92	0,95
		1,4	0,100	1,44	1,62	1,62	1,44	1,19	2,13	2,20	2,13	1,19
		1,7	0,280	1,36	1,48	1,48	1,36	1,50	2,42	2,48	2,42	1,50

#### ФНЧ Чебышева 9-го порядка

Рассмотрим проектирование и конструкцию ФНЧ Чебышева 9-го порядка с сопротивлением  $R_{Ф} = 50$  Ом, частотой среза  $f_{ср} = 36$  МГц, КСВ в полосе пропускания  $\leq 1,2$  (рис. 12.3). Схема фильтра представлена на рис. 12.4.

По формулам (12.3) и (12.4) находим  $L_B$  и  $C_B$ :

$$L_B = 50/2 \cdot 3,14 \cdot 36 = 0,22 \text{ мкГн};$$

$$C_B = 10^6/2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 36 = 88 \text{ пФ};$$

По табл. 12.1 определяем коэффициенты, а затем по формулам (12.5) и (12.6) определяем величины  $L_1 - L_4$ ,  $C_1 - C_5$ :

$$L_1 = L_B \cdot K_{L1} = 0,22 \cdot 1,46 = 0,32 \text{ мкГн};$$

$$L_2 = L_B \cdot K_{L2} = 0,22 \cdot 1,70 = 0,37 \text{ мкГн};$$

$$L_3 = L_B \cdot K_{L3} = 0,22 \cdot 1,70 = 0,37 \text{ мкГн};$$

$$L_4 = L_B \cdot K_{L4} = 0,22 \cdot 1,46 = 0,32 \text{ мкГн};$$

$$C_1 = C_B \cdot K_{C1} = 88 \cdot 0,95 = 83 \text{ пФ};$$

$$C_2 = C_B \cdot K_{C2} = 88 \cdot 1,92 = 169 \text{ пФ};$$

$$C_3 = C_B \cdot K_{C3} = 88 \cdot 2,01 = 177 \text{ пФ};$$

$$C_4 = C_B \cdot K_{C4} = 88 \cdot 1,92 = 169 \text{ пФ};$$

$$C_5 = C_B \cdot K_{C5} = 88 \cdot 0,95 = 83 \text{ пФ}.$$

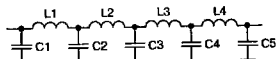


Рис. 12. 4. Схема ФНЧ

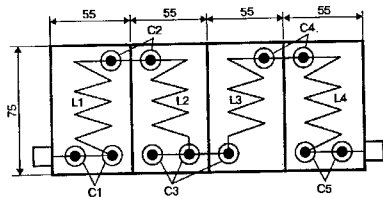


Рис. 12. 5. Конструкция ФНЧ

Конструкция и размеры фильтра, изготовленного автором, приведены на рис. 12.5.

Каждую катушку располагают в отдельном отсеке, на который разделен металлический корпус фильтра. Расстояние между катушками и стенками фильтра должно быть равно 0,5—1,0 диаметра катушки. Отверстия для соединений в перегородках корпуса должны иметь минимальные размеры. Вход и выход должны подсоединяться к ВЧ-разъемам.

Емкости  $C_1—C_5$  составлены из конденсаторов стандартных номиналов марки К15-У1. Эти конденсаторы наиболее удобны для монтажа, т. к. они одновременно являются стойками для присоединения катушек.

$$\begin{aligned} C_1, C_5 &= 83 \text{ пФ} (47 \text{ пФ} + 33 \text{ пФ}); \\ C_2, C_4 &= 169 \text{ пФ} (100 \text{ пФ} + 68 \text{ пФ}); \\ C_3 &= 177 \text{ пФ} (68 \text{ пФ} + 68 \text{ пФ} + 39 \text{ пФ}). \end{aligned}$$

Величина емкости конденсаторов имеет допуск. При составлении конденсаторов их общая емкость измеряется, и они

подбираются так, чтобы в сумме получилось расчетное значение емкости  $C_1—C_5$ . Можно использовать подстроечные конденсаторы.

Катушки  $L_1—L_4$  намотаны на оправке  $\varnothing 22$  мм с шагом 5 мм проводом ПЭВ-2,5.  $L_1, L_4$  содержат по 4 витка,  $L_2, L_3—4,5$  витка.

Настройка фильтров сводится к точной установке расчетных значений их элементов. Требования к элементам фильтра представлены в табл. 12.2.

Минимально допустимая собственная добротность  $Q$  и максимальная величина дроссука  $D$  (%) на номиналы элементов фильтров Чебышева 3—9 порядков при  $A_n = 0,028$  дБ и  $KCB \leq 1,2$

Таблица 12.2

Порядок фильтра							
n=3		n=5		n=7		n=9	
Q	D	Q	D	Q	D	Q	D
25	10	50	10	95	5	150	2

**Правило.** Из табл. 12.2 следует, что чем выше порядок фильтра, тем более высокие требования предъявляются к точности соблюдения расчетных значений его элементов и к их собственной добротности. Поэтому сложность настройки с увеличением порядка фильтра возрастает.

При настройке с помощью измерительного прибора подбирают точное значение емкостей фильтра. Если это не удается сделать набором постоянных конденсаторов, то параллельно им устанавливаются подстроечные емкости. После достижения необходимой согласно табл. 12.2 точности, приступают к настройке катушек. Регулировка катушек осуществляется сжатием или растяжением витков.

При отсутствии АЧХ-метра регулировку выполняют по минимуму КСВ в полосе пропускания.

Для настройки фильтров используем ферритовый и медный стержень, закрепленные на диэлектрической рукоятке.

Трансивер с КСВ-метром через фильтр подсоединяют к 50-омной нагрузке и проверяют КСВ на всех диапазонах. Если КСВ выше расчетного, то регулируют индуктивность катушек. Для этого на каждом диапазоне поочередно помещают внутрь каждой катушки ферритовый и медный стержень. Если КСВ уменьшает медный стержень, то витки раздвигают, если ферритовый — витки сдвигают. Проверив и отрегулировав все катушки фильтра, добиваются, чтобы КСВ не превышал расчетное значение. Как правило, регулировку приходится повторять 2—3 раза.

Корректировка индуктивности для достижения расчетного КСВ в полосе пропускания фильтра практически не влияет на его затухание в полосе задержания.

Если при регулировке не удастся получить расчетное значение КСВ, то необходимо вернуться к точному подбору емкостей.

Фильтр, рассчитанный и настроенный по вышеуказанной методике, по измерениям автора имеет затухание 40 дБ на частоте 50 МГц. Величина затухания соответствует расчетной в соответствии с графиком на рис. 12.3.

### Порядок проектирования ФВЧ Чебышева

1. Задаются величиной волнового сопротивления  $R_{\text{в}}$  и величиной неравномерности АЧХ  $A_n$  (или максимального КСВ) в полосе пропускания.
2. Руководствуясь необходимой величиной затухания  $A_3$ , по графикам на рис. 12.3, выбирают порядок фильтра.
3. Выбирают частоту среза  $f_c$  фильтра. Так как при приближении к частоте среза  $f_c$  КСВ возрастает, она выбирается ниже минимальной рабочей частоты на 15—20 %

4. Вычисляют базовые значения  $L_n$  и  $C_n$  [39] по формулам (12.3) и (12.4).

5. Вычисляют окончательные значения  $L$  и  $C$  с учетом коэффициентов  $K$ , величина которых зависит, от порядка фильтра [39]:

$$L_1 = L_n / K_L; L_2 = L_n / K_{L_2} \text{ и т. д.}; \quad (12.7)$$

$$C_1 = C_n / K_C; C_2 = C_n / K_{C_2} \text{ и т. д.} \quad (12.8)$$

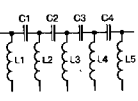
Коэффициенты для формул (12.7) и (12.8) даны в табл. 12.3 [39].

Коэффициенты для расчета различных ФВЧ 3—9 порядков с характеристиками Чебышева

Таблица 12.3

Порядок фильтра	Схема фильтра	max КСВ	$A_{\text{н}}$ , дБ	Коэффициенты $K$									
				$K_L$				$K_C$					
				1	2	3	4	1	2	3	4	5	
3		1,2	0,028	1,07			0,78	0,78					
		1,4	0,100	1,15			1,03	1,03					
		1,7	0,280	1,14			1,35	1,35					
5		1,2	0,028	1,38	1,36			0,89	1,73	0,89			
		1,4	0,100	1,37	1,37			1,14	1,97	1,14			
		1,7	0,280	1,31	1,31			1,45	2,28	1,45			
7		1,2	0,028	1,43	1,63	1,43		0,83	1,87	1,87	0,93		
		1,4	0,100	1,42	1,57	1,42		1,18	2,09	2,09	1,18		
		1,7	0,280	1,34	1,45	1,34		1,49	2,39	2,39	1,49		

Таблица 12.3 (продолжение)

Порядок фильтра	Схема фильтра	max КСВ	A <sub>п</sub> , дБ	Коэффициенты К									
				K <sub>к</sub>				K <sub>с</sub>					
				1	2	3	4	1	2	3	4	5	
9		1,2	0,028	1,46	1,70	1,70	1,46	0,95	1,92	2,01	1,92	0,95	
		1,4	0,100	1,44	1,62	1,62	1,44	1,19	2,13	2,20	2,13	1,19	
		1,7	0,280	1,36	1,48	1,48	1,36	1,50	2,42	2,48	2,42	1,50	

## ФВЧ Чебышева 9-го порядка

Рассмотрим проектирование и конструкцию ФВЧ Чебышева 9-го порядка с сопротивлением  $R_{\phi} = 75$  Ом, КСВ в полосе пропускания  $\leq 1,2$  (рис. 12.3). Схема фильтра представлена на рис. 12.6.

1. Определяем частоту среза по формуле  $f_c = f_{min}/1,2$ .

Например, при наличии первого частотного канала  $f_{min} = 48,5$  МГц

$$f_c = 48,5/1,2 = 40 \text{ МГц.}$$

2. По формулам (12.3) и (12.4) находим  $L_B$  и  $C_B$ :

$$L_B = 75/(2 \cdot 3,14 \cdot 40) = 0,30 \text{ мкГн;}$$

$$C_B = 10^6/(2 \cdot 3,14 \cdot 75 \cdot 40) = 53 \text{ пФ.}$$

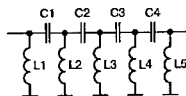


Рис. 12.6. Схема ФВЧ

3. По табл. 12.3 определяем коэффициенты, а затем по формулам (12.7) и (12.8) определяем величины  $L_1$ — $L_4$ ,  $C_1$ — $C_5$ :

$$C_1 = C_B / K_{C1} = 53 / 1,46 = 36 \text{ пФ;}$$

$$L_1 = L_B / K_{L1} = 0,30 / 0,95 = 0,31 \text{ мкГн;}$$

$$C_2 = C_B / K_{C2} = 53 / 1,70 = 31 \text{ пФ;}$$

$$L_2 = L_B / K_{L2} = 0,30 / 1,92 = 0,16 \text{ мкГн;}$$

$$C_3 = C_B / K_{C3} = 53 / 1,70 = 31 \text{ пФ;}$$

$$L_3 = L_B / K_{L3} = 0,30 / 2,01 = 0,15 \text{ мкГн;}$$

$$C_4 = C_B / K_{C4} = 53 / 1,46 = 36 \text{ пФ;}$$

$$L_4 = L_B / K_{L4} = 0,30 / 1,92 = 0,16 \text{ мкГн;}$$

$$L_5 = L_B / K_{L5} = 0,30 / 0,95 = 0,31 \text{ мкГн.}$$

Катушки  $L_1$ — $L_5$  намотаны на оправке  $\varnothing 8$  мм с шагом 3 мм проводом ПЭВ-0,8.

$L_1$ ,  $L_5$  — 10 витков.  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  — 5 витков. Конструкция и настройка аналогичны ФНЧ.

## 13. ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ RX/TX

### Особенности включения и выключения

**Внимание.** Во избежание искрения на контактах антенного реле (т. н. «горячее переключение»), необходимо сначала включить на передачу усилитель. Затем с задержкой должен поступить ВЧ-сигнал от трансивера. При обратном переключении вначале необходимо снять напряжение возбуждения, а затем переключить усилитель в режим RX.

В грамотно изготовленном трансивере управляющий усилителем сигнал и подача ВЧ-напряжения должны быть синхронизированы по этому принципу. Величина задержки в 15–30 мс, как правило, достаточна для срабатывания мощных антенных реле.

### Варианты схем

При наличии вышеуказанной синхронизации переключатель RX/TX в усилителе выполняется наиболее просто. Здесь возможны два варианта.

**Вариант 1.** Если схема управления усилителем в трансивере рассчитана на большой ток (его величина должны быть указана в техническом описании), то она может непосредственно переключать реле (рис. 13.1).

При отключенном усилителе и в режиме RX контакты K1.1 и K2.1 соединяют антенну с трансивером. При замыкании центрального контакта гнезда «RELAY» на массу включается

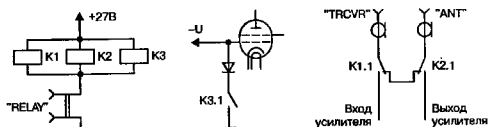


Рис. 13.1. Релейный переключатель RX/TX

режим TX. Трансивер подключается ко входу усилителя, а его выход соединяется с антенной. Контакты 3.1 управляют лампой.

**Вариант 2.** Если схема управления усилителем в трансивере рассчитана на малый ток, то она используется для коммутации транзистора (рис. 13.2). На рис. 13.2 — рис. 13.5 цепи, коммутируемые контактами K1.1, K1.2, K1.3, не показаны, так как они такие же, как на рис. 13.1.

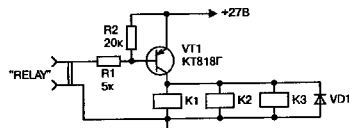


Рис. 13.2. Транзисторный переключатель RX/TX

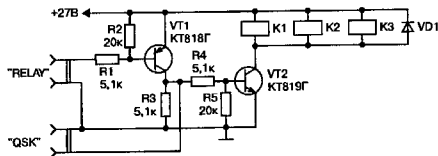


Рис. 13.3. Универсальный транзисторный переключатель RX/TX

В некоторых трансиверах (например, РА3АО) для управления усилителем применяется положительное напряжение QSK 10—12 В. Чтобы усилитель можно было использовать с любым трансивером, следует применить универсальный переключатель RX/TX (рис. 13.3).

В этой схеме срабатывание реле обеспечивается при открытии транзистора VT1 или при непосредственной подаче положительного напряжения на резистор R3 с гнезда «QSK».

### Переключатель повышенной сложности

Более сложный переключатель RX/TX требуется в трех случаях.

**Случай 1.** Если управляющий усилителем сигнал и входное ВЧ-напряжение не синхронизированы, как указано выше.

**Случай 2.** Когда для переключения усилителя не применяется отдельное управляющее напряжение, а получение управляющего сигнала происходит путем выпрямления части входного ВЧ-напряжения. Такой способ нашел применение в некоторых фирменных конструкциях при частотной модуляции.

**Случай 3.** Когда переключатель RX/TX используется для перевода усилителя в режим RX при срабатывании предохранительных систем.

**Совет.** Для исключения подгорания контактов антенных реле в указанных случаях необходимо, чтобы при переключении на передачу сначала переключались антенные реле, а затем с задержкой отпиралась лампа, а при обратном переключении сначала должна запереться лампа, а потом срабатывать антенные реле.

Это условие обеспечивается схемой, изображенной на рис. 13.4.

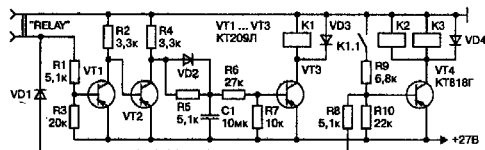


Рис. 13.4. Транзисторный переключатель RX/TX с электронной задержкой

При замыкании гнезда «RELAY» отпирается транзистор VT4 и срабатывают антенные реле K2, K3. Одновременно отпирается транзистор VT1, запирается транзистор VT2, а затем с задержкой отпирается транзистор VT3 и срабатывает сеточное реле K1.

Величина задержки, необходимая для срабатывания сеточного реле K1, зависит от величины R5 и C1. Контакты K1.1 блокируют транзистор VT4 в открытом состоянии, а контакты K1.2 отпирают лампу. Дiode VD1 препятствует блокировке в открытом состоянии VT1.

При обратном переключении VT1 закрывается, VT2 открывается, конденсатор C1 через диод VD2 и открытый VT2 мгновенно разряжается и вызывает закрытие VT3. Реле K1 контактами K1.2 запирает лампу, а контактами K1.1 разблокирует открытое состояние транзистора VT4. После этого происходит обратное переключение антенных реле.

Задержка на обратное переключение контактов антенных реле обусловлено их временем срабатывания. Разряд конденсатора C1 происходит мгновенно (менее 1 мс), поэтому блокировка VT4 необходима только при использовании быстрдействующих реле K2, K3, когда их время срабатывания сопоставимо со скоростью реле K1.

Достоинство этой схемы состоит в том, что подбором величин R5 и C1 можно регулировать время задержки в зависимости от скорости срабатывания применяемых реле K2, K3.



При номиналах, указанных на схеме, задержка на включение сеточного реле K1 равна 15 мс.

### Варианты схемных решений из литературы

Многие схемные решения переключателей RX/TX есть в литературе [36, 41].

Применяется и электронная коммутация RX/TX. Один из таких переключателей подробно описан **В. В. Дроздовым** [16]. Преимущество **электронного переключателя** — мгновенная и бесшумная работа.

Кроме того, он исключает тепловыделение на аноде в паузах между словами и телеграфными посылками, а, следовательно, снижаются требования к анодному блоку питания и вентиляторной установке.

Фактически делается ненужной схема управления током покоя по огибающей SSB сигнала, отпадает необходимость в дорогостоящих антенных реле. Если у корреспондента также электронное переключение, то комфортность при одном канале связи практически соответствует дуплексной работе.

**К недостаткам** относится затухание принимаемого сигнала, но его можно устранить с помощью дополнительного УВЧ.

## 14. СИСТЕМЫ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ

При постройке компактного усилителя мощности альтернативы обдувным лампам нет.

Это подтверждает и зарубежная практика, так как указанные лампы используются в большинстве современных фирменных усилителей [4, 51—55]:

- ETO 91B, ACOM 1000, ACOM 2000, HF 2500DX (1—3 шт. ГУ-74Б или 4CX800);
- TITAN II, QRO HF 3KDX (1 шт. ГУ-91Б или 4CX1600);
- CENTURION, COMMANDER, HF 2500, HF 2500E (1—2 шт. 3CX800A7);
- AMERITRON AL 920, серия усилителей HENRY RADIO (1—3 шт. 3CX 1200A7).

Одним из важных элементов усилителя является **система охлаждения лампы**. Исходных данных для ее проектирования в литературе практически нет. Отсутствие информации усложняет грамотное исполнение системы охлаждения.

Но эти сведения достаточно важны, так как компоновка усилителя зависит от конструкции системы охлаждения, и при ошибочном решении потребуется трудоемкая переделка.

Далее изложено обоснование конструктивных параметров систем воздушного охлаждения генераторных ламп [21]. Полученные результаты могут быть использованы для любых вентиляторных систем охлаждения или нагрева, применяющихся в различных областях техники.

## 14.1. Общие сведения

### Типы применяемых вентиляторов

Для охлаждения обдувных радиоламп применяют два типа вентиляторов:

- осевые (рис. 14.5);
- центробежные (рис. 14.12).

У **осевого вентилятора** направление воздушного потока совпадает с осью вращения крыльчатки. В **центробежных вентиляторах** воздушный поток формируется внутри корпуса-улитки за счет центробежных сил.

Вентиляторы характеризуются двумя основными параметрами.

**Первый параметр** — подача или расход воздуха  $L$ . Это количество воздуха, подаваемого вентилятором, в единицу времени ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ). Она вычисляется как произведение скорости воздуха  $v$  на площадь поперечного сечения воздуховода  $s$  в месте измерения скорости:  $L = v \cdot s$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  [18].

**Второй параметр** — создаваемое вентилятором давление воздуха  $P$ . Оно измеряется в Па или в мм водяного столба.

**Определение.** Зависимость, связывающая подачу  $L$  и давление  $P$ , называется **характеристикой давления вентилятора** (рис. 14.1).

В литературе также могут встретиться названия:

- «напорная характеристика»;
- «размерная характеристика».

### Схемы работы вентилятора

Для иллюстрации графической зависимости на рис. 14.1 рассмотрим **три различных схемы работы вентилятора**, помещенного в воздуховод (рис. 14.2).

При **перекрытом воздуховоде** (рис. 14.2, а) подача воздуха равна нулю, а давление в объеме замкнутом между вентилятором и задвижкой будет максимальным (**точка А** на рис. 14.1).

Если **воздуховод полностью открыт** (рис. 14.2, в), то сопротивление движению воздуха обусловлено только трением о стенки, т. е. почти отсутствует. В этом случае подача максимальна, а давление минимально (**точка В** на рис. 14.1).

При **частично перекрытом воздуховоде** (рис. 14.2, б) подача и давление, создаваемые вентилятором, займут промежуточное положение между  $\text{min}$  и  $\text{max}$  (**точка Б** на рис. 14.1). Их конкретное значение будет зависеть от степени

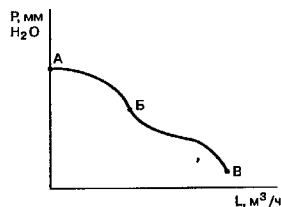


Рис. 14.1. Характеристика давления вентилятора (напорная характеристика)

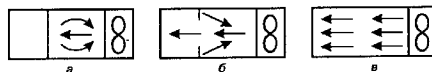


Рис. 14.2. Схемы работы вентилятора в воздуховоде

перекрытия воздуховода или, другими словами, от величины сопротивления движению воздуха, которое имеется в воздуховоде.

Давление воздуха до задвижки (рис. 14.2, б) будет больше, чем после нее, поэтому можно сказать, что на задвижке образуется перепад давлений (потеря давления или потеря напора).

Этот параметр используется для количественной оценки величины сопротивления движению воздуха, он измеряется в Па, кПа, мм Н<sub>2</sub>O (миллиметрах водяного столба) [18].

Например, если давление воздуха до задвижки равно 10 кПа, а после нее — 8 кПа, то перепад давления будет равен  $10 - 8 = 2$  кПа. 2 кПа — количественная характеристика величины данного сопротивления в воздуховоде.

### Методика расчета

Радиолампу с панелькой, помещенную в воздуховод, можно рассматривать как «задвижку», вызывающую увеличение перед ней давления воздуха и уменьшение подачи L вентилятора (см. рис. 14.1).

**Внимание.** Для создания эффективной системы охлаждения, которая имеет минимальные габариты и шум, необходимо, чтобы конфигурация воздуховода, тип и место расположения вентилятора обеспечивали минимальное уменьшение его подачи при продувке лампы.

Требуемые для радиолампы условия обдува [30, 31, 32] указываются в характеристике охлаждения, которая должна содержаться в паспорте (рис. 14.3).

Характеристики получены опытным путем при прямоточном (ламинарном) потоке воздуха, проходящем через лампу. Они представляют собой графические зависимости макси-

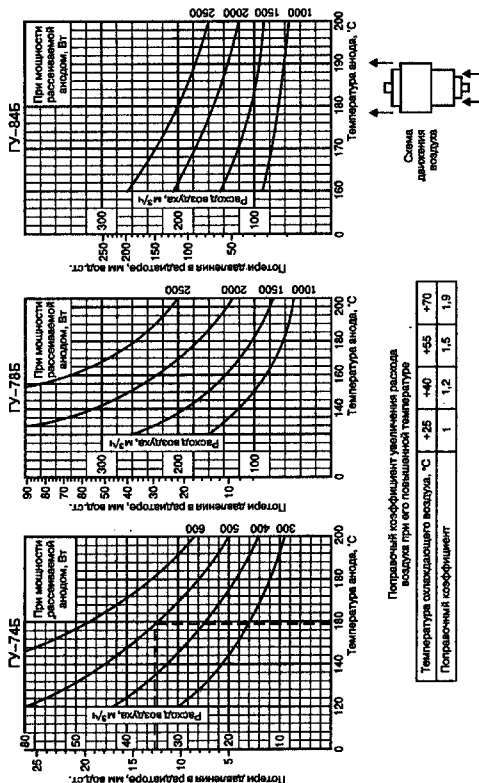


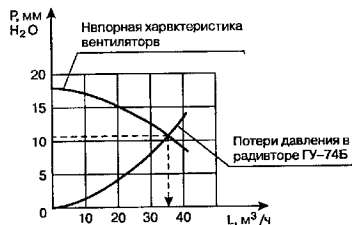
Рис. 14.3. Характеристики охлаждения радиоламп

мальной температуры анодного радиатора от расхода охлаждающего воздуха при четырех различных величинах мощности, рассеиваемой на аноде. Кроме того, на вертикальной оси графика указывается **потеря давления воздушного потока в радиаторе** в зависимости от расхода воздуха (она характеризует сопротивление лампы с радиатором движению воздушного потока).

Характеристика охлаждения лампы и напорная характеристика центробежного вентилятора позволяют определить показатели системы обдува расчетным путем. Наиболее просто это делается графическим методом наложения характеристик [21]. Для этого в координатах, где находится напорная характеристика вентилятора, в тех же единицах измерения строим графическую зависимость потери давления в радиаторе от расхода воздуха (**рис. 14.4**).

Затем из точки пересечения двух графиков опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось и находим подачу, которую обеспечит данный вентилятор при «продувке» лампы.

Указанный метод является графическим способом решения системы из двух уравнений с двумя неизвестными —  $P$  и  $L$ .



**Рис. 14.4.** Графическое определение подачи вентилятора при продувке лампы методом наложения характеристик

В нашем примере (**рис. 14.4**) при охлаждении лампы ГУ-74Б вентилятор обеспечит расход воздуха  $L = 35 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Далее для заданной мощности рассеивания на аноде по характеристике охлаждения определяем максимальную температуру анодного радиатора. Например, при  $P = 500 \text{ Вт}$  и  $L = 35 \text{ м}^3/\text{ч}$  она будет равна  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  (см. **рис. 14.3** для ГУ-74Б).

### Недостатки методики расчета

Методика позволяет достаточно точно рассчитать условия охлаждения с конкретным центробежным вентилятором, но она имеет существенные **недостатки**.

**Недостаток 1.** Используемая в расчетах характеристика охлаждения лампы получена для прямоточного (ламинарного) потока. Поэтому ее можно применить только в аналогичных условиях, которые производит центробежный вентилятор при обдуве «в катод» (схема движения воздуха на **рис. 14.3**). Осевой вентилятор создаст сильное завихрение воздуха с иными условиями охлаждения.

**Недостаток 2.** В паспорте на малогабаритные вентиляторы, используемые для обдува, как правило, отсутствует напорная характеристика, необходимая для расчетов. Ее самостоятельное получение является более сложной задачей, чем экспериментальная проверка всей выполненной системы охлаждения.

**Недостаток 3.** Характеристика охлаждения получена для ламповой панельки определенного типа. Использование любой другой панельки повлияет на результаты расчетов.

### Оценка эффективности различных систем охлаждения

При создании системы охлаждения возникает ряд вопросов, на которые невозможно получить ответы с помощью расчетов, например: как будут отличаться показатели работы осе-

вого вентилятора в вытяжной и приточной схемах и насколько оправдана двухвентиляторная система обдува?

Известно, что при продувке центробежные вентиляторы более эффективны [18]. Но насколько выше их эффективность по сравнению с осевыми вентиляторами при охлаждении радиолампы?

Ответы на эти и ряд других вопросов возможно получить только опытным путем.

Для экспериментальной оценки эффективности различных систем охлаждения необходимо выбрать оценочные параметры.

Завод-изготовитель в паспорте на радиолампу указывает ее максимально допустимую температуру [30, 31, 32]. Поэтому **первым** и основным оценочным параметром для сравнения различных схем обдува при работающей радиолампе принята **максимальная температура анодного радиатора  $t_{\text{Аном}}$** .

Охлаждение лампы зависит от подачи (расхода) воздуха [30, 31, 32]. Поэтому **вторым** оценочным параметром при сравнительных испытаниях систем охлаждения принята **величина снижения подачи вентилятора  $\Delta L$ , выраженная в %**:

$$\Delta L = \frac{L_G - L}{L_G} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $L$  — подача вентилятора в системе охлаждения, м<sup>3</sup>/ч;

$L_G$  — подача вентилятора в базовом варианте с которым происходит сравнение, м<sup>3</sup>/ч.

**Например**, подача вентилятора, установленного в пустом воздуховоде,  $L_G = 120$  м<sup>3</sup>/час. При размещении в нем панельки с радиолампой подача уменьшалась до 53 м<sup>3</sup>/ч. Снижение подачи из-за их сопротивления будет

$$\Delta L = \frac{120 - 53}{120} \cdot 100\% = 56\%.$$

**Второй, вспомогательный, параметр** может быть использован при сравнении систем охлаждения без работающей радиолампы.

Для экспериментов была использована система обдува лампы ГУ-84Б, состоящая из стандартной панельки, воздуховодов с внутренним диаметром 112 мм и вентилятора. Она позволяла испытывать любую схему охлаждения и ее отдельные элементы. При испытаниях радиолампа работала как теплогенератор, т. е. вся подводимая к аноду мощность  $P_A$  превращалась в тепло.

Скорость воздуха определялась **анемометром**, который используется при испытаниях вентиляционных систем [18]. Для измерения подачи воздуха в системе охлаждения особенно удобен крыльчатый анемометр, который может быть расположен непосредственно за воздуховодом.

Температура измерялась тестером М838 с термопарой. Точность измерения  $\pm 3^\circ$  при  $t \leq 150^\circ\text{C}$  и  $\pm 3\%$  при  $t > 150^\circ\text{C}$ . Регистрация температуры производилась после 10-минутного прогрева радиолампы в измеряемом режиме.

## 14.2. Системы охлаждения с осевым вентилятором

### Схемы обдува

Возможны **четыре** схемы обдува:

- боковая;
- приточная;
- вытяжная;
- приточно-вытяжная.

Для определения лучшей конструкции следует сравнить их эффективность охлаждения.

Для испытаний использовался осевой центрометаллический пятилопастной вентилятор ТУР 4658N с диаметром крыльчатки 110 мм и  $n = 2200$  об/мин. Подача вентилятора в пуском воздуховоде  $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Боковая схема обдува

Недостаток данного способа состоит в том, что охлаждающий воздух практически не проходит через ребра радиатора, и поверхность охлаждения сокращается в 9—21 раз (табл. 14.1).

Чтобы компенсировать такое уменьшение поверхности охлаждения, необходимо значительно увеличить скорость воздуха, следовательно, возрастут габариты и шум вентилятора. Неэффективность охлаждения легко оценивается расчетным путем (табл. 14.1).

**Примечание.** Завод-изготовитель не рекомендует такую схему охлаждения [30, 31, 32]. Исключением являются лампы типа ГИ-7Б, у которых радиатор не имеет цилиндрической боковой поверхности. Поэтому половина радиатора охлаждается хорошо и, как правило, этого достаточно. Подтверждением является большое количество успешно работающих практических конструкций.



Рис. 14.5. Боковая схема обдува

Площадь поверхностей охлаждения в радиолампах

Таблица 14.1

Наименование лампы	ГУ-43Б	ГУ-74Б	ГУ-78Б	ГУ-84Б
Общая площадь охлаждения радиатора $S_{\text{р}}$ , см <sup>2</sup>	3000	410	1720	1566
Площадь цилиндрической внешней поверхности, $S_{\text{ц}}$ , см <sup>2</sup>	140	44	140	126
$S_{\text{ц}}/S_{\text{р}}$	21	9	12	12

### Сравнение вытяжной и приточной схемы

Из результатов испытаний (табл. 14.2) следует, что подача вентилятора в вытяжной схеме ( $53 \text{ м}^3/\text{ч}$ ) в 2,4 раза больше, чем в приточной ( $22 \text{ м}^3/\text{ч}$ ). Следовательно, чтобы обеспечить такое же охлаждение лампы в приточной схеме потребуется вентилятор с подачей в 2,4 раза больше.

При этом значительно возрастут его габариты и шум. Если производить сравнение по температуре радиатора, которую можно измерить более точно, то  $t_{\text{Аmax}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$  достигается в приточной схеме при  $P_{\text{А}} = 240 \text{ Вт}$ , а в вытяжной схеме  $t_{\text{Аmax}} = 126 \text{ }^\circ\text{C}$  при  $P_{\text{А}} = 460 \text{ Вт}$ .

**Вывод.** Вытяжной вентилятор отводит примерно в два раза больше тепла, чем приточный.

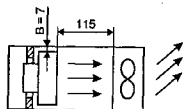


Рис. 14.6. Вытяжная схема обдува

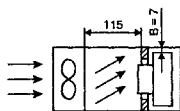


Рис. 14.7. Приточная схема обдува

Результаты сравнения вытяжной и приточной схемы

Таблица 14.2

Измеряемый параметр	Приточная схема	Вытяжная схема
Подача $L$ , м <sup>3</sup> /ч	22	53
Снижение подачи $\Delta L$ , %	82	56
$P$ , Вт	240	240    460
$t_{\text{дmax}}$ , °С	130	82    126

Для человека, привыкшего иметь дело с электрическими схемами, такой результат может показаться неожиданным. Действительно, любой резистор вызывает одинаковое падение напряжения, независимо от того, с какой стороны от источника питания он расположен.

**Примечание.** Законы движения воздуха отличаются от закона Ома, и аэродинамическое сопротивление лампы с панелькой в данном случае зависит от места расположения вентилятора.

Полученный результат объясняется следующим. Поток воздуха, выходящий из осевого вентилятора, не прямооточный, а завихренный (закрученный, как нити в витом канате). Поэтому воздушный поток поступает в кольцевую щель панельки не перпендикулярно, а под углом (рис. 14.7). Даже камень, брошенный в воду под углом, многократно отскакивает от нее, прежде чем погрузиться. Завихренный воздух при входе в панельку ведет себя аналогичным образом, поэтому

82 % подачи вентилятора отражается и расходует на трение, между отдельными слоями потока. Это значительно ухудшает теплоотвод.

При работе вытяжного вентилятора через лампу под действием разряжения проходит слабозавихренный поток, поэтому величина снижения подачи (56 %) значительно меньше. В этом случае она обусловлена лобовым столкновением с катодом. Большой расход воздуха обеспечивает лучшее охлаждение.

Разница подачи  $\Delta L$  в приточной и вытяжной схеме будет зависеть от конструкции панельки, а также от числа лопастей крыльчатки и скорости ее вращения. При увеличении количества лопастей и скорости возрастает давление, создаваемое вентилятором, и он лучше продувает лампу в приточной схеме.

Но при прочих равных условиях в вытяжной схеме подача вентилятора и теплоотвод всегда будут примерно в 2—2,5 раза больше.

#### Испытание двухвентиляторных схем обдува

При недостаточной подаче воздуха, ее можно увеличить:

- применить более мощный вентилятор;
- поставить второй, дополнительный, который «помогает» первому.

Чтобы выявить лучший из этих двух способов, испытана работа двухвентиляторной схемы обдува.

**Вывод.** Из результатов измерений (табл. 14.3) следует, что после присоединения второго приточного вентилятора подача воздуха возросла только на 20 % (с 53 до 64 м<sup>3</sup>/ч).  $A t_{\text{max}}$  уменьшилась на 8 % (с 62 °С до 76 °С).

**Причины** неэффективности второго приточного вентилятора уже рассмотрены выше.

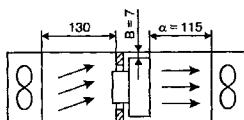


Рис. 14.8. Двувентиляторная приточно-вытяжная схема обдува

Результаты сравнения вытяжной и приточно-вытяжной схемы Таблица 14.3

Измеряемый параметр	Вытяжная схема	Приточно-вытяжная схема
$P_{\text{в}}$ , Вт	240	240
Подача $L_{\text{в}}$ , м <sup>3</sup> /ч	53	64
$t_{\text{вmax}}$ , °С	82	76

Были также испытаны **сдвоенные вентиляторы**.

При расстоянии между ними до 30 мм подача возросла только на 5%.

Это объясняется тем, что поток воздуха от первого вентилятора попадает на второй под неоптимальным углом, не захватывается лопастями второго вентилятора, а отражается от них.

При увеличении расстояния между вентиляторами до 120 мм подача возросла на 30%. Здесь поток от первого вентилятора уже начинает приобретать осевую направленность и более успешно захватывается лопастями второго вентилятора, но до удвоения подачи воздуха по-прежнему далеко.

**Совет.** В профессиональной литературе также не рекомендуется совместная работа вентиляторов для увеличения подачи [18].

**Вывод.** По результатам испытаний различных схем обдува с осевыми вентиляторами выявилось, что оптимальной является вытяжная схема охлаждения с одним вентилятором.

#### Определение расстояния между вентилятором и радиатором

При  $P_{\text{в}} = 460$  Вт и зазоре между радиатором и воздуховодом  $B = 7$  мм, расстояние  $A$  (см. рис. 14.9) устанавливалось равным 50, 80, 115, 150, 210 мм.

Результаты измерений представлены в табл. 14.4 и на рис. 14.9.

Ухудшение охлаждения при уменьшении  $A$  указывает на то, что зона завихрений есть и перед вентилятором. При уменьшении  $A$  до 50 мм радиатор входит в нее, за счет завихрений охлаждение ухудшается, и  $t_{\text{вmax}}$  возрастает на 10%.

При удалении вентилятора от лампы воздушный поток приобретает осевую направленность, поэтому имеет меньшие потери, проходя через радиатор.

При значительном удалении вентилятора охлаждение также ухудшается из-за возрастания потерь давления на трение о стенки длинного воздуховода. Наилучшие условия охлаждения обеспечиваются при  $A = 1,0\text{--}1,2$  диаметра вентилятора.

**Примечание.** Температура воздуха перед вентилятором по мере удаления от анода значительно уменьшается за счет охлаждения через стенки воздуховода. Для лучшей теплоотдачи они должны иметь минимальную толщину.

Температура лопастей меньше, чем у входящего в вентилятор потока. Это объясняется тем, что горячий воздух, выхо-



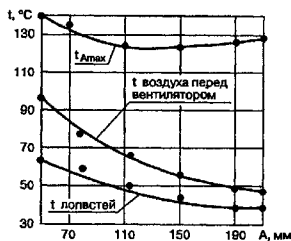


Рис. 14.9. Влияние расстояния A на температурные показатели

дящий из вентилятора, интенсивно перемешивается с наружным, быстро охлаждается сам и охлаждает внешние стороны лопастей. По этой же причине с уменьшением A температура лопастей растет медленнее, чем температура горячего воздуха перед вентилятором.

Влияние расстояния A на температурные показатели

Таблица 14.4

$P_A$ , Вт	460				
Расстояние A между анодным радиатором и вентилятором, мм	50	80	115	150	210
Температура лопастей, °C	65	57	50	45	36
Температура воздуха перед вентилятором, °C	97	74	65	54	49
$t_{Amax}$ , °C	139	136	126	126	131

#### Определение зазора B между радиатором и воздуховодом

При  $P_A = 770$  Вт и  $A = 115$  мм зазор B (см. рис. 14.10) устанавливается равным: 0; 7 и 17 мм.

Результаты измерений представлены в табл. 14.5.

Влияние расстояния B на максимальную температуру анода

Таблица 14.5

Зазор B, мм	0	7	17
$t_{Amax}$ , °C	209	194	189

Когда  $B = 0$  (т. е. когда зазор между радиатором и воздуховодом перекрыт), температура анода  $t_{Amax}$  максимальна. Это объясняется тем, что боковая поверхность радиатора не участвует в теплоотдаче, и общая поверхность охлаждения сокращается примерно на 10 % (см. табл. 14.1).

При  $B = 7$  мм температура анода  $t_{Amax}$  уменьшилась на 15 °C, так как в охлаждении начала участвовать боковая поверхность радиатора.

С возрастанием B до 17 мм температура анода  $t_{Amax}$  уменьшилась еще на 5 °C. При увеличении зазора B возрастает скорость воздуха на внешней стороне радиатора, поэтому улучшение охлаждения возможно, но разница с предыдущим опытом не превышает ошибки измерения.

**Вывод.** Результаты измерения показывают, что для охлаждения наружной поверхности радиатора достаточно зазора 5—10 мм.

#### Результаты испытаний вытяжной системы охлаждения с осевым вентилятором

С учетом вышеизложенных результатов изготовлена и испытана вытяжная система охлаждения для ГУ-84Б (рис. 14.10).

Измерения показали, что  $t_{Amax}$  достигается при  $P_A = 770$  Вт. Температура лопастей вентилятора при этом равна 73 °C, поэтому цельнометаллический вентилятор при максимальной мощности обеспечит большую надежность.

У большинства вентиляторов с пластмассовыми деталями максимально допустимая рабочая температура — от 55 до

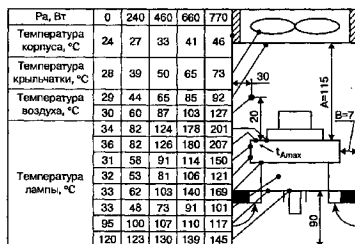


Рис. 14.10. Температурные показатели вытяжной системы охлаждения

60 °С. [9, 32]. Поэтому в ряде случаев, (например, при среднем тепловыделении на аноде  $\leq 460$  Вт) применение нецелометаллических вытяжных вентиляторов также возможно. Требуется только выполнить следующие условия:

- экранировать вентилятор от ВЧ излучения металлической сеткой;
- максимально удалить вентилятор от анода;
- при испытаниях проверить температуру нагрева всех деталей;
- для подшипников следует применять термостойкую смазку.

На различных режимах работы проверена температура катода лампы.

При возрастании  $P_A$  от 0 до 770 Вт  $t_{Amax}$  увеличилась от 36 °С до 207 °С (или в 5,8 раза), а катода — от 120 °С до 145 °С (или на 21 %).

**Вывод.** Для охлаждения катодной части лампы, даже при ее максимальной тепловой напряженности, достаточно вытяжного вентилятора.

Получена зависимость  $t_{Amax}$  от времени нагрева при  $P_A = 770$  Вт и охлаждения при  $P_A = 0$  (рис. 14.11). Нелинейность зависимости объясняется тем, что при малых температурах разница между температурами радиатора и охлаждающего воздуха минимальна.

Поэтому у радиатора наименьшая теплоотдача (лампа быстро греется и медленно остывает). При больших температурах разница между температурами радиатора и воздуха максимальна, поэтому у радиатора максимальная теплоотдача (лампа медленно греется и быстро остывает)  $t_{Amax}$  при прогрейтой запертой лампе 36 °С.

**Совет.** Время полного разогрева лампы после подачи всех напряжений составляет 10 минут. Поэтому, перед началом измерений необходимо дождаться пока ее температурный режим стабилизируется в течение этого времени.

Время охлаждения до 36 °С составляет 11 мин. График охлаждения анода позволяет рассчитать температурную поправку для измерения температуры анода не в режиме передачи, а через промежуток времени, необходимый для отключения опасных напряжений.

Зависимость на рис. 14.11 объясняет, почему даже с неэффективной системой охлаждения усилители работоспособны в CW и SSB режимах. При повседневной работе время передачи не превышает, как правило, 1—2 мин, и лампа просто не успевает разогреться, а во время приема она быстро охлаждается.

**Вывод.** Интенсивность обдува в CW и SSB режимах может быть в несколько раз ниже, чем при непрерывном излучении.



Рис. 14.11. Зависимость максимальной температуры лампы от времени нагрева и охлаждения

### 14.3. Системы охлаждения с центробежным вентилятором

#### Основные способы обдува

Испытаны три схемы обдува:

- ♦ вытяжная (рис. 14.13);
- ♦ приточная с боковым потоком (рис. 14.12);
- ♦ приточная с боковым потоком (рис. 14.14).

Боковая и приточно-вытяжная схемы не рассматривались, так как их неэффективность показана выше.

Для испытаний использован центробежный вентилятор с рабочим колесом шириной 30 мм и диаметром 92 мм. Для его вращения применен электродвигатель КД-3,5А с  $n = 1400$  об/мин. Подача вентилятора в пустом воздуховоде  $90 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

### Сравнение вытяжной схемы и приточной схемы с боковым потоком

Результаты испытания вытяжной и приточной схем с боковым потоком

Таблица 14.6

Измеряемые параметры	Приточная схема с боковым потоком			Вытяжная схема		
Поддача $L$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	50			44		
Снижение поддачи $\Delta L$ , %	45			51		
$P_d$ , Вт	300	600	840	300	600	840
$t_{\text{Аmax}}$ , °С	99	145	185	104	157	204

Испытания показали (табл. 14.6), что потеря подачи  $\Delta L$  и  $t_{\text{Аmax}}$  меньше в приточной схеме. Это объясняется тем, что воздушный поток, выходящий из центробежного вентилятора, имеет большую скорость и давление, поэтому он лучше преодолевает сопротивление лампы и обеспечивает больший расход воздуха и теплоотвод.

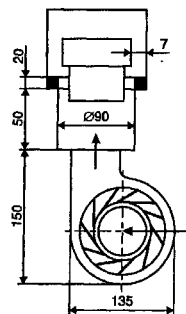


Рис. 14.12. Приточная схема обдува с боковым потоком

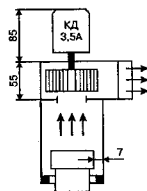


Рис. 14.13. Вытяжная схема обдува

Приточный вентилятор работает в лучших условиях т. к. подает холодный воздух, следовательно, можно использовать легкую пластмассовую крыльчатку, за счет этого уменьшить нагрузку на подшипники и продлить их ресурс. Электродвигатель экранирован от ВЧ-излучения стенками входного отсека.

Использование электродвигателя с подшипниками из пористой бронзы позволило максимально снизить уровень шума и сделать его меньше, чем шум эфира из динамика при средней громкости.

#### Испытание приточной схемы с боковым потоком

Неэффективность обдува видна без испытаний, так как воздух, ударяясь в стенку, теряет большую часть кинетической энергии и только потом, рикошетом, направляется к лампе. Измерения проведены, чтобы сравнить количественные показатели этой и других схем.

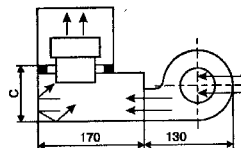


Рис. 14.14. Приточная схема с боковым потоком

Результаты испытаний приточной схемы с боковым потоком Таблица 14.7

Измеряемый параметр	Высота входного отсека С, мм		
	150	100	60
Поддача $L_{\text{м}^3/\text{ч}}$	14	15	18
Снижение поддачи $\Delta L, \%$	85	82	80
$P_{\text{в}}, \text{Вт}$	300	300	300
$t_{\text{вmax}}, \text{°C}$	187	180	169

Результаты испытаний (табл. 14.7) показывают, что охлаждение зависит от габаритов входного отсека. При уменьшении высоты С воздух меньше завихряется и быстрее поступает к панельке. Наименьшие потери достигаются при минимальных размерах входного отсека, т. е. когда он фактически является продолжением воздуховода с боковым выходным отверстием. В этом случае подача по сравнению с соосным потоком (табл. 14.6, рис. 14.12) меньше в 2,8 раза, а  $t_{\text{вmax}}$  выше на 70 °С или в 1,7 раза.

**Преимущество** схемы с боковым потоком — в упрощении монтажа вентустановки. Ее можно разместить с любой стороны от лампы и сохранить небольшую высоту корпуса. **Недостаток** — в необходимости значительного увеличения подачи вентилятора для компенсации потерь при повороте воздушного потока.

Приточная схема с боковым потоком широко используется в фирменных усилителях [4, 51—55]. Она работоспособна при использовании малогабаритных ГУ-74Б и ГУ-91Б, которые требуются небольшой расход воздуха [19].

При их использовании получается компактный входной отсек, а, следовательно, и минимальные потери при боковом дутье, а за счет малого расхода воздуха легко обеспечить запас подачи вентилятора, восполняющий потери.

Кроме того, в усилителях ЕТО 91В и АСОМ 2000 применяется система уменьшения тока покоя в паузах между словами и телеграфными посылками. Это снижает тепловыделение, в зависимости от вида модуляции, в 1,5—2,5 раза.

Несмотря на указанные меры, для охлаждения ламп в этих усилителях пришлось применить крупногабаритную вентиляционную установку.

**Вывод.** Для ламп ГУ-43Б, ГУ-84Б, ГУ-78Б приточная схема с боковым обдувом еще менее привлекательна. Потеря подачи  $\Delta L$  составляет 80—85 %, а компенсировать ее для мощных ламп сложнее.

#### 14.4. Уменьшение шума при работе системы охлаждения

Источников шума три:

- электродвигатель;
- лопасти вентилятора;
- движущийся в воздуховоде поток.

Шум в воздуховоде незначительный, поэтому основные неприятности доставляют первые две причины.

Главным источником звука в электродвигателе являются подшипники. Следовательно, первый способ уменьшения

шума — применение в вентустановке специальных маломощных подшипников скольжения из пористой бронзы или графита. Также следует учесть, что в коллекторных двигателях шум происходит при трении щеток о коллектор.

При прочих равных условиях центробежные вентиляторы имеют меньший шум, чем осевые. Это объясняется тем, что за счет центробежных сил они создают требуемое давление воздуха при меньших оборотах крыльчатки.

Особо следует рассмотреть способ крепления электродвигателя центробежного вентилятора. Для испытания схемы на рис. 14.12 двигатель вначале был закреплен на корпусе вентилятора — «улитке».

При этом обнаружилось, что звук мотора усиливается за счет резонанса корпуса. Это вызвано тем, что частота вибрации двигателя находится вблизи от резонансной частоты тонкостенной «улитки», а за счет своего веса (1,2 кг) двигатель КД-3,5А в этом случае является мощным источником колебаний. По этим причинам устранить звуковой резонанс не удалось даже при тщательной виброизоляции.

В предлагаемой схеме охлаждения (рис. 14.12) для наиболее эффективного использования воздушного потока корпус вентилятора состыкован с ламповой панелькой. Поэтому крепление мотора к «улитке», кроме усиления шума, способствует нежелательным микровибрациям панельки и лампы.

**Вывод.** Учитывая вышеназванные причины, двигатель наиболее целесообразно крепить к нижней панели усилителя (рис. 14.15).

Для массивного шасси мотор не является сильным вибровозбудителем, а резонансная частота корпуса за счет его габаритов и веса находится много ниже возмущающей частоты.

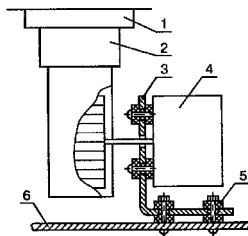


Рис. 14. 15. Крепление электродвигателя:

1 — панелька; 2 — корпус вентилятора; 3 — Г-образный кронштейн;  
4 — электродвигатель; 5 — виброизолятор; 6 — нижняя панель

**Примечание.** Такое крепление плюс виброизоляция позволяет значительно уменьшить звуковые резонансы электродвигателя. Для полного устранения резонансных явлений на электродвигатель КД-3,5А следует подавать пониженное напряжение, которое минимально возможно для его работы. Скорость вращения при этом останется неизменной.

### Способы снижения шума

Сильный звук создается при вращении крыльчатки. Скорость крыльчатки и шум понизится, если уменьшить потребляемый расход (подачу) воздуха. Для всех типов вентиляторов это достигается несколькими способами.

**Способ 1. Применение радиоламп, требующих минимальный обдув.** Необходимая подача воздуха в расчете на 1 Вт мощности, рассеиваемой на аноде (удельная подача), для распространенных ламп дана в табл. 14.8 [19].

Показатели обдувных радиоламп

Таблица 14.8

Наименование лампы	ГУ-43Б	ГУ-74Б	ГУ-78Б	ГУ-84Б	ГИ-7Б
Масса, кг	1,5	0,55	1,8	1,3	0,33
Мак мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	1000	600	2500	2500	350
Площадь радиатора, см <sup>2</sup>	3000	410	1630	1270	270
Удельная площадь радиатора, см <sup>2</sup> /Вт	3	0,68	0,65	0,51	0,77
Подача воздуха, м <sup>3</sup> /ч	100	35	280	250	24
Удельная подача воздуха, м <sup>3</sup> /(Вт·ч)	0,100	0,058	0,112	0,100	0,068

**Вывод.** Из табл. 14.8 следует (при прочих равных условиях): чем меньше масса лампы, тем меньшая удельная подача воздуха необходима для ее охлаждения. Это хорошо согласуется с известным физическим принципом: чем меньше размеры — тем лучше охлаждение.

При одинаковой мощности, рассеиваемой на аноде, подача воздуха для охлаждения ГУ-74Б требуется примерно в два раза меньше, чем для ГУ-84Б и ГУ-78Б. Лампа ГУ-74Б наиболее привлекательна для уменьшения расхода охлаждающего воздуха, а следовательно, и для снижения шума.

Подтверждением этих расчетов является примерение ламп ГУ-74Б (4СХ800А) во многих зарубежных фирменных усилителях [4, 51—55], которые имеют малоэффективную систему охлаждения. Использование двух ГУ-74Б вместо одной ГУ-84Б значительно дороже, кроме того, требуется дополнительная работа по монтажу. Следовательно, такой способ нерациональный. Проще изготовить эффективную систему охлаждения, а затем применить любую подходящую по главным параметрам радиолампу.

Металлостеклянные лампы (например, ГУ-43Б), требующие меньшую рабочую температуру, имеют большую удельную

площадь радиатора (см. табл. 14.8). Поэтому удельная подача для них примерно такая же, как у металлокерамических ламп.

**Способ 2.** Часть подачи вентилятора расходуется на завихрения, возникающие в процессе преодоления аэродинамического сопротивления радиатора. Поэтому лампы с широкими щелями в радиаторе (например, ГИ-7Б) «продуть» легче, чем с узкими щелями (например, ГУ-84Б). Потери давления в радиаторе указываются в характеристике охлаждения лампы (рис. 14.3).

**Способ 3.** При работе SSB большое тепловыделение может дать ток покоя лампы. Следовательно, все средства уменьшения этого тока будут одновременно являться способом по уменьшению расхода воздуха и шума.

**Способ 4.** Электронный переключатель RX/TX устраняет тепловыделение в паузах и этим также способствует снижению необходимого расхода воздуха.

**Способ 5.** Возможно автоматическое переключение скорости крыльчатки в зависимости от тепловыделения лампы. Датчиком может служить термореле, установленное в воздуховоде.

**Способ 6.** Оригинальный метод уменьшения шума использован в усилителях ЕТО 91В и АСОМ 2000. Там применяются панельки без анодного крепления [6, 54], а воздуховоды из кремнийорганической резины плотно закреплены непосредственно на радиаторах (рис. 14.16). Кроме уменьшения шума,

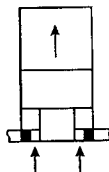


Рис. 14.16. Схема расположения резинового воздуховода

такой воздуховод способствует лучшему охлаждению лампы, т. к. он фактически увеличивает поверхность охлаждения радиатора. Благодаря этому возможно некоторое уменьшение подачи воздуха, что, в свою очередь, способствует снижению шума.

### Пути уменьшения шума осевого вентилятора

При использовании осевого вентилятора шум уменьшается следующими путями.

**Путь 1.** Чем лучше используется воздушный поток (т. е. чем меньше аэродинамическое сопротивление воздушного тракта), тем меньше необходимая мощность и шум осевого вентилятора. Поэтому оптимизация системы обдува, изложенная выше, является одновременно способом уменьшения шума. Применение вытяжной схемы охлаждения с оптимальными параметрами, по сравнению с приточной, позволит уменьшить подачу вентилятора и скорость лопастей в 2,5—3 раза.

**Путь 2.** Некоторого ослабления уровня шума можно добиться при размещении вентилятора на задней панели усилителя [25]. В этом случае для оператора корпус усилителя является акустическим экраном.

**Путь 3.** Применение осевых вентиляторов возможно большего диаметра. В соответствии с формулой  $L = v \times s$ , при увеличении сечения воздуховода  $s$  (или диаметра вентилятора, что в принципе то же самое) и уменьшении скорости воздуха, в такое же количество раз подача не изменится. Поэтому для снижения шума целесообразно установить вентилятор с возможно большим диаметром и, соответственно, уменьшить скорость вращения крыльчатки. (При этом скорость прохода воздуха через лампу остается неизменной.) Например, если для лампы ГУ-74Б, имеющей диаметр анода 70 мм, применить вентилятор с диаметром не 80, а 120 мм, то его площадь сече-

ния возрастет в 2,25 раза, следовательно, для сохранения той же подачи можно, соответственно, понизить скорость воздуха в зоне вентилятора (т. е. обороты крыльчатки) и, тем самым, уменьшить уровень шума.

**Путь 4.** Меньше шумят вентиляторы с большим числом лопастей. С увеличением их количества уменьшается «нагрузка», приходящаяся на одну лопасть, и снижается сила ее воздействия на воздух, а, следовательно, и шум. Кроме того, вентиляторы с большим числом лопастей создают большее давление.

Полностью звук при обдуве не устранить, но при грамотном изготовлении усилителя он крайне незначительный, не будет возбуждать мембрану микрофона и легко позволит работать на динамик.

Вышеуказанные способы позволяют достичь хороших результатов с любыми лампами и сделать уровень шума меньше, чем шум из динамика при средней громкости.

## 14.5. Защита лампы от перегрева

**Внимание.** Металл и керамика имеют разный коэффициент теплового расширения. При превышении максимально допустимой температуры лампы механические напряжения, вызванные расширением, могут превысить предел прочности керамики. Возникшие вследствие этого микротрещины приведут к быстрой потере вакуума из лампы.

### Защита при аварийной остановке вентилятора

Защита лампы при отказе вентустановки в профессиональных усилителях производится с помощью датчика воздушного

потока. При отсутствии обдува срабатывают его аэроконтакты, и автоматика обесточивает лампу. В качестве аэроконтактов чаще всего применяется геркон, а его срабатывание достигается за счет миниатюрного магнита, закрепленного на подвижной пластине, которую поворачивает воздушный поток.

Указанная защита имеет два недостатка:

- она не защищает лампу от перегрева при расстройке П-контура;
- при обдуве малогабаритных ламп расход воздуха будет недостаточным для срабатывания механического датчика.

Если не удалось добиться надежного срабатывания аэроконтактов, можно применить **релейную схему защиты** (рис. 14.17).

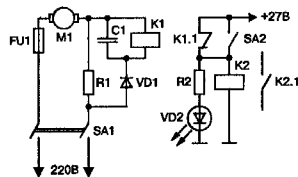


Рис. 14.17. Релейная схема защиты лампы от перегрева

При обрыве в цепи электродвигателя, управляющее реле K1 обесточивается, контакты K1.1 замыкаются и включают исполнительное реле K2, которое контактами K2.1 отключает лампу. О срабатывании защиты сигнализирует светодиод VD2. После устранения обрыва ток в цепи электродвигателя вызывает срабатывание K1, контакты K1.1 размыкаются, и схема защиты переходит в исходное состояние. При превышении тока в цепи двигателя перегорает плавкий предохранитель FU1, а затем схема защиты срабатывает как при обрыве.



### Охлаждение лампы после аварийной остановки вентилятора

Аварийная остановка вентилятора может произойти вследствие его отказа или при отключении электроэнергии.

Для охлаждения лампы при отключении электричества можно применить вентилятор с электродвигателем постоянного тока и аварийный источник питания, который контактами реле автоматически подключается к вентилятору при отсутствии напряжения в сети.

Но такой способ защиты не является универсальным, так как не спасает от перегрева при отказе вентилятора. Кроме того, в этом случае обязательно требуется вентилятор с питанием от источника напряжения 12 В, что накладывает дополнительные ограничения при конструировании.

Универсальным средством является наличие отдельного аварийного вентилятора, который расположен в одном корпусе с батарейками. При остановке штатного вентилятора оператор устанавливает аварийный вентилятор на корпус усилителя над воздухопроводом и охлаждает лампу в течение определенного времени, как этого требует инструкция [30—32].

### Защита от перегрева при повышенном тепловыделении

При сверхнормативном тепловыделении на аноде (например, из-за расстройки П-контура), номинальной подачи воздуха будет недостаточно. Для защиты лампы в этом случае следует постоянно контролировать ее максимальную температуру.

**Примечание.** Точка наибольшего нагрева расположена в верхней внутренней части анодного радиатора (см. рис. 14.10).

Суммарное напряжение на аноде 3—5 кВ, поэтому непосредственно измерять температуру анодного радиатора весьма затруднительно. При постоянном режиме работы вентиля установки  $t$  воздуха за анодом и  $t$  анода находятся в строго определенной зависимости (см. рис. 14.10). Следовательно, более просто контролировать не  $t^\circ$  анода, а  $t^\circ$  воздуха за анодом. Аналогичный принцип защиты применяется в фирменных усилителях АСОМ 1000 и АСОМ 2000 [4, 54].

После монтажа системы охлаждения необходимо для заданной  $t_{\text{Аmax}}$  опытным путем получить данные температурного поля за анодом (как на рис. 14.10). Затем термодатчик, температура срабатывания которого может быть 70—120 °С, помещается в соответствующей точке воздуховода.

**Совет.** Чтобы иметь возможность регулировать температуру лампы, при которой срабатывает защита, крепление датчика должно обеспечивать регулировку его положения по высоте и по диаметру воздуховода.

При замыкании контактов термодатчика SA2 срабатывает реле K2, и контакты K2.1 отключают лампу (рис. 14.17). Контакты SA2 после срабатывания остаются замкнутыми еще некоторое время, пока происходит отвод тепла от внутренних конструкций лампы. О срабатывании защиты сигнализирует светодиод VD2. После охлаждения лампы схема защиты сама возвращается в исходное состояние.

## 14.6. Рекомендации для изготовления систем охлаждения

### Рекомендации по результатам испытаний

**Рекомендация 1.** Для охлаждения лампы наиболее эффективно применение одного вентилятора достаточной мощности. Использование второго вентилятора для увеличения подачи воздуха нерационально.

**Рекомендация 2.** Вследствие особенности в организации воздушного потока, осевой вентилятор более эффективно работает в вытяжной схеме охлаждения, а центробежный вентилятор — в приточной схеме охлаждения.

**Рекомендация 3.** По результатам испытаний систем охлаждения определены две наиболее эффективные конструкции. По совокупности всех параметров лучшей является **приточная схема охлаждения с соосным потоком от центробежного вентилятора**. Здесь обеспечиваются максимальная эффективность вентустановки, минимальный шум, а также надежная работа вентилятора, т. к. он подает холодный воздух. Ее недостатком является сложность монтажа.

**Вторым** вариантом является **вытяжная схема охлаждения с осевым вентилятором**. Ее недостатки — повышенный уровень шума и нагрев вентилятора. А **преимущество** — минимальные габариты и многократное упрощение монтажа. Кроме того, осевые вентиляторы значительно дешевле, чем центробежная установка, и на рынке комплектующих можно легко найти необходимые типоразмеры.

Очевидно, что оправданы обе схемы охлаждения. Окончательный выбор будет зависеть от наличия комплектующих деталей, компоновки усилителя и мнения автора конструкции.

### Определение подачи вентилятора в SSB- и CW-режимах

Вышеуказанные результаты измерений получены после десятиминутной работы лампы, что соответствует моделированию режима непрерывного излучения. Для SSB и CW среднее тепловыделение на аноде будет значительно меньше. В этом случае обороты вентилятора (а, следовательно, и шум) могут быть существенно уменьшены. Поэтому целесообразно иметь пониженную скорость вентилятора.

В зависимости от длительности работы на передачу, соотношения времени RX/TX, вида излучения, тока покоя и пик-фактора SSB сигнала средняя мощность, рассеиваемая на аноде, может уменьшиться в несколько раз.

**Например**, при передаче CW сигналов, учитывая паузы, средняя мощность будет 60—70 % от режима «настройка». Во время приема лампа быстро охлаждается (см. **рис. 14.11**). Если принять соотношение RX/TX 1:1 и небольшое время передачи (1—2 мин), то время приема может быть засчитано в расчете среднего тепловыделения на лампе. Тогда в режиме CW оно будет примерно в 3 раза меньше, чем при непрерывном излучении.

Используя найденный коэффициент и КПД усилителя, легко вычислить выходную мощность, при которой испытанная система сможет охлаждать лампу. Но это приблизительный расчет, основанный на ряде допущений. Точные расчеты тепловыделения на аноде в режимах SSB и CW сложны и неоправданны.

Более просто определить необходимую подачу вентилятора, руководствуясь температурой лампы в реальных условиях эксплуатации. Для этих измерений вначале нужно получить зависимость охлаждения анода (как на **рис. 14.11**) для конкретной конструкции, а затем с соблюдением всех мер безопасности провести измерения.

**Совет.** Цена недорогого тестера с термопарой в несколько раз ниже стоимости радиолампы, поэтому его приобретение оправдано даже при постройке одного усилителя. Грамотно выполненная система обдува обеспечит оператору комфортную радиосвязь на динамик, а радиолампа полностью отработает плановый ресурс.

### Влияние анодного крепления панельки на охлаждение лампы

При неоднократном сравнении  $t_{\text{Аmax}}$  у лампы, закрепленной в фирменном анодном кольце, и без такого крепления разница была в пределах ошибки измерения (при прочих равных условиях).

Причины этого следующие: при использовании фирменной панельки с анодным креплением поверхность охлаждения уменьшается примерно на 10 % (см. табл. 14.1), т. к. в ней не участвует цилиндрическая боковая поверхность радиатора.

Но, с другой стороны, эта боковая поверхность радиатора через контакты соприкасается с изолирующим анодным кольцом, которое также является теплоотводом. Кроме того воздух, который уже не охлаждает наружную поверхность радиатора, будет проходить через его внутренние более нагретые щели. Эти явления примерно уравнивают уменьшение охлаждающей поверхности радиатора.

Поэтому существенной разницы в охлаждении лампы с «анодным креплением» и без него нет. Крепление за анодное кольцо необходимо для надежной фиксации лампы. Но если в распоряжении пользователя оказалась панелька без анодного кольца, ее тоже можно применить.

Инструкция разрешает для крепления лампы в панели делать упор на кольцо второй сетки с прижимом лампы со стороны анода [30—32]. Для осуществления такого крепления вместо отсутствующего фирменного анодного кольца

устанавливается воздуховод, в котором на изоляторах размещается упор для прижатия лампы со стороны анода. Такое крепление особенно удобно при использовании вытяжной системы охлаждения с осевым вентилятором (рис. 14.10).

### Размещение системы охлаждения в корпусе усилителя

В усилителях традиционно применяется горизонтальный корпус типа «DESKTOP». По этой причине исторически сложившаяся и рациональная для старых стеклянных ламп компоновка «автоматически» перенесена на обдувные лампы. Для сохранения традиционной конструкции и упрощения монтажа вентиляционной установки использовано параллельное включение малогабаритных ГУ-74Б (или ГУ-91Б) и приточная схема обдува с боковым потоком (рис. 14.18) [4, 51—55]. Но из-за больших потерь при повороте воздуха эта схема не привлекательна для мощных ламп (см. табл. 4.7).

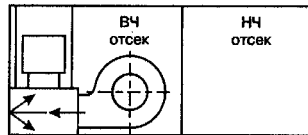


Рис. 14.18. Компоновка системы охлаждения в корпусе «DESKTOP» усилителей ETO 91B и АСОМ 2000

Усилитель заданной мощности всегда проще и дешевле сделать на одной большой лампе, а не на двух—трех мало-мощных (именно для этого мощные лампы и производят). Поэтому компоновка усилителя должна обеспечивать монтаж наиболее эффективной системы охлаждения.

Чтобы выполнить это требование, необходимо отказаться от традиционного горизонтального корпуса DESKTOP,

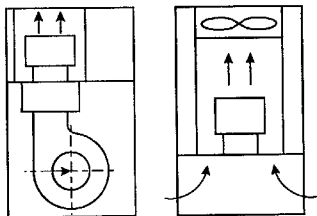


Рис. 14.19. Компоновки систем охлаждения в корпусе MINITOWER

а использовать вертикальный корпус типа MINITOWER (рис. 14.19). В нем успешно размещается самая эффективная приточная схема охлаждения с соосным потоком центробежного вентилятора [38] или, если необходимо, наиболее простая вытяжная система охлаждения с осевым вентилятором (рис. 14.10).

Дополнительные преимущества MINITOWER состоят в том, что значительно упрощается монтаж (т. к. к нему обеспечивается доступ с обеих сторон вертикального корпуса), и усилитель занимает на столе меньше места.

## 15. УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ В УНИВЕРСАЛЬНОМ КОРПУСЕ

### 15.1. Принцип открытой архитектуры в усилителях мощности

#### Особенности открытой архитектуры

Принцип открытой архитектуры, заложенной фирмой IBM в компьютерной технике, позволил в универсальном корпусе системного блока собирать любую заданную конфигурацию и, по мере необходимости, заменять отдельные узлы более совершенными. Подобный принцип целесообразно применить и при изготовлении усилителей. Усилители мощности для коротких волн — достаточно консервативная область техники. Грамотно изготовленный аппарат исправно работает десятки лет, и его достаточно изготовить (приобрести) лишь однажды.

Большинству операторов за работу приходится браться несколько раз, потому что предыдущий усилитель перестал удовлетворять возросшим требованиям, а сделать высококлассный аппарат сразу не хватало опыта или средств. Принцип открытой архитектуры упрощает модернизацию, сводя затраты к минимуму.

#### Состав типового усилителя

Усилитель можно разделить на следующие функционально законченные блоки, которые устанавливаются в универсальный корпус в заданном сочетании (конфигурации) согласно индивидуальным требованиям пользователя.

1. Входные цепи.
2. Схема получения управляющего напряжения для ALC.
3. Схема ступенчатого включения накала.
4. Таймер разогрева.
5. Таймер охлаждения.
6. Источник отрицательного напряжения и цепи питания первой сетки с защитой по току.
7. Источник экранного напряжения с защитой по току.
8. Источник анодного напряжения с защитой по току.
9. П-контур.
10. Переключатель диапазонов.
11. Переключатель RX/TX.
12. КСВ-метр.
13. Автомат защиты от высоких КСВ.
14. Вентиляторная установка (для обдувных ламп).
15. Автомат защиты лампы от перегрева (для обдувных ламп).

В зависимости от типа лампы, схемы ее включения и технических требований некоторые блоки могут не использоваться.

В качестве универсального наиболее подходит корпус типа MINITOWER, как в системном блоке компьютера. Вертикальный корпус, по сравнению с традиционным горизонтальным (DESKTOP), имеет следующие преимущества:

- он занимает на столе меньше места;
- его форма и размеры позволяют использовать любые лампы, от ГУ-50 до ГУ-78Б и ГУ-81;
- корпус наиболее приспособлен для охлаждения ламп. У стеклянных ламп легко обеспечивается циркуляция воздуха через отверстия, закрытые сетками с трех сторон. Для обдувных ламп удобно размещается любая схема охлаждения с оптимальными параметрами [21, 24, 38];
- при подъеме П-образного кожуха открывается двухсторонний доступ ко всем узлам усилителя. Этим обеспечиваются минимальные трудозатраты при сборке, наладке и модернизации;

- ♦ доступ к монтажу с обеих сторон позволяет сделать более плотную компоновку без ущерба для сборки и ремонта. Это, в конечном счете, способствует уменьшению размеров корпуса.

**Примечание.** Компьютерные фирмы (а это наиболее передовые предприятия в области электронной техники) уже более 10 лет успешно используют преимущества вертикальных корпусов. Для усилителей мощности они также наиболее удобны.

#### Варианты изготовления усилителя

При изготовлении усилителя в вертикальном корпусе типа MINITOWER возможны два варианта — с внешним и с внутренним анодным блоком питания.

**Вариант с внешним анодным блоком питания** предназначен для ламп ГУ-43Б, ГУ-84Б, ГУ-78Б, ГС-35Б, 2xГУ-74Б, ГУ-81М и т. п.

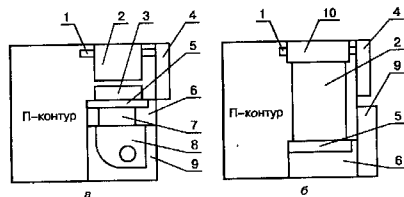
Для обдувных тетродов наиболее удобное расположение деталей показано на рис. 15.1, а. П-контур занимает всю переднюю половину корпуса. Анодный дроссель 1 закреплен на задней панели рядом с разъемом анодного напряжения. Ламповая панелька 5 находится на Г-образной перегородке в задней части корпуса. Под ней расположен воздуховод 2 для удаления тепла за пределы корпуса. Через входной отсек 6 проходит приточный воздуховод 7, по которому воздух от вентилятора 8 поступает прямо в отверстие панельки. Это обеспечивает наилучшие условия охлаждения [24].

Под входным отсеком, кроме вентилятора, помещаются внутренние блоки питания и схемы управления. Антенное реле и КСВ-метр расположены на задней панели усилителя и закрыты отдельным кожухом 4.

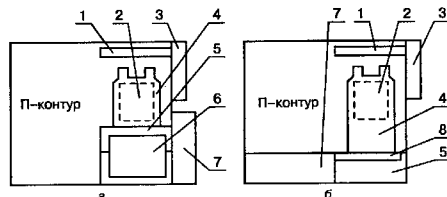
Для применения осевого вентилятора используется компоновка изображенная на **рис. 15.1, б**. Эта схема менее компактна, т. к. необходимо оставить свободное пространство между анодом и вентилятором (около 100 мм) для охлаждения воздуха [24]. Поэтому внутренние блоки питания и схемы управления расположены на задней панели и закрыты отдельным кожухом 9. Эта мера вынужденная, и она несколько увеличивает габариты усилителя. Но зато улучшаются условия монтажа и ремонтпригодность, т. к. работать со схемами управления можно не открывая ВЧ-отсек.

У многих радиолюбителей пользуются популярностью лампы ГУ-81М, ГК-71. Главным преимуществом этих ламп являются небольшая стоимость, надежность и долговечность. К недостаткам можно отнести необходимость применять на входе диапазонные контуры.

Первая компоновка для ГУ-81М, 2 × ГК-71 показана на **рис. 15.2, а**. Лампа (лампы) расположены ассиметрично, так, чтобы сбоку осталось место для анодного дросселя и платы диапазонных контуров. Внутренние блоки питания и схемы управления 7 — на задней панели, как и на **рис. 15.1, б**.



**Рис. 15.1.** Компоновка усилителя на металлокерамических лампах: 1 — анодный дроссель; 2 — воздуховод; 3 — анодный обжим; 4 — витанное реле и КСВ-метр; 5 — ламповая панелька; 6 — входной отсек; 7 — приточный воздуховод; 8 — центробежный вентилятор; 9 — внутренний блок питания и схемы управления; 10 — вытяжной осевой вентилятор



**Рис. 15.2.** Компоновка усилителя на лампе ГУ-81М: 1 — анодный дроссель; 2 — вентилятор; 3 — витанное реле и КСВ-метр; 4 — лампа ГУ-81М, ГК-71; 5 — входной отсек; 6 — плата входных контуров; 7 — внутренний блок питания и схемы управления; 8 — ламповая панелька

При нежелании утяжелять ВЧ-блок, эту часть можно разместить в корпусе внешнего анодного блока питания. В малогабаритном корпусе будет необходима принудительная вентиляция с помощью вентилятора 2.

Еще один вариант компоновки для ГУ-81М, 2×ГК-71 дан на **рис. 15.2, б**. Входные цепи и внутренний блок питания расположены под разделяющей корпус горизонтальной перегородкой. Здесь более простая конфигурация корпуса, но менее удобный доступ к монтажу.

Варианты размещения деталей с внутренним анодным источником питания представлены на **рис. 15.3**. Такая компоновка целесообразна для ламп 4×ГУ-50, 4×Г-811, ГУ-74Б и т. п. при мощности трансформатора до 1000 Вт. Она возможна и для более мощных ламп при получении анодного напряжения от умножителя. С учетом изложенного выше, особенности конструкций на **рис. 15.3** не требуют дополнительных пояснений.

На рисунках изображены только наиболее крупные (базовые) узлы усилителей. Более детальная компоновка зависит от выбранной конфигурации и от размеров комплектующих изделий, поэтому не приводится.

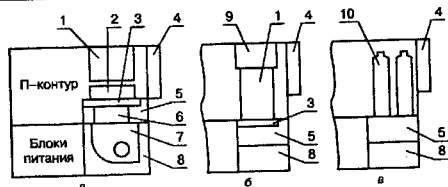


Рис. 15.3. Компоновка усилителя с внутренним анодным блоком питания:  
1 — воздуховод; 2 — анодный зажим; 3 — ламповая панелька;  
4 — антенное реле и КСВ-метр; 5 — входной воздуховод; 6 — приточный воздуховод;  
7 — центробежный вентилятор; 8 — схема управления; 9 — вытяжной осевой вентилятор;  
10 — лампы ГУ-50, Г-611, ГК-71

## 15.2. Принципиальная схема усилителя и детали

Принцип открытой архитектуры использован в конструкции усилителя для диапазона КВ, принципиальная схема которого приведена на рис. 15.4. Усилитель выполнен по компоновочной схеме, изображенной на рис. 15.1, а. Его коэффициент усиления зависит от крутизны применяемой лампы и величины анодного напряжения.

Лампа VL1 включена по схеме с общим катодом. В качестве лампы VL1 может быть использован любой вышеуказанный тетрод.

**Примечание.** По всем параметрам и набору сервисных функций усилитель соответствует фирменному уровню.

Усилитель имеет четыре независимые друг от друга предохранительные системы. Они защищают лампу:

- от превышения тока сеток и анода;
- от перегрева при остановке вентилятора;
- от перегрева при расстройке П-контура.

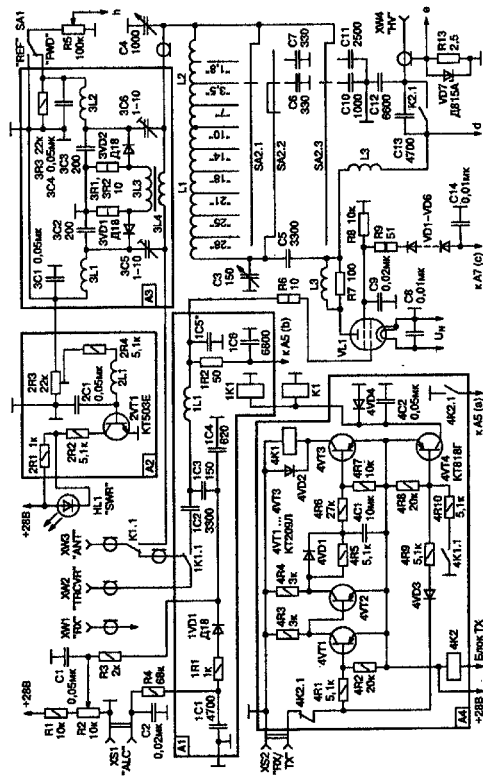


Рис. 15.4. Принципиальная схема усилителя

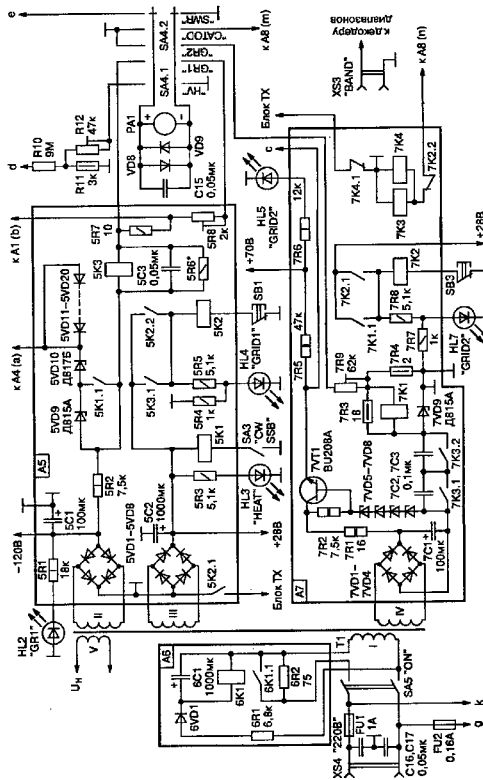


Рис. 15.4. Принципиальная схема усилителя (продолжение)

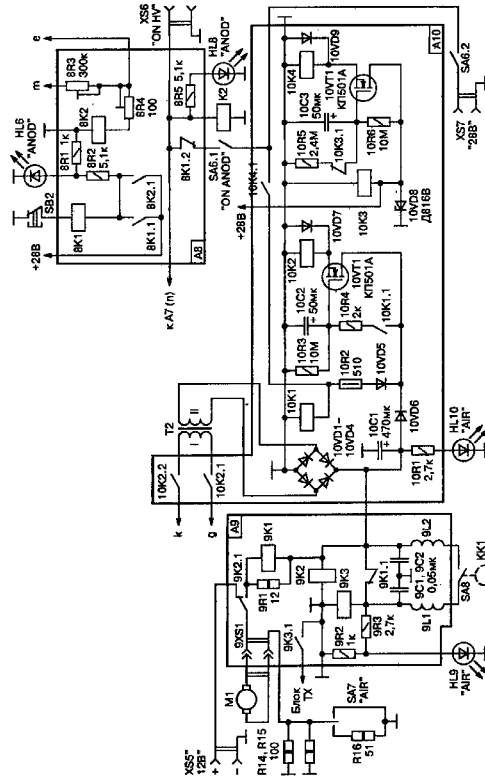


Рис. 15.4. Принципиальная схема усилителя (продолжение)



**Автоматика** усилителя обеспечивает:

- ступенчатое включение накала лампы;
- 4-минутный разогрев катода перед подачей анодного напряжения;
- 5-минутное охлаждение лампы после отключения напряжения накала.

За счет применения внешнего анодного блока питания и вертикального корпуса удалось без ущерба для монтажа уложиться в размеры меньше, чем у компьютерного системного блока MINITOWER.

Для соединения с трансивером и антенной предназначены гнезда XW1, XW2, XW3. При отключенном усилителе и режиме RX контакты K1.1 и K1.1 подсоединяют антенну к трансиверу. В режиме передачи контакты K1.1 подключают выход трансивера к входу усилителя, а контакты K1.1 — выход усилителя к антенне. Разъем XW1 используется при установке электронного коммутатора RX/TX.

При передаче сигнал с трансивера через плату A1 и антипаразитный резистор R6 поступает на управляющую сетку лампы VL1.

Лампа VL1 включена по схеме с общим катодом. Анодная цепь лампы выполнена по схеме параллельного питания с дросселем L4. В П-контуре входят катушки L1 и L2, конденсаторы настройки C3, C6, C7 и конденсаторы регулировки связи с антенной C4, C10, C11. Конденсатор C5 отделяет анодное напряжение от П-контура.

Дроссель L3, зашунтированный сопротивлением R7, предназначен для подавления УКВ-колебаний.

**Примечание.** Дроссель L3 и резистор R7 не является обязательным элементом схемы и при отсутствии УКВ генерации может не устанавливаться.

В П-контуре применен анодный КПЕ с максимальной емкостью 150 пФ, к которому на диапазонах 1,8 и 3,5 МГц

подключаются добавочные постоянные конденсаторы. Такой вариант применяется во всех фирменных усилителях, он уменьшает габариты КПЕ и П-контура в целом и значительно снижает остроту настройки на частотах 14—28 МГц за счет т. н. «электрического верньера» [2, 4, 6]. К анодному КПЕ C3 на диапазоне 3,5 МГц группой контактов переключателя диапазонов SA2.2 подключается конденсатор C6.

На диапазоне 1,8 МГц параллельно C6 дополнительно подключается конденсатор C7. Подключение C6 и C7 обеспечивается двухлепестковым подвижным контактом.

Группа контактов переключателя диапазонов SA2.1 коммутирует отводы катушек L1, L2, группа контактов SA2.3 подключает на НЧ-диапазонах постоянные конденсаторы C10, C11 параллельно антенному КПЕ C4.

Для упрощения на схеме (рис. 15.4) изображен механический переключатель диапазонов (рис. 11.2). Габариты корпуса позволяют также выполнить переключатель на вакуумных замыкателях. В этом случае используется схема, изображенная на рис. 11.4. Для дистанционного переключения вакуумных замыкателей при смене диапазона можно использовать декодер диапазонов, управляемый трансивером через разъем XS3 «BAND».

**Анодное напряжение** от внешнего анодного блока питания подается на гнездо XW4 («HV») по коаксиальному кабелю РК 50-7-15. Резисторы R10, R11 являются измерительным делителем напряжения. Подстроечным резистором R12 устанавливают полное отклонение стрелки прибора PA1 при заданном напряжении. Включение вентилятора, накала лампы, напряжения смещения, анодного и экранного напряжений контролируется зелеными светодиодами HL10 («AIR»), HL3 («HEAT»), HL2 («GR1»), HL8 («ANOD») и HL5 («GRID2»).

Прибор PA1 позволяет контролировать величину анодного напряжения («HV»), токи сеток («GR1» и «GR2»), ток катода («CATOD») и KCB («SWR»).

Электродвигатель вентилятора М1 получает питание с платы А9. Трехпозиционный тумблер SA7 «AIR» позволяет подавать на вентилятор напряжение 5, 6 и 8 В и регулировать скорость вращения крыльчатки вентилятора в зависимости от тепловыделения лампы. Этим достигается минимальный уровень акустического шума.

Система охлаждения проверена при использовании ламп ГУ-84Б, ГУ-78Б в номинальных режимах (ток покоя 500 мА, ток при настроенном контуре 1 А и 1,4 А, соответственно). На вентилятор подавалось напряжение 5 В (номинальное 12 В), при котором его работа с включенным динамиком не прослушивается. В режиме QSK при CW и SSB модуляции лампы не прогревались более 140 °С, поэтому время передачи не ограничено.

Если необходимо работать более 3 мин AM, ЧМ и «при нажатой педали» CW и SSB, то переключателем SA 7 на вентилятор подается более высокое напряжение.

Включение усилителя производится тумблером SA5. При этом от источников питания на лампу поступает накальное и отрицательное напряжение, а на схемы автоматики — напряжение +28 В.

На плате А1 выполнены входные цепи и схема получения управляющего напряжения ALC.

При передаче сигнал с трансивера через ФНЧ поступает на резистор 1R2. Этот резистор и ФНЧ Чебышева 3-го порядка с частотой среза 36 МГц на элементах 1C3, 1C4, 1L1, 1C5 [7] обеспечивают хорошее согласование с 50-омным трансивером на всех диапазонах. Входная емкость лампы вместе с емкостью 1C5 работает в ФНЧ, поэтому она не шунтирует входное сопротивление. Отрицательное напряжение поступает на первую сетку по последовательной цепи питания, которая не требует применения дросселя.

Управляющее напряжение ALC получают выпрямлением части входного ВЧ-напряжения трансивера. Это позволяет устанавливать уровень усиления без тока управляющей сетки

лампы. Такая схема может быть использована для любых типов ламп, включенных по схеме с общей сеткой или с общим катодом.

При небольших уровнях входного сигнала диод 1VD1 закрыт положительным напряжением, поступающим на него через резисторы R1, R2, R3. Управляющее напряжение ALC отсутствует. Переменным резистором R2 устанавливается порог открытия диода 1VD1 и появления управляющего напряжения ALC на гнезде XS1. Тем самым регулируется уровень входной мощности от трансивера.

На плате А2 выполнена схема сигнализации о высоком КСВ. Напряжение отраженной волны, поступающее с платы КСВ-метра, открывает транзистор 2VT1, и красный светодиод HL1 («SWR») начинает светиться. Уровень отраженной волны, при котором срабатывает сигнализация, устанавливается подстроечным резистором 2R3. Фильтр 2L1 2C1 в цепи базы транзистора задерживает возможные ВЧ-наводки. При достаточном уровне мощности плата А2 не используется, а сигнал с платы А3 через регулировочное сопротивление подается сразу на светодиод HL1. **Недостаток схемы** — «нескачкообразное» включение светодиода, **преимущество** — простота.

На плате А3 находится КСВ-метр. Он выполнен по традиционной схеме и не требует пояснений [14].

На плате А4 выполнен **переключатель режимов RX/TX**. Для управления усилителем используется гнездо XS2 («RX/TX»). При замыкании гнезда «RX/TX» открывается транзистор 4VT4, и срабатывают антенные реле K1, K2. Одновременно открывается транзистор 4VT1, закрывается транзистор 4VT2, а затем с задержкой открывается транзистор 4VT3 и срабатывает сеточное реле 4K1.

Величина задержки срабатывания сеточного реле 4K1 зависит от величины 4R5 и 4C1. Контакты 4K1.1 блокируют транзистор 4VT4 в открытом состоянии, а контакты 4K2.1 отпирают лампу. Диод 4VD3 препятствует блокировке в открытом

состоянии транзистора 4VT1. При обратном переключении 4VT1 закрывается, 4VT2 открывается, конденсатор 4C1 через диод 4VD1 и открытый 4VT2 мгновенно разряжается и вызывает закрытие 4VT3.

Реле 4K1 контактами 4K1.2 запирает лампу, а контактами 4K1.1 разблокирует открытое состояние транзистора 4VT4. После этого происходит обратное переключение антенных реле. Задержка на обратное переключение контактов антенных реле обусловлена их временем срабатывания. Разряд конденсатора 4C1 происходит мгновенно (менее 1 мс), поэтому блокировка 4VT4 необходима только при использовании быстродействующих реле K1, K2, когда их время срабатывания сопоставимо со скоростью реле 4K1.

Достоинство этой схемы состоит в том, что подбором величин 4R5 и 4C1 можно регулировать время задержки в зависимости от скорости срабатывания применяемых реле 1K1, K1. При номиналах, указанных на схеме, задержка на включение сеточного реле 4K1 равна 15 мс.

В усилителе также может быть установлен любой другой переключатель. В том числе электронный коммутатор [16].

Переключатель RX/TX, кроме своей основной функции, используется для блокировки режима TX при срабатывании любой из 4-х предохранительных систем. Это достигается отключением гнезда XS2 контактами 4K2.1. Реле 4K2 включает контактами:

- ♦ 5K2.1 при превышении тока первой сетки;
- ♦ 7K4.1 при превышении тока второй сетки и тока анода;
- ♦ 9K3.1 при перегреве радиолампы и остановке вентилятора.

Переключение в режим RX при срабатывании предохранительных систем необходимо **по двум причинам:**

- ♦ это позволит сохранить канал связи при аварийном отключении усилителя;
- ♦ при подаче на первую сетку напряжения  $-100$  В следует снять с нее напряжение возбуждения, иначе суммарное

мгновенное отрицательное напряжение может превысить максимальное допустимое.

На плате A5 выполнен источник отрицательного напряжения  $-100$  В (диоды 5VD1—5VD4, конденсатор 5C1) с защитой по току и источник напряжения  $+28$  В (диоды 5VD5—5VD8, конденсатор 5C2).

Стабилитроны 5VD9 и 5VD10 определяют рабочее смещение лампы. Замыкание перемычкой необходимого числа диодов 5VD11—5VD20 позволяет установить его более точно.

Чтобы уменьшить ток покоя лампы в режиме CW, с помощью контактов реле 5K3.1 подключается дополнительный стабилитрон 5VD9. Этот режим включается тумблером SA3.

При превышении тока первой сетки срабатывает управляющее реле 5K3 и своими контактами 5K3.1 включает реле 5K2, которое контактами 5K2.1 блокирует режим передачи и закрывает лампу.

Одновременно, через контакты 5K2.2, подается напряжение на обмотку реле 5K2, удерживая его включенным после обесточивания реле 5K3. О срабатывании защиты сигнализирует красный светодиод HL4 («GRID1»). В исходное состояние схема защиты возвращается нажатием кнопки SB1. Резистором 5R6 можно регулировать ток срабатывания защиты.

**Внимание.** Следует отметить, что при появлении тока первой сетки падение напряжения на обмотке 5K3 вызовет рост уровня гармоник и ухудшение качества сигнала. Поэтому каскад с указанной предохранительной системой следует эксплуатировать только без тока первой сетки.

Резистор 5R7 служит для измерения тока первой сетки. Подстроечным резистором 5R8 устанавливают ток полного отклонения стрелки прибора PA1 при измерении тока первой

сетки. Питание красного светодиода HL4 от делителя напряжения 5R4, 5R5 позволяет использовать не только обычные, но и мигающие светодиоды. В паузах они почти не потребляют ток, поэтому без резистивного делителя напряжение на них будет недопустимо повышаться.

На других платах питание красных светодиодов также производится от делителей напряжения. Выход  $-100$  В используется при установке бесконтактного переключателя RX/TX.

**Плата А6** — таймер ступенчатой подачи напряжения накала. Для ограничения пускового тока в цепь первичной обмотки трансформатора Т1 включен резистор 6R2. При включении усилителя через резистор 6R1 и диод VD1 начинает заряжаться конденсатор 6C1. Через (приблизительно) 3 с включается реле 6K1, которое своими контактами 6K1.1 замыкает резистор 6R2, обеспечивая полную подачу напряжения. Время задержки зависит от величин 6C1 и 6R2.

На **плате А7** собран источник экранного напряжения. Он включает в себя выпрямитель (7VD1—7VD4, 7C1), стабилизатор (7R2, 7VT1, 7VD5—7VD8) и релейную схему защиты второй сетки от превышения тока. К источнику экранного напряжения также относятся резисторы R8, R9 и диоды VD1—VD6.

Конденсатор C9 находится в ламповой панельке. При аварийном отклонении анодного напряжения в режиме передачи и при заходе в перенапряженный режим при настройке П-контура значительно возрастает ток второй сетки и превышает допустимая рассеиваемая на ней мощность.

При превышении тока второй сетки включается реле 7K1 и своими контактами 7K1.1 включает реле блокировки 7K2, которое, в свою очередь, контактами 7K2.2 отключает реле 7K3 и 7K4. Контакты 7K3.1 и 7K3.2, включенные последовательно, снимают экранное напряжение, реле 7K4 блокирует режим TX. Одновременно блокирующие контакты 7K2.1 подают напряжение на реле 7K2, удерживая его включенным.

О срабатывании защиты сигнализирует красный светодиод HL5 («GRID2»).

В исходное состояние схема защиты возвращается нажатием кнопки SB3. Ток срабатывания защиты устанавливается резистором 7R3. Так как через резисторы R8 и 7R5, 7R6 постоянно течет ток около 40 мА, то для срабатывания защиты при токе сетки  $I_{max}$  реле 7K1 должно включаться при токе  $I_{max} + 40$  мА.

Резистор 7R4 служит для измерения тока экранной сетки. Подстроечным резистором 7R9 устанавливается ток полного отклонения стрелки прибора PA1 при измерении тока экранной сетки.

Кроме релейной защиты, источник экранного напряжения имеет четыре предохранительных элемента, которые обеспечивают его сохранность при замыкании второй сетки на катод или анод вследствие неисправности или пробоя лампы.

Резисторы 7R1, R9 ограничивают максимальный ток короткого замыкания в период до срабатывания защиты. Стабилитрон 7VD9 ограничивает ток, проходящий через слаботочное реле 7K1 и резисторы 7R3 и 7R4 в период до срабатывания защиты. Диоды VD1—VD6 обеспечивают защиту источника при возникновении динаatronного эффекта и при замыкании сетки на анод.

Резистор R8 обеспечивает нейтрализацию динаatronного эффекта. Делитель на резисторах 7R5, 7R6 для получения  $+70$  В используется при установке электронного переключателя RX/TX.

На **плате А8** находится **релейная схема токовой защиты анода**. При заданном токе срабатывает подключенное параллельно резистору R13 управляющее реле 8K2. Контактными 8K2.1 оно включает блокирующее реле 8K1, которое контактами 8K1.2 обесточивает вакуумный замыкатель K2, гнездо XS6 «ON HV» и реле 7K3 и 7K4.

При этом контакты K2.1 отключают анодное напряжение. Отключается внешний анодный блок питания, управляемый

с разъема XS6. Реле 7K4 переводит усилитель в режим RX, а реле 7K3 отключает экранное напряжение, как этого требуют правила эксплуатации генераторных радиоламп.

Одновременно контакты 6K1.1 удерживают реле 8K1 включенным, несмотря на отсутствие управляющего напряжения на соприкосновениях R13 после размыкания K2.1. О срабатывании защиты свидетельствует красный светодиод HL6 «ANOD». В исходное состояние автомат защиты переводится кнопкой SB2.

Стабилитрон VD7 предохраняет от тока короткого замыкания реле 8K2 и резистор R13 в период до срабатывания защиты. Резистор R13 также служит для измерения тока катода. Подстроечным резистором 8R3 устанавливают ток полного отклонения стрелки прибора PA1 при измерении тока катода. Подстроечным резистором 8R4 регулируют ток срабатывания защиты.

Реле включения экранного (7K3) и анодного (K2) напряжений, кроме функций защиты, используется также при работе таймера разогрева и для ручного отклонения этих напряжений выключателем SA6 при регулировочных работах.

На плате A9 собрана схема защиты лампы VL1 от перегрева. Он возможен в таких случаях:

- если произойдет отключение в сети 220 В;
- при остановке вентилятора;
- при повышенном тепловыделении на аноде;
- при недостаточной скорости вентилятора, установленной переключателем SA7.

При отключении 220 В обесточенное реле 9K2 контактами 9K2.1 подключит электродвигатель вентилятора к разъему XS5 «12 В», и вентилятор сможет охладить лампу, работая от автономного источника питания.

Обрыв в цепи электродвигателя вызывает отключение реле 9K1. Его замкнутые контакты 9K1.1 включают реле 9K3, которое своими контактами 9K3.1 блокирует передачу. О срабатывании защиты сигнализирует красный светодиод HL9 («AIR»). После устранения обрыва схема защиты пере-

ходит в исходное состояние. При коротком замыкании в цепи электродвигателя перегорает плавкий предохранитель FU2, и схема защиты срабатывает, как при обрыве.

Для защиты лампы от перегрева при случайной или аварийной расстройке П-контура и при недостаточной скорости вентилятора применяется **термодатчик** с контактами KK1, который размещен в воздуховоде над лампой. Термодатчик контролирует температуру воздуха над анодом. При превышении температуры воздуха, соответствующей максимально допустимой температуре анода, контакты термодатчика замыкаются и включают реле 9K3, которое контактами 9K3.1 блокирует передачу.

О включении защиты сигнализирует красный светодиод HL9 («AIR»). После срабатывания защиты контакты термодатчика KK1 остаются замкнутыми еще некоторое время, пока происходит отвод тепла от анода лампы, а затем схема защиты возвращается в исходное состояние. LC-фильтры 9L1, 9C1, 9L2, 9C2 служат для задержки ВЧ-наводок.

Подача на лампу анодного и экранного напряжений производится контактами SA6.1 при включении тумблера SA6 и таймером разогрева, который конструктивно объединен с таймером охлаждения на плате A10. Контакты SA6.2 подают напряжение +28 В на внешнее оборудование.

При эксплуатации усилителя с таймером разогрева тумблер SA6 постоянно включен. Он может быть использован для отключения высокого напряжения при регулировочных и ремонтных работах. Кроме того, при снятии анодного и экранного напряжений одновременно блокируется режим TX. Это позволяет оперативно отключать усилитель при местных QSO, держа его, как говорится, «под парами».

При появлении напряжения +28 В контакты 10K3.1 размыкаются, и конденсатор 10C3 начинает заряжаться. Напряжение на затворе транзистора 10VT2 повышается, а через 4 мин включается реле 10K4. Через контакты 10K4.1 напряжение +28 В поступит через тумблер SA6 на разъем

XS6 «ON HV», который осуществляет дистанционное включение внешнего анодного источника питания.

Время разогрева лампы задается величинами 10R6 и 10C3. Резистор 10R5 определяет задержку подачи анодного и экранного напряжений при повторном включении усилителя. Стабилитрон 10VD8 предохраняет цепь +28 В от случайного поступления других напряжений.

Одновременно напряжение +28 В через диод 10VD5 подается на таймер охлаждения, который управляет работой вентилятора. После замыкания контактов 6K1.1 на блоке А6 замыкаются контакты 10K1.1, которые подают напряжение на затвор транзистора 10VT1.

После быстрого заряда конденсатора 10C2 напряжение на затворе 10VT1 возрастает, и срабатывает реле 10K2, которое контактами 10K2.1 и 10K2.2 подключает к сети трансформатор Т2 блока питания таймера охлаждения. Во время работы усилителя питание таймера охлаждения происходит от цепи +28 В, а диоды 10VD5 и 10VD6 обеспечивают развязку между двумя источниками с разным напряжением.

После выключения усилителя контакты 10K1 размыкаются, и конденсатор 10C2 начинает разряжаться через сопротивление 10R3. Теперь питание таймера происходит от источника +15 В на элементах 10VD1—10VD4, 10C1, а диод 10VD5 не пропускает это напряжение к другим схемам. Через 5 мин после начала разряда конденсатора 10C2 напряжение на истоке 10VT1 станет недостаточным для удержания его открытым, реле 10K2 отключится, и его контакты разомкнут цепь 220 В, питающую трансформатор Т2. Время работы таймера охлаждения зависит от величин 10R3 и 10C2.

Силовой трансформатор усилителя мощности Т1 намотан на тороидальном магнитопроводе типоразмера 92×60×60 мм из электротехнической стали марки Э3413. Его намоточные данные приведены в табл. 15.1. Силовой трансформатор Т2 должен иметь вторичную обмотку с напряжением 14—15 В.

Данные трансформатора Т1

Таблица 15.1

Номер обмотки	Число витков	Провод Ø, мм	Напряжение без нагрузки, В
I	740	0,56	220
II	350	0,2	95
III	78	0,8	22
IV	1150	0,3	330
V	96	1,2	28,5

В усилителе применены постоянные резисторы — МЛТ, подстроечные — СП 4-1. Сопротивление 1R2 состоит из 18 резисторов марки МЛТ-2 по 910 Ом (проводящий слой без канавки), включенных параллельно.

Резистор 1R8 — из 10 резисторов МЛТ-2 по 100 кОм. Резистор 1R13 — из трех резисторов МЛТ-1 по 7,5 Ом. Резистор 6R3 — из 4 резисторов МЛТ-1 по 330 Ом (для ГУ-84Б, ГУ-78Б).

Резистор R10 составлен из трех соединенных последовательно МЛТ-2 по 3 МОм. Резистор R7 — из 18 МТТ-2 по 910 Ом (проводящий слой без канавки).

Воздушный зазор между пластинами:

- ♦ у КПЕ С3 — 3 мм;
- ♦ у КПЕ С4 — 1 мм.

Конденсатор С5 — марки КВИ-3 емкостью 3300—4700 пФ. На частотах 21—28 МГц емкость анодного КПЕ сопоставима с выходной емкостью лампы. Поэтому на конденсаторе С5 будет рассеиваться определенная реактивная мощность, и при испытании необходимо проверить его рабочую температуру. Емкость С12 составлена из двух конденсаторов КВИ-3 3300 пФ × 10 кВ. Конденсатор С13 марки К73-13.

Реле 1K1 — любое для пропускания ВЧ-мощности 100 Вт. Автором использовано РЭС-34. Реле К1 — П1Д или РЭВ-14. Реле К2 — вакуумный замыкатель В1В. Параллельно обмоткам реле К1, К2 включены блокировочные конденсаторы емкостью 0,047 мкФ (на рис. 15.4 не показаны).

Реле 5К2, 7К2, 8К1 — РЭС60 (рабочее напряжение 23—34 В, сопротивление обмотки 1440—1950 Ом). Реле 4К1 — два соединенных параллельно РЭВ-18 (рабочее напряжение 27 В).

Реле 6К1 — ННГ ПГ73-2С-515 (рабочее напряжение 24 В, коммутационные параметры — 5 А, 127 В).

Реле 7К3, 10К2 — РЭС9 (рабочее напряжение 20—24 В, сопротивление обмотки 500 Ом). Реле 5К3 — РЭС91 (рабочее напряжение 4 В, сопротивление обмотки 405—550 Ом).

Реле 4К2, 5К1, 7К4 — РЭС49 (рабочее напряжение 22—36 В, сопротивление обмотки 1330—2185 Ом). Реле 9К2, 9К3, 10К1, 10К3, 10К4 — РЭС49 (рабочее напряжение 14—18 В, сопротивление обмотки 640—960 Ом). Реле 7К1, 8К2, 9К1 — РЭС49, рабочее напряжение 4 В, сопротивление обмотки 50—60 Ом.

Параметры катушек индуктивности усилителя приведены в табл. 15.2.

Параметры катушек индуктивности

Таблица 15.2

Обозн. по схеме	Индуктивность, мкГн	Число витков	Провод Ø, мм	Каркас	Примечание
L1	2,5	11	Трубка Ø6	Внутренний Ø40 мм Шаг намотки 11 мм	Отводы от 2,5; 3,5; 5; 6; 8,5; 11,5 витка
L2	9,5	18	Шина 7х1,5	Внутренний Ø55 мм Шаг намотки 6 мм	Отводы от 5 и 11 витка считан от L1. Шина намотана «на ребро»
L3	—	0,5-1	Лента 8х0,5	Оправка Ø10 мм Шаг намотки 30 мм	—
L4*	100	120	ПЭЛ 1,0	Фторопластовый прямоугольный каркас 170х30х20 мм	Намотка виток к витку. 10 крайних от анода витков с шагом 2,0 мм
1L1	0,3	10	0,6	Оправка Ø7 мм	Намотка виток к витку
2L1	50	—	—	—	Стандартный Д-0,1
3L1 3L2	500	—	—	—	Стандартный Д-0,1
3L3	—	6	0,2	М 50 В4 К16х10х6	Равномерно по окружности

Таблица 15.2 (продолжение)

Обозн. по схеме	Индуктивность, мкГн	Число витков	Провод Ø, мм	Каркас	Примечание
3L4	—	—	2,0	М 50 В4 К16х10х6	Провод проходит через отверстие кольца
3L1 3L2	500	—	—	—	Стандартный Д-0,1

Прибор РА1 — М4205 с током полного отклонения 100 мкА. Его шкала для отсчета КСВ, токов и напряжений лампы выполнена на компьютере, покрыта пластиком и наклеена на основную металлическую шкалу.

**Центробежный вентилятор** — марки DB12032V12Н. Он имеет габариты 120х120х36 мм и скорость вращения крыльчатки 2500 об/мин при рабочем напряжении 12 В [49].

**Примечание.** Блочная конструкция позволяет поэтапно модернизировать усилитель. Он может быть изготовлен в простейшем варианте с блоками А1, А4 и А7. При желании пользователя иметь «полную конфигурацию» устанавливаются все блоки.

Если используется схема с общей сеткой, то усилитель максимально упрощается. Здесь будет необходима только плата переключателя RX/TX А4.

Можно поэтапно модернизировать каждый блок в отдельности. Например, сделать:

- саморазблокирующуюся защиту по току;
- автоматическое управление скоростью вентилятора в зависимости от тепловыделения лампы;
- цифровые таймеры и т. п.

В усилитель можно также добавлять новые блоки, например:

- схему управления током покоя;
- схемы, позволяющие автоматизировать переключение диапазонов и настройку П-контура.

## 16. КОНСТРУКЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ

### 16.1. Компоновка усилителя

#### Варианты конструкции

Выполнены три варианта компоновки усилителя (рис. 16.1 — рис. 16.3). На них изображено расположение деталей в вертикальном корпусе. Усилитель можно выполнить и в горизонтальном корпусе. При этом компоновка основных деталей останется неизменной. Отличие будет только в расположении органов управления на передней панели (рис. 16.4 — рис. 16.6).

#### Конструкция с релейным переключением диапазонов

Сначала рассмотрим конструкцию с релейным переключением диапазонов, изображенную на рис. 16.1.

Корпус состоит из передней (1) и задней (3) панели, которые снизу соединены нижней панелью (10), а сверху по бокам — уголками (2). В передней части корпуса находится П-контур с переключателем диапазонов. Перед ними на передней панели (1) расположены переключатель SA4, переменное сопротивление R5, блок A2 и на кронштейне (12) три кнопки SB1, SB2, SB3. Они отделены от П-контура экранирующей перегородкой (11). На ней размещены емкости C11.

В задней части корпуса Г-образной перегородкой (5), горизонтальной перегородкой (8) и вертикальной перегородкой (9) образованы три отсека: входной, трансформаторный и вентиляторный.

Во входном отсеке расположены ламповая панелька (6), воздуховод (7), по которому воздух от вентилятора поступает

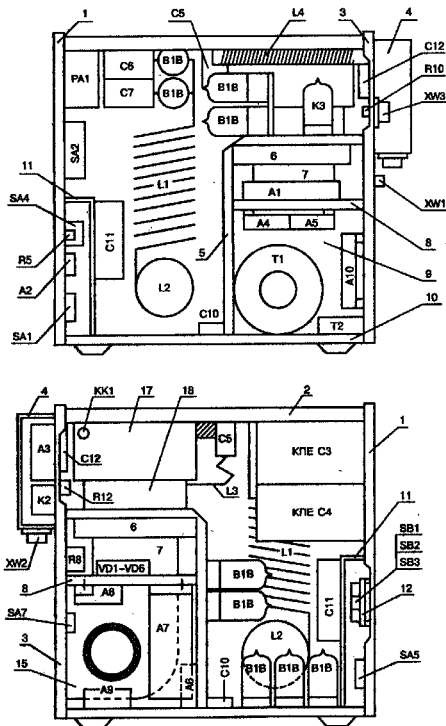


Рис. 16.1. Компоновка с релейным переключателем диапазонов



в отверстие панельки, блок А1, сопротивления R3, R4, R8, R9. С противоположной стороны от блока А1 находится блок А6 и диоды VD1—VD6.

В трансформаторном отсеке установлены трансформаторы Т1 и Т2, а также блоки А4, А5, А10.

Вентиляционный отсек кроме вентилятора содержит блоки А6, А7, А8, А9. Блок А6 также может быть размещен на передней панели рядом с тумблером SA5.

В усилителе использована приточная система охлаждения с центробежным вентилятором. Корпус вентилятора пристыкован к горизонтальной перегородке (8). Воздушный поток направляется прямо в отверстие панельки (6) по воздуховоду (7).

Над входным отсеком сбоку от анодного обжима лампы (16) расположены реле К2, анодный дроссель L4 и, при необходимости, антипаразитный дроссель L3. Два конденсатора С12 закреплены на задней панели (3). Под ними расположен измерительный делитель напряжения R10, R11 и регулирующее сопротивление R12.

Над лампой к боковым уголкам (2) закреплен воздуховод (17), служащий для удаления тепла за пределы корпуса. Воздуховод может быть изготовлен из фторопласта или стеклотекстолита толщиной 0,5 мм. В воздуховоде находится термодатчик тепловой защиты лампы SA8.

На передней панели (1) закреплена фальшпанель с надписями. Варианты ее исполнения представлены на рис. 16.4—16.6.

На задней панели (3) находятся все разъемы, регулятор ALC R2, переключатель SA7 и предохранители FV1, FV2. В ее верхней части расположены блок А2 (КСВ-метр) и антенное реле К2. Реле и КСВ-метр закрыты общим кожухом (4). Такая компоновка позволяет устанавливать любые имеющиеся в наличии реле. Разъемы XW1 и XW2 закреплены на кронштейнах, присоединенных к задней панели.

**Преимущество** рассматриваемой компоновки состоит в удобном расположении ручек настройки и прибора РА1.

**Недостаток** — в трудности установить механический переключатель.

### Универсальная компоновка

Для устранения указанного недостатка разработана универсальная компоновка, которая позволяет одинаково успешно использовать и релейный, и механический переключатели диапазонов (рис. 16.2, рис. 16.3).

От первой конструкции она отличается расположением деталей П-контура и органов управления на передней панели.

Отличия компоновки с релейным переключателем понятны из рис. 16.2 и не требуют дополнительных пояснений.

При использовании **механического переключателя** (рис. 16.3) между передней панелью (1) и Г-образной перегородкой (5) устанавливается дополнительно вертикальная перегородка (12). Она служит для отпления конденсаторов С6, С7, С10, С11 и, кроме того, увеличивает жесткость корпуса. Защита органов управления и контроля от излучения П-контура достигается экранирующими перегородками (13) и (14).

Детали корпуса выполняются из дюраля или оцинкованной стали толщиной 1—1,2 мм.

Корпус закрывается П-образным кожухом от системного блока MINITOWER или тремя отдельными панелями. На верхней плоскости напротив воздуховода (17) находится отверстие Ø120 мм для отвода тепла. Оно закрыто металлической сеткой с ячейками 5 мм. Размеры ячеек позволяют измерять температуру радиатора лампы с помощью термопары. По бокам корпуса вырезаны два воздухозаборных отверстия размером 100 × 100 мм. Они закрыты металлической сеткой с ячейками 3 мм.

Большая часть схемы усилителя собрана на печатных платах, каждая из которых является законченным функциональ-

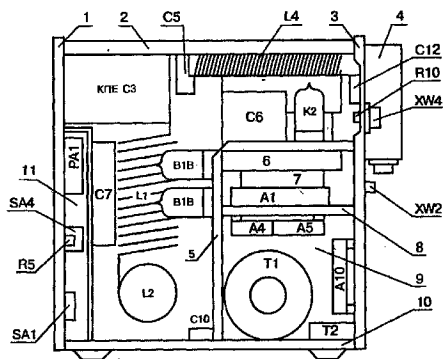
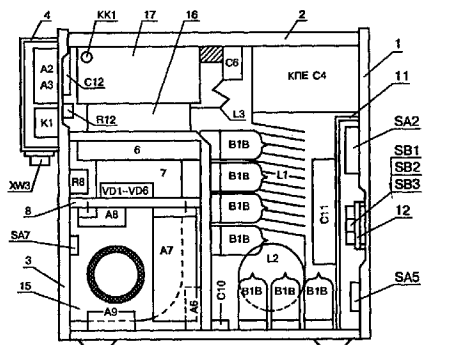


Рис. 16.2. Универсальная компоновка с релейным переключателем диапазонов

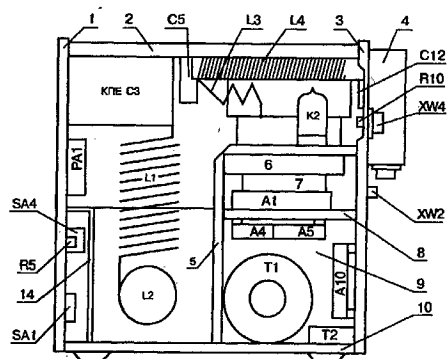
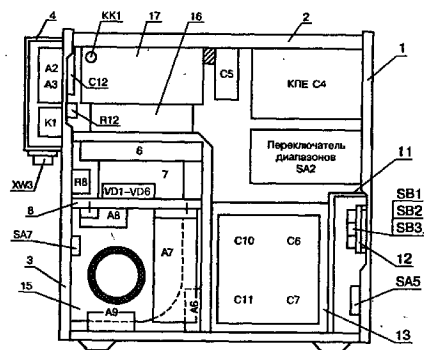


Рис. 16.3. Универсальная компоновка с механическим переключателем диапазонов

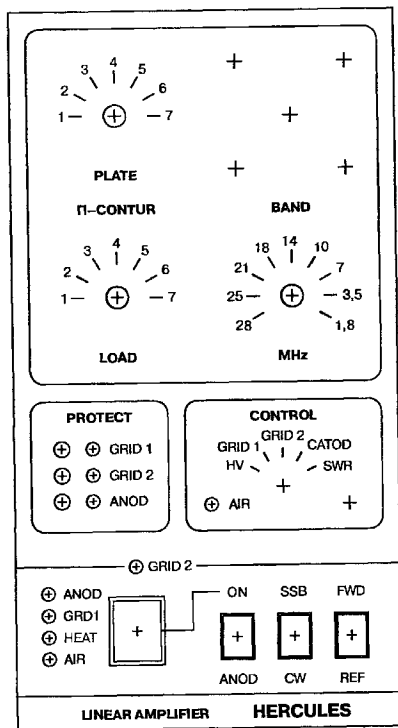


Рис. 16.4. Расположение органов управления на передней панели в вертикальном корпусе (рис. 16.1)

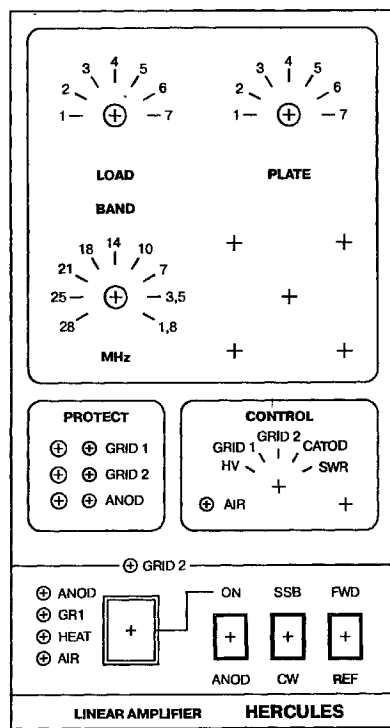


Рис. 16.5. Расположение органов управления на передней панели вертикального корпуса с универсальной компонентой (рис. 16.2, рис. 16.3)

ным узлом. Все печатные платы закреплены так, что обеспечивают удобный доступ при сборке, регулировке, диагностике, ремонте.

## 16.2. Конструкция корпуса и печатных плат

Габаритные размеры усилителя без выступающих частей составляют 178 × 332 × 330 мм. Для усилителя можно целиком использовать старый корпус MINITOWER. Но его применение сдерживается следующими факторами:

- корпус, в принципе, изготовлен не как ВЧ-отсек, поэтому затруднена качественная экранировка;
- оставляет желать лучшего механическая прочность;
- вызывают затруднения большое количество имеющихся отверстий.

Даже при преодолении всех этих препятствий внешний вид изделия будет, как говорится, «нефирменный».

Тем не менее, если требуется изготовить усилитель с минимальными затратами труда и средств, то наиболее просто использовать б/у корпус.

Автор книги использовал классический вариант корпуса, который состоит из передней и задней панели, соединенных:

- снизу — нижней панелью;
- сверху — двумя уголками.

Фактически от MINITOWER заимствованы только размеры, которые удобны для внутренней компоновки, и верхний П-образный кожух.

Базовые детали универсального корпуса для усилителя представлены на **рис. 16.7—16.14**. Печатные платы изображены на **рис. 16.15—16.20**.

**Примечание.** *Чертежи второстепенных деталей не приводятся, т. к. их размеры будут зависеть от применяемых комплектующих.*

В усилителе используются ряд нестандартных и малораспространенных деталей, которые могут иметь различные присоединительные размеры:

- КПЕ;
- постоянные конденсаторы П-контура;
- вентилятор;
- ламповая панелька и т. д.

Поэтому отверстия, предназначенные для них, на деталировке не показаны.

При изготовлении усилителя чертежи базовых деталей увеличиваются на копировальном устройстве до масштаба 1:1. Затем на них намечаются присоединительные отверстия под имеющиеся комплектующие детали.

На плате А1 предусмотрено место для реле, которое коммутирует катушку 1L1 в соответствии с **рис. 17.2**. На печатных платах А2—А10 обозначения деталей приведены без номеров блоков, чтобы не загромождать рисунки.

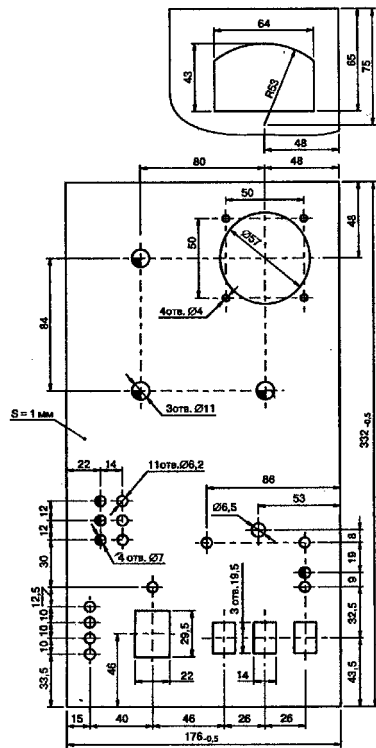


Рис. 16.7. Фальшпанель

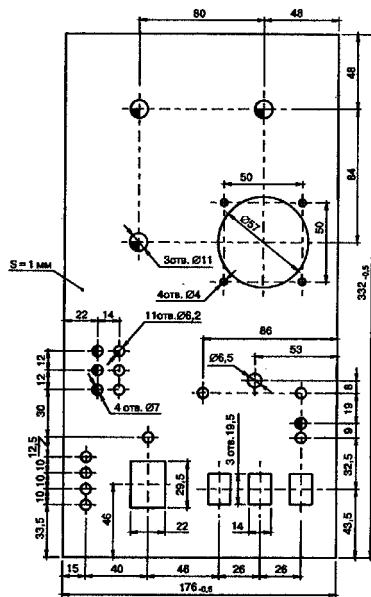


Рис. 16.7. Фальшпанель (продолжение)

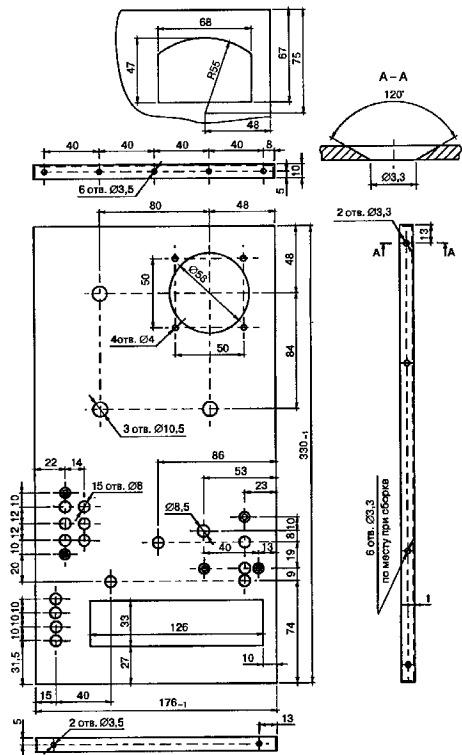


Рис. 16.8. Передняя панель

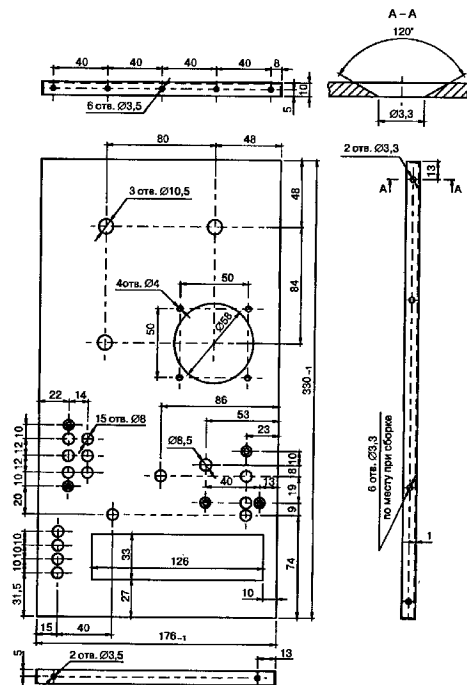


Рис. 16.8. Передняя панель (продолжение)



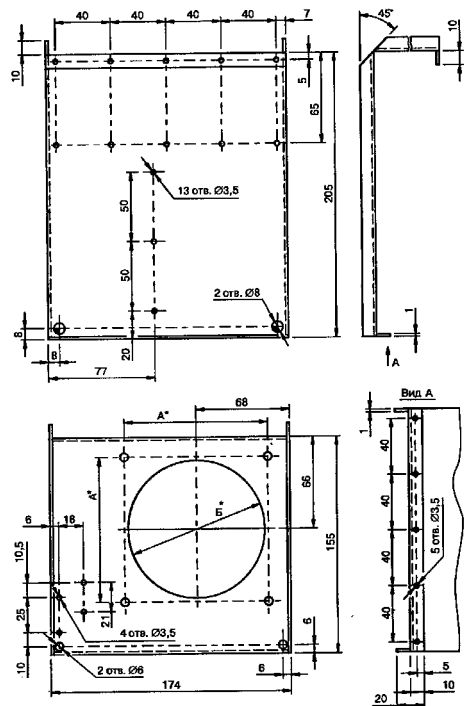


Рис. 16.11. Г-образная перегородка.

\*Присоединительные размеры А и Б зависят от типа применяемой панели

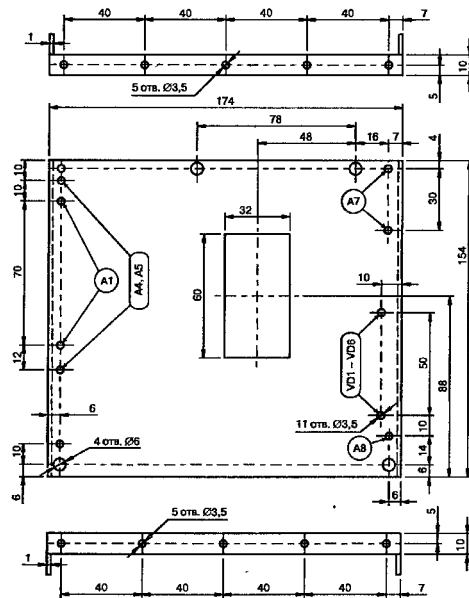


Рис. 16.12. Горизонтальная перегородка



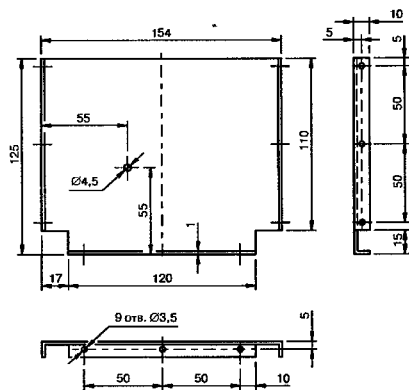


Рис. 16.13. Вертикальная перегородка

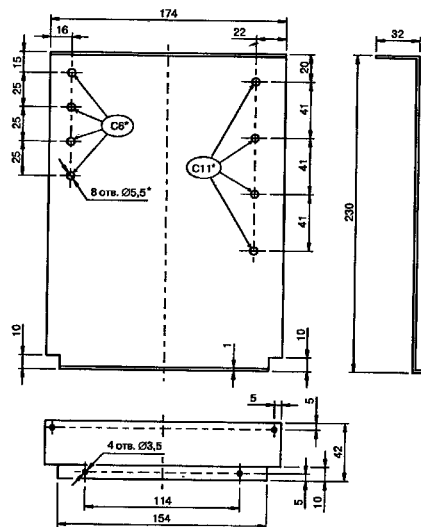


Рис. 16.14. Экранирующая перегородка (для компоновки на рис. 16.2), число и расположение отверстий зависит от числа и габаритов применяемых конденсаторов

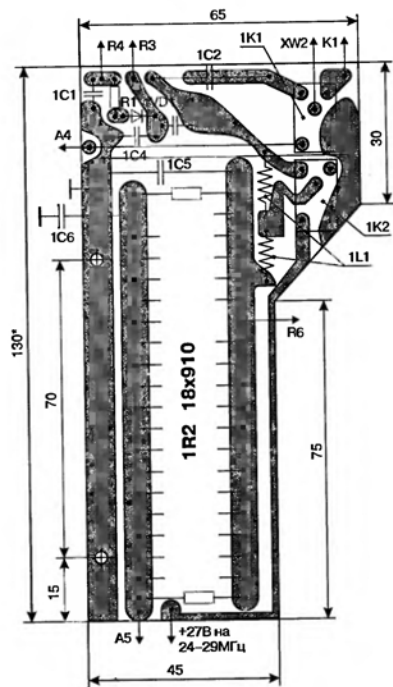


Рис. 16.15. Плата А1

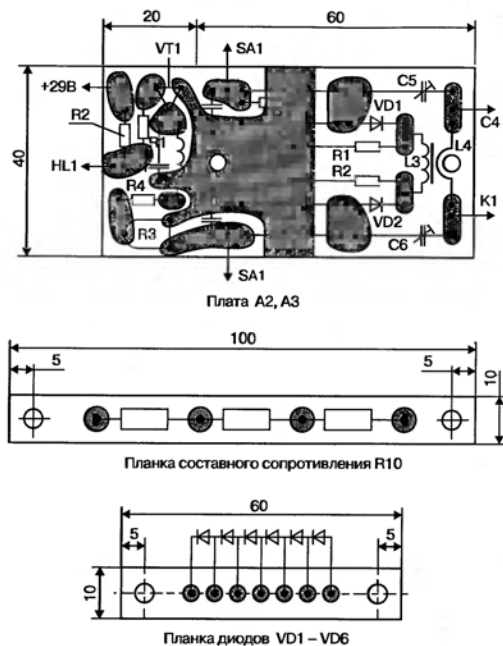


Рис. 16.16. Платы А2, А3, планки диодов VD4-VD9 и сопротивления R10

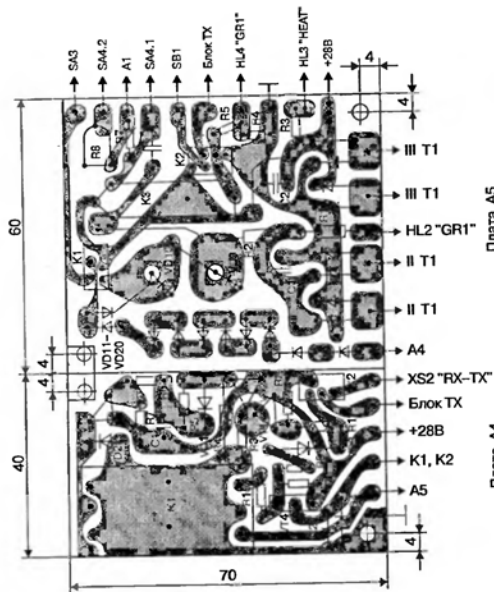


Рис. 16.17. Платы A4 и A5

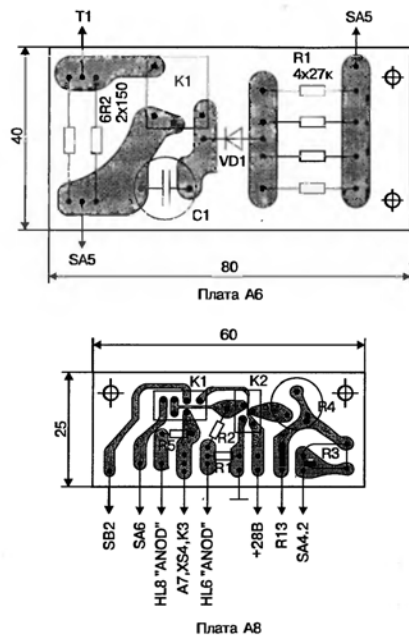


Рис. 16.18. Платы A6 и A8

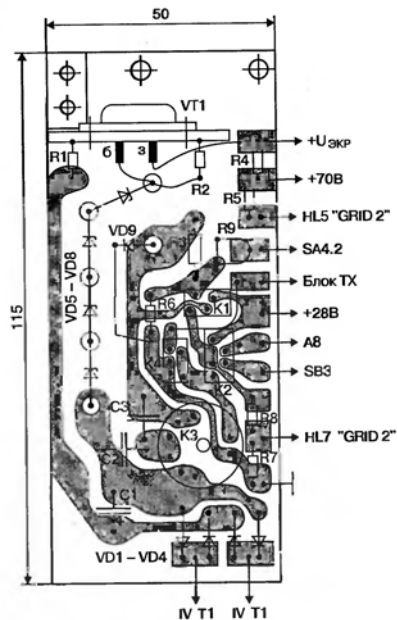
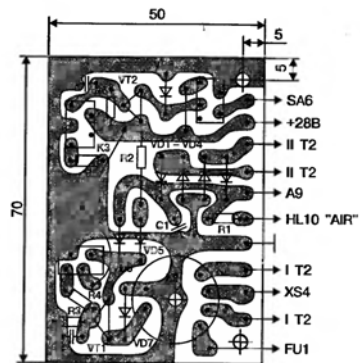
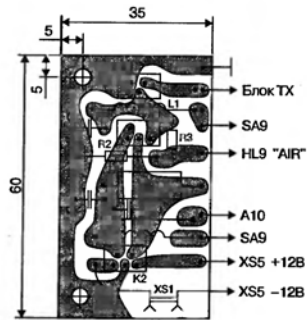


Рис. 16.19. Плата А7



Плата А10



Плата А9

Рис. 16.20. Платы А9 и А10

## 17. НАСТРОЙКА УСИЛИТЕЛЯ

**Внимание!** В усилителе мощности используется опасное для жизни высокое напряжение. Поэтому все регулировочные работы следует проводить в соответствии с правилами охраны труда [37].

**Внимание!** Для увеличения безопасности при регулировке усилителя с включенным анодным напряжением, следует к обмотке замыкателя К2 подключить мигающий красный светодиод и разместить его рядом с высоковольтными цепями.

### Необходимые контрольно-измерительные приборы

Для настройки усилителя приборами первой необходимости являются:

- 100-ваттный трансивер с КСВ-метром;
- 50-омный эквивалент нагрузки соответствующей мощности;
- тестер (обязательно с терморпарой);
- ВЧ-вольтметр.
- ГСС, если трансивер не «раскрыт на передачу».

После проверки источников питания приступают к наладке отдельных блоков.

### Плата А1

Расчет применяемого ФНЧ Чебышева 3-го порядка дан в главе 12. При настройке по минимуму КСВ подбирают

емкость конденсатора 1С5 в зависимости от входной емкости лампы. Если входная емкость  $\geq 120$  пФ, то конденсатор 1С5 не устанавливают.

Также по минимуму КСВ регулируют индуктивность катушки 1L1 посредством сжатия и растяжения ее витков. Параллельно емкостному делителю 1С3, 1С4 может потребоваться подключение дополнительной регулировочной емкости.

Указанный ФНЧ, как правило, обеспечивает КСВ  $\leq 1,5$ —2,0 в диапазоне до 30 МГц.

**Совет.** Если применяются лампы с большей входной емкостью (например, ГУ-84Б, ГУ-78Б, 2 × ГУ-74Б), то для уменьшения КСВ в диапазоне 24—29 МГц можно замыкать четыре витка катушки 1L1 контактами реле (рис. 17.1).

В качестве реле 1К2 можно применить, например, РЭС-34. При применении этой схемы обе части катушки 1L1 также регулируются по минимуму КСВ сжатием и растяжением витков. Схема (рис. 17.1) позволяет с лампами ГУ-84Б, ГУ-78Б иметь КСВ по входу  $\leq 1,5$  во всем КВ-диапазоне.

Величину управляющего напряжения АLC, получаемого с платы А1, регулируют в следующем порядке:

- соединяют экранированным проводом гнездо XS1 «ALC» усилителя с соответствующим гнездом трансивера;
- устанавливают движок регулятора R2 в верхнее по схеме положение;

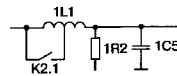


Рис. 17.1. Схема коммутации катушки входного ФНЧ

- в режиме «настройка» подают напряжения раскачки и увеличивают его до появления тока первой сетки;
- регулятором R2 добиваются исчезновения тока первой сетки. Эта регулировка устанавливает порог срабатывания ALC и проводят ее один раз (повторно ее делают при замене лампы).

### Плата А2

Величина отраженной мощности, при которой загорается светодиод HL1, регулируется резистором 2R3. В коллектор транзистора можно также включить реле, которое будет отключать усилитель при высоких значениях КСВ [24].

*Совет. Кнопку возврата удобно разместить под регулятором R5 на передней панели.*

Аналогичная защита применяется в фирменных усилителях [4]. Лампы, в отличие от транзисторов, не боятся высоких КСВ. Как указано в инструкции фирменного усилителя ETO 91B, автомат отключения при превышении КСВ предназначен для защиты кабеля [4]. Поэтому, если применяемый кабель обладает необходимым запасом электрической прочности, автомат отключения можно не применять.

### Плата А3

Величину КСВ определяют по выражению

$$КСВ = \frac{100 + U_{отр}}{100 - U_{отр}}, \quad (17.1)$$

где  $U_{отр}$  — напряжение отраженной волны, в % от напряжения прямой волны.

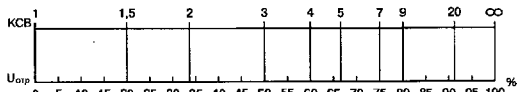


Рис. 17.2. Номограмма для определения КСВ

КСВ можно быстро определить при помощи номограммы, построенной по этой формуле.

Рисунок также можно использовать для построения шкалы КСВ-метра. Регулировки КСВ-метра целесообразно делать на диапазоне 14 МГц. В настройке прибора можно выделить четыре этапа.

**Этап 1.** К гнезду ХW2 подключают эквивалент сопротивления антенны. Переключатель SA1 переводят в положение измерения прямой волны «FWD» и переменным резистором R5 устанавливают стрелку прибора PA1 на конец шкалы. Затем переводят переключатель SA1 в положение измерения отраженной волны «REF» и, не трогая R5, подстроечником ЗС6 устанавливают нулевые показания PA1.

**Этап 2.** Меняют местами усилитель и нагрузку и повторяют вышеуказанный цикл, устанавливая на нуль стрелку прибора подстроечником ЗС5. Если КСВ-метр не балансируется, следует поменять местами концы обмотки ЗL3.

**Этап 3.** Повторяют указанные в 1 и 2 этапе операции, уточняя величины ЗС5 и ЗС6.

**Этап 4.** Проверяют показание КСВ-метра при других сопротивлениях нагрузки.

**Пример.** Если прибор настроен на сопротивление 50 Ом, то при подключении 75 Ом он должен показывать КСВ = 1,5, при 100 Ом — 2 и т. д.

Во время этой проверки может потребоваться незначительная корректировка подстроечника ЗС6.

**Примечание.** Если в трансивере имеется КСВ-метр, то делать его в усилителе уже нет необходимости. В этом случае вместо блоков 1 и 2 устанавливается индикатор выходного напряжения (рис. 17.3).

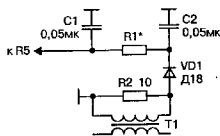


Рис. 17.3. Индикатор выходного напряжения

Трансформатор Т1 выполняется согласно данным для 3L3 и 3L4 в табл. 15.2. Резистор R2 шунтирует вторичную обмотку трансформатора для выравнивания выходного напряжения по диапазонам. Резистор R1 подбирается для полного отклонения стрелки прибора PA1.

#### Плата А4

В зависимости от времени переключения реле К1, К2 устанавливается время задержки для срабатывания реле 4К1. На нее влияют величины элементов 4R4, 4R5, 4R6, 4R7, 4C1.

При номиналах, указанных на схеме, задержка на включение 4К1 составляет 16 мс. Такая задержка необходима при использовании реле К1, К2 со временем срабатывания порядка 10—15 мс (например, РЭВ-14, РЭВ-15).

**Совет.** Если использовать быстродействующие антенные реле, задержку можно уменьшить до 5 мс, установив 4R6 = 7,5 кОм.

#### Блок А5

Напряжение, необходимое для запирающей лампы во время приема, зависит от ее крутизны S. Минус 120 В, указанные на схеме, достаточны для лампы с S = 50—60 мА/В. При большей крутизне может потребоваться увеличение напряжения.

**Внимание.** Наиболее важная операция — регулировка тока покоя радиолампы, который является главным фактором в обеспечении качества SSB сигнала.

Регулировка выполняется установкой напряжения смещения, подбором стабилитрона 5VD10 и установкой перемычки на диодах 5VD11—5VD20.

С ростом тока покоя увеличивается угол отсечки анодного тока и уменьшается уровень гармоник. Кроме того, основная «просадка» анодного напряжения происходит при переключении па передачу, а не в течение периода усиливаемых колебаний, что также способствует уменьшению искажений.

Рекомендуемый минимальный ток покоя для линейного усилителя в схеме с сообщим катодом составляет:

- ♦ для лампы ГУ-74Б 0,25 — 0,3 А;
- ♦ для лампы ГУ-43Б — 0,3 А;
- ♦ для ламп ГУ-73Б, ГУ-77Б, ГУ-78Б, ГУ-84Б — 0,5 А.

**Внимание.** Ток покоя должен обеспечивать работу с углом отсечки  $\psi \geq 90^\circ$ .

Минимально возможную величину  $\psi = 90^\circ$  определяют, получив экспериментальную зависимость уровня третьей гармоники от величины тока покоя. В соответствии с рис. 3.2 значение  $\psi = 90^\circ$  соответствует нулевому уровню 3-й гармоники.

**Совет.** Измерение удобно проводить на диапазоне 7 МГц, контролируя уровень 3-й гармоники вспомогательным приемником на диапазоне 21 МГц.

В приложении № 2 решения Государственной комиссии по радиочастотам от 26.09.2005 указана средняя мощность побочных излучений. В диапазонах до 30 МГц она должна быть ниже мощности основного излучения на 50 дБ, в диапазоне свыше 30 МГц — на 70 дБ. На эти данные следует ориентироваться при настройке.

Резистором 5R2 устанавливают ток стабилизации. Резистором 5R8 устанавливают ток полного отклонения стрелки прибора РА1 для первой сетки.

Ток срабатывания защиты первой сетки определяется током срабатывания реле 5K3 (примерно 4 мА). В режиме «настройка» увеличивают мощность раскачки до появления тока первой сетки (при отключенной ALC), и проверяют его значение при срабатывании защиты.

Для упрощения цепей первой сетки ее можно питать от делителя напряжения (рис. 5.3). Схема обеспечивает достаточную защиту от перекачки 100-ваттным трансивером, также удобнее регулировать ток покоя.

#### Плата А6

Время задержки при ступенчатом включении устанавливается конденсатором 6С1. При номиналах, указанных на схеме, она равна 3 с. Время разогрева нити накала для большинства ламп составляет 2—4 с (не путать с временем разогрева катода). Для конкретной лампы его можно определить экспериментально, используя амперметр в накальной цепи. Инерционность стрелки позволит измерить время разогрева накала с точностью до секунды.

Мощность сопротивления также определяется экспериментально. Например, для ламп ГУ-84Б, ГУ-78Б достаточно два включенных параллельно резистора МЛТ-2 по 150 Ом.

#### Плата А7

Суммарное напряжение стабилитронов должно быть не меньше номинального экранного напряжения, согласно табл. 17.1. Сопротивлением 7R2 устанавливают требуемый ток стабилитронов.

Ток срабатывания защиты  $I_{ЗАЦ}$  определяется по выражению:

$$I_{ЗАЦ} = kP_{C2max}/U_{C2} + I_{R8} \quad (17.2)$$

где  $P_{C2max}$  — максимально допустимая мощность, длительно рассеиваемая на 2-й сетке, Вт;

$U_{C2}$  — фактическое напряжение на второй сетке, В;

$k$  — коэффициент запаса по току,  $k = 1,1—1,5$  [19];

$I_{R8}$  — ток, идущий через резистор R8.

Максимально допустимые значения  $P_{C2max}$  и  $U_{C2}$  для радиоплам приведены в табл. 17.1.

**В авторском варианте** для ГУ-78Б, ГУ-84Б ток  $I_{ЗАЦ} = 130$  мА.

Применение коэффициента  $k$  обусловлено тем, что в паспортных данных уже заложен запас прочности [19]. После определения  $I_{ЗАЦ}$  регулировкой сопротивления 7R3 обеспечивают срабатывание схемы при расчетном токе. Затем проверяют ее работу в режиме короткого замыкания.

В качестве реле 7K3 использовано РЭС-9 с последовательным включением двух групп контактов. В течение трехлетней эксплуатации отказов не было.

Резистором 7R9 устанавливают ток полного отклонения стрелки прибора РА1 при измерении тока второй сетки.



Порядок подбора величины антидидантронного резистора R8 указан в **главе 7**. Если использовать величину сопротивления, указанную в паспорте радиолампы, то регулировки не требуется.

Справочные данные по генераторным радиолампам

Таблица 17.1

Радио-лампа	$R_{\text{вых}}^*$ Вт	$U_{\text{кн}}$ В	$I_{\text{кн}}$ А	$U_{\text{кв}}^*$ кВ	$I_{\text{кв}}^*$ А	$R_{\text{кв}}^*$ Вт	$U_{\text{ст. макс}}^*$ В	$P_{\text{ст. макс}}^*$ Вт	$U_{\text{сз. макс}}^*$ В	$P_{\text{сз. макс}}^*$ Вт
ГУ-50	60	12,6	0,7	1	0,12	40	-	1	250	5
ГУ-34Б	600	12,6	4	2	0,7	650	-100	1,5	500	15
ГУ-43Б	1600	12,6	6,6	3,3	1	1000	-200	5	500	28
ГУ-70Б	300	6	3,1	2	0,36	350	-150	2	400	8
ГУ-71Б	1300	12,6	6,1	3,5	1	1500	-100	3	400	32
ГУ-73Б	2500	26	4,8	3,2	2,2	2500	-150	5	300	35
ГУ-74Б	550	12,6	3,6	2	0,6	600	-150	2	300	15
ГУ-77Б	1500	27	3,1	2,2	2	1500	-200	3	300	25
ГУ-78Б	2600	27	4	3	2,2	2500	-150	1	300	30
ГУ-82Б	600	12,6	3,8	2	0,8	1000	-150	1	375	15
ГУ-84Б	1500	27	3,7	2,2	2	2500	-150	1	375	30
ГС-35Б	1500	12,6	3	3	1,1	1500	-400	26	—	—

#### Проверка автомата защиты экранной сетки по току в режиме ТХ

Автомат защиты экранной сетки проверяют при заходе в перенапряженный режим. Для этого на диапазонах 14—28 МГц, где есть запас емкости С4 (рис. 15.4), настраивают П-контур по максимальной мощности. Затем постепенно увеличивают емкость С4 и одновременно уменьшают С3, чтобы сохранить настройку П-контра. При этом ток экранной сетки будет увеличиваться до срабатывания защиты.

Наиболее сильный перенапряженный режим происходит при работе усилителя с настроенным в резонанс П-контуром без нагрузки. Отсоединив антенный кабель, в режиме «настройка» увеличивают мощность раскачки от нуля. Ток экранной сетки должен расти до срабатывания защиты.

Затем проводят проверку при отключенном анодном напряжении. Для этого при включенном тумблере SA6 отключают анодный блок питания от сети, в режиме «настройка» также увеличивают мощность раскачки от нуля, и контролируют срабатывание защиты.

**Примечание.** Во время настройки и эксплуатации усилителя в релейных предохранительных схемах первой и второй сетки не было ни одного отказа, и они показали себя только с положительной стороны.

#### Плата А8

**Внимание.** Ток срабатывания защиты не должен превышать максимальный ток катода (см. табл. 17.1).

Ток срабатывания защиты регулируют резистором SR4, подавая на гнездо ХW4 напряжение от +20 В до -30 В. После установки тока срабатывания проверяют схему защиты в режиме короткого замыкания при полном анодном напряжении.

**Совет.** Для надежной работы замыкателя В1В необходимо последовательно с ним включать ограничительное сопротивление (R33 на рис. 9.4) величиной 30—50 Ом и плавкий предохранитель на ток 3 А — медную проволоку  $\varnothing$  0,15 мм (табл. 9.1).

В авторском варианте эти элементы расположены во внешнем анодном блоке питания (схема на рис. 9.4). Но их можно разместить и в корпусе усилителя.

При  $U_A = 3200$  В, емкости в выпрямителе 20 мкФ, ограничительном сопротивлении 36 Ом и медной плавкой вставке

Ø 0,15 мм отказов в работе В1В за несколько десятков срабатываний не было.

**Совет.** Чтобы еще больше повысить надежность системы, можно применить последовательное включение двух В1В или установить более мощный замыкатель В2В.

Подстроечным резистором 8R3 устанавливают ток полного отклонения стрелки прибора РА1 при измерении тока катода.

Максимальный ток анода при номинальных питающих напряжениях и граничном режиме определяется крутизной анодно-сеточной характеристики (АХС) лампы.

Лампы с большей крутизной «заходят в правую часть» (когда появляется ток 1-ой сетки) при большей величине анодного тока. Соответственно, при тех же питающих напряжениях больше выходная мощность.

Измеренные величины крутизны АХС и выходной мощности должны указываться заводом-изготовителем в паспорте радиолампы. Значения крутизны по техническим условиям для металлокерамических тетродов находятся в широких пределах. Например, для ГУ-84Б S = (50—90) мА/В. Поэтому максимальный ток анода (и выходная мощность усилителя), в зависимости от крутизны применяемой лампы, также будет значительно отличаться.

#### Проверка автомата защиты анода по току в режиме TX

Настраиваем П-контур усилителя на диапазоне 14 МГц. Затем в трансивере включаем диапазон 7 МГц, устанавливаем мощность 100 Вт и отключаем «ALC». При подаче телеграфной точки должен срабатывать автомат защиты на плате А8.

#### Плата А9

Величина сопротивления 9R1 должна обеспечивать срабатывание реле 9K1 при минимальных оборотах электродвигателя.

После проверки работы вентилятора необходимо определить эффективность охлаждения лампы. Для этого измерять ее максимальную температуру при различных режимах работы усилителя.

**Внимание.** Наиболее нагретая точка находится на верхней внутренней поверхности радиатора (ее расположение указано на рис. 14.10).

Максимально допустимая рабочая температура для металлокерамических ламп равна 200 °С, для металлоглазанных — 150 °С.

В табл. 17.2 приведены результаты испытания системы охлаждения при использовании лампы ГУ-84Б [23].

Испытания каскада проведены на диапазоне 14 МГц на эквивалент нагрузки сопротивлением 50 Ом. Анодное напряжение под нагрузкой 2200 В, ток анода при настроенном контуре 1,0 А, ток локоя 0,4 А. На вентилятор подавалось напряжение 5 В (42 % от номинального рабочего напряжения), при котором его работа с включенным динамиком не прослушивается. Окружающая температура составляла 21 °С. Температуру измеряли тестером М-838 с помощью термолпары через отверстия вентиляционной решетки над лампой при кратковременном отключении анодного напряжения.

Максимальная температура лампы  
при испытании системы охлаждения

Таблица 17.2

Вид излучения	Непрерывный			CW (CQ)			SSB (CQ)		
	3	5	3	6	10	3	6	10	
Время работы, мин	—	—	105°С	134°С	147°С	130°С	152°С	167°С	
Режим работы	QSK	—	—	—	—	203°С	—	—	
	TX	187°С	221°С	192°С	—	—	—	—	

Измерения проводились при непрерывном излучении, в режиме QSK и в режиме TX (в паузах через лампу идет ток покоя).

Из табл. 17.2 следует, что в режиме TX время передачи CW и SSB сигналов не должно превышать 3 мин. В режиме QSK лампа может работать неограниченное время с любым видом излучения.

Измерения показывают преимущество QSK. Теплообразование, в зависимости от вида модуляции и величины паузы между словами, уменьшается в 2—3 раза. При трехминутной передаче с SSB модуляцией в режиме TX максимальная температура лампы достигла 203 °С, а в режиме QSK — только 130 °С.

Температура ламп ГУ-84Б и ГУ-78Б с током покоя 0,5 А также измерена при работе SSB в эфире. Даже без использования QSK она не превышала 140 °С.

При реальной работе в эфире во время приема лампа быстро охлаждается. Поэтому данная система охлаждения даже при 5-вольтовом питании вентилятора имеет запас по подаче воздуха, который позволит установить требуемый для качественного сигнала ток покоя.

Испытания данной системы охлаждения показали, что вентилятор DB12032V12H [49] может быть использован для любых обдуваемых ламп с диаметром анода до 110 мм.

Датчик КК1 должен срабатывать при температуре анода 190—200 °С. Его регулировка производится перемещением в соответствующую точку температурного поля над радиолампой при минимальной скорости вентилятора. При повышенной скорости вентилятора датчик сработает при меньшей температуре анода, т. к. теплопередача от лампы зависит от расхода воздуха. Порядок регулировки изложен в разд. 15.7.

В качестве кронштейна термодатчика удобно использовать медную проволоку Ø1,5 мм. Такое крепление обеспечивает минимальный теплоотвод от датчика и одновременно удобство его перемещения и фиксации.

В процессе эксплуатации скорость и шум вентилятора регулируют переключателем SA7. Если для выбранного режима работы скорость вентилятора оказалась недостаточной, то контакты КК1 термодатчика заблокирует режим TX. После этого оператор должен увеличить обдув, переключив SA7.

### Плата А10

Сначала проверяют закрытое состояние транзисторов 10VT1 и 10VT2 при замкнутых конденсаторах 10C2 и 10C3. Затем проверяют срабатывание реле 10K2 и 10K4 при замкнутых резисторах 10R4 и 10R6.

Время задержки в таймере разогрева устанавливается элементами 10R6, 10C3. В таймере охлаждения — 10R3 и 10C2.

В качестве реле 10K2 использовано РЭС-9. За время эксплуатации произошел один отказ этого реле, очевидно, в данных условиях оно не имеет большого запаса прочности.

*Совет. Для повышения надежности таймера можно применить распространенные сейчас импортные реле с соответствующими коммутационными параметрами.*

### Анодный дроссель L4

При изготовлении дросселя по описанию возможны отступления от конструкции. Поэтому после установки в усилитель необходимо проверить его частоты последовательного резонанса (в дальнейшем — резонанса).

Дроссель, установленный в усилитель, можно проверить следующими способами.

**Способ 1.** От анода отсоединяют П-контур и присоединяют милливольтметр. На вход выключенного усилителя подают 3—5 Вт от «раскрытого» трансивера и получают АЧХ дросселя. На рис. 17.4 приведена полученная таким образом

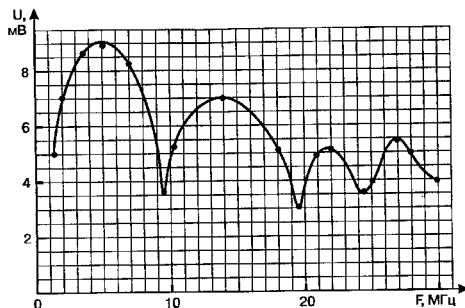


Рис. 17.4. АЧХ анодного дросселя с отсоединенным П-контуром

АЧХ дросселя, изготовленного в соответствии с табл. 15.2. На характеристике видны три частоты последовательного резонанса: 9,55 МГц; 19,10 МГц; 24,45 МГц.

Для определения их влияния к аноду (не отсоединяя милливольтметр) подсоединяют П-контур и проверяют возможность его настройки на ближайших точках рабочих диапазонов (10,1 МГц; 18,3 МГц; 21,0 МГц и 24,95 МГц). Если П-контур в этих точках сохранил свои резонансные свойства, значит резонансы дросселя уже далеко и не оказывают влияния.

После этой предварительной проверки включают усилитель на передачу и, постепенно увеличивая мощность, контролируют температуру дросселя. Если она выше 30—40 °С, то резонанс дросселя все таки слишком близко. Тогда изменяем число витков, чтобы «отодвинуть» резонанс.

**Способ 2.** При отсутствии милливольтметра на вход усилителя подают минимально возможный сигнал и по индикатору выхода проверяют возможность настройки П-контура на всех

диапазонах. Если П-контур «четко» настраивается — далее проверяют температуру дросселя как в предыдущем случае. Если в какой-то точке П-контур не настраивается, значит на этой частоте у дросселя последовательный резонанс и необходимо регулировать число витков.

**Способ 3.** Влияние дросселя также можно проверить по уменьшению ненагруженной добротности  $\Delta Q_{др}$  П-контура. При присоединении дросселя к П-контуру его добротность не должна существенно снижаться. В табл. 17.3 даны результаты такого измерения для дросселя, изготовленного в соответствии с табл. 15.2. Добротность измерялась по методике изложенной в главе 10 (формула 10.18).

Из табл. 17.3 следует, что уменьшение добротности  $\Delta Q_{др}$  П-контура имеет наибольшее значение на частотах 7,1 МГц, 18,2 МГц и 21,2 МГц. Оно приводит к незначительному уменьшению КПД П-контура на 0,7—1,0 %.

На диапазонах 7 МГц, 18 МГц и 21 МГц температура дросселя проверена особо внимательно. При  $U_a = 3200$  В она находилась в пределах 30 °С.

**Общее правило для дросселя:** чем толще провод, тем «острее» резонансы и их легче «разместить» между диапазонами. С тонким проводом резонансы «широкие», их края заходят на рабочие участки, вызывая нагрев и межвитковые замыкания.

Установлено, что при  $U_a = 3200$  В и мощности 1 кВт диаметр провода ПЭЛ дросселя должен быть  $\geq 1,0$  мм.

Добротность П-контура без дросселя и при подсоединенном дросселе

Таблица 17.3

Частота, МГц	$Q_{дл}$ с дросселем	$Q_{дл}$ без дросселя	$\Delta Q_{др}$ , %
1,9	158,3	172,7	8,3
3,65	195,3	202,1	3,4
7,1	189,2	211,3	10,5
10,1	241,2	249,5	3,3

Таблица 17.3 (продолжение)

Частота, МГц	Q <sub>дл</sub> с дросселем	Q <sub>кх</sub> без дросселя	$\Delta Q_{дл}$ , %
14,1	188,0	192,5	2,3
18,2	206,4	250,0	17,4
21,2	181,8	208,2	12,7
25,0	228,7	241,8	7,5
28,5	189,6	198,5	4,4

Очевидно, при использовании провода в шелковой изоляции, его диаметр можно уменьшить. Например, в [33] рекомендуют использовать провод ПППК-0,44. Но широкое применение указанных проводов сдерживает их дефицитность. А провода ПЭЛ и ПЭВ общедоступны. И зачастую легче смириться с увеличенными габаритами дросселя, намотанного толстым проводом, чем разыскивать дефицит.

Изложенная методика проверки дросселя показывает всю сложность выполнения параллельной схемы питания анода. Поэтому если нет ограничения по габаритам, многие конструкторы предпочитают последовательную схему питания анода и КПЕ с увеличенным зазором.

### П-контур

Настройка достаточно подробно изложена в главе 10. Если имеется «раскрытый на передачу» фирменный трансвер, то измерение резонансной частоты, а также ненагруженной добротности, упрощается, и схема на рис. 10.2 не потребуется.

К трансверу подсоединяется нагрузочное сопротивление и устанавливается выходная мощность 5 Вт. Милливольтметр подключается к аноду. Для его работы достаточно поднести нагрузку трансвера к П-контур на расстояние 0,5—1,0 м.

Особо следует остановиться на методике регулировки отвода от катушки П-контра диапазона 28 МГц.

**Совет.** Для получения минимально возможной нагруженной добротности настройка на максимальной частоте диапазона должна производиться при минимальной емкости анодного КПЕ.

Если необходимая для отвода точка катушки оказалась с противоположной от переключателя стороны, то длинная соединительная шина работает как +0,5 витка или -0,5 витка, и регулировка делается невозможной. В таком случае отвод делают от ближайшей к переключателю точки катушки, а сам отвод сворачивают в маленькую одновитковую катушку, которая добавляет (или уменьшает) необходимую индуктивность.

**Второй вариант** — поместить эту добавочную «регулирующую» катушку между основной катушкой П-контра и анодным КПЕ.

**Третий вариант** — использовать с этой целью катушку L3 антипаразитного дросселя.

Чтобы оценить изготовленной П-контур, необходимо измерить его добротность (формула 10.18) и КПД (формула 10.4) по методике, изложенной в главе 10. Для оценки влияния размеров корпуса MINTOWER измерения сделаны с открытым и закрытым корпусом (табл. 17.4 и табл. 17.5).

Как следует из табл. 17.4 при закрытом корпусе наибольшее снижение добротности  $\Delta Q_{конт}$  произошло на частотах 1,8 МГц и 3,6 МГц (28,3 % и 22,3 % соответственно). Причина, очевидно, в том, что катушки этих диапазонов расположены наиболее близко от стенок. Снижение добротности привело к уменьшению КПД на этих диапазонах на 1,9 % и 1,5 % (табл. 17.5).

На других частотах уменьшение КПД П-контра составило 0,5—1 %. Здесь влияния закрытого корпуса менее выражено из-за меньших размеров катушки и большей ее отдаленности от стенок. Уменьшение КПД П-контра при закрытии корпуса типа MINTOWER незначительное.

Измерения показали, что значения ненагруженной добротности  $Q_{xx} > 150$  на всех, кроме 1,8 МГц, диапазонах и соответствует рекомендациям [8]. На диапазоне 1,8 МГц  $Q_{xx} = 113,5$  и также находится в допусаемых пределах.

Добротность П-контура при открытом и закрытом корпусе

Таблица 17.4

Диапазон, МГц	$Q_{xx}$ с открытым корпусом	$Q_{xx}$ с закрытым корпусом	$\Delta Q_{xx}$ , %
1,8	158,3	113,5	28,3
3,6	195,3	151,8	22,3
7,0	189,2	159,3	15,8
14	188,0	168,5	10,3
21	181,8	166,1	7,5
28	189,6	178,2	6,0

КПД П-контура при открытом и закрытом корпусе

Таблица 17.5

Диапазон, МГц	$Q$	КПД с открытым корпусом	КПД с закрытым корпусом	$\Delta$ КПД, %
1,8	7,5	0,953	0,934	1,9
3,6	10,2	0,949	0,934	1,5
7,0	10,5	0,944	0,934	1
14	12,1	0,936	0,929	0,7
21	16,9	0,907	0,901	0,6
28	22,0	0,884	0,877	0,7

Из табл. 17.5 следует, что в диапазоне 1,8 МГц нагруженная добротность  $Q = 7,5$  ниже рекомендованных 10–15 [8]. Величина гармоник пропорциональна  $Q$  (табл. 10.1). При  $Q = 7,5$  она в 1,33 раза или на 2,5 дБ больше, чем при  $Q = 10$ , что не так уж много.

Тем не менее, величину второй гармоники, если она мешающая, можно уменьшить двумя путями.

**Во-первых**, увеличить габариты корпуса, например, использовать габариты MINITOWER. **Во-вторых**, кабель антенны

на 160 м подключить через ФНЧ Чебышева 3-го порядка. Подавление второй гармоники (рис. 12.3) возрастет минимум на 9 дБ, суммарное подавление второй гармоники будет больше, чем при  $Q = 15$ .

В общем случае низкодобротный П-контур + ФНЧ лучше, чем высокодобротный одиночный П-контур, т. к. подавление гармоник и КПД выше, а перестройки внутри диапазона не требуется. Поэтому второй вариант более предпочтительный.

На диапазонах 3,5–14 МГц нагруженная добротность  $Q = 10,2015112,1$  и соответствует рекомендациям [8].

В диапазонах 21 и 28 МГц нагруженная добротность  $Q = 17$ –22 из-за большой емкости П-контура даже при выведенном роторе анодного КПЕ. Уменьшить эту емкость и связанную с ней добротность достаточно трудно. Легче применить переключатель диапазонов, который выдержит ток при высокой добротности.

**Внимание.** Основную опасность большая нагруженная добротность  $Q$  представляет для замыкателей В1В в переключателе диапазонов.

При мощности  $P \geq 1$  кВт и  $Q > 15$  их надежность, особенно, на ВЧ-диапазонах, значительно снижается. Если в режиме непрерывного излучения температура «горячих» (т. е. обращенных к катушке) контактов быстро достигает 70–90 °С, то для настройки П-контура следует использовать телеграфные точки. Снижение среднего тока в 2 раза позволит проводить сеансы настройки необходимой длительности. Также для повышения надежности переключателя можно использовать в диапазонах 21–28 МГц более мощные замыкатели В2В.

### Переключатель диапазонов

Для проверки качества переключателя следует использовать следующие оценочные параметры:

- снижение добротности  $\Delta Q_{\text{кх}}$  П-контура при включении переключателя для коммутации отвода «28 МГц» по сравнению с неразъемным соединением (параметр  $\Delta Q_{\text{кх}}$  необходим для оценки любых конструктивных решений в П-контуре);
- температура контактов при работе непрерывным излучением в течение заданного времени (например, от 5 до 60 с).

В табл. 17.6 представлены результаты сравнительной оценки переключателя (рис. 11.2), нового вакуумного замыкателя В1В и б/у реле от РСБ-5 (реле «хлопушки»).

Добротность измерялась по методике, указанной в главе 10 (формула 10.18). Базой для сравнения взята добротность П-контура при неразъемном соединении. Температура измерялась тестером М838 с термопарой на диапазоне 28 МГц при выходной мощности 1 кВт и нагруженной добротности П-контура, равной 22.

Из табл. 17.6 следует, что при установке вместо неразъемного соединения переключателя добротность снизилась на 2,6 %, при установке В1В — на 9 %, и при установке реле от РСБ-5 — на 32 %.

«Холодные» измерения показали преимущества механического переключателя, которые затем подтвердились при измерении температура контактов. Она на 10—16 % ниже, чем у В1В и в 2,2 раза ниже, чем у реле.

При указанных коммутационных параметрах б/у реле от РСБ-5 практически не работоспособно. Замыкатель В1В сможет работать с короткими сеансами настройки а также в SSB и CW режимах. При  $t > 100^\circ\text{C}$  его надежность значительно снижается. Температура «отпуска» подвижных контактов в

механическом переключателе не менее  $300^\circ\text{C}$ , поэтому он наиболее надежен.

В переключателе для коммутации отводов катушки на диапазонах 14—28 МГц можно использовать две группы контактов (вторая группа — SA1.3, которая на этих диапазонах не задействована, см. рис. 11.1). При удвоении числа контактов переключатель сможет работать с удвоенной мощностью.

Результаты измерения  $Q_{\text{кх}}$  П-контура и температуры контактов в переключателях диапазонов на частоте 28 МГц

Таблица 17.6

Вид соединения и коммутации	$Q_{\text{кх}}$	$\Delta Q_{\text{кх}}$	Температура контактов при работе непрерывным излучением в течение заданного времени			
			5 с	15 с	30 с	60 с
Неразъемное соединение	208,3	—	—	—	—	—
Трехконтатный переключатель (рис. 11.2)	202,7	2,6%	$37^\circ\text{C}$	$46^\circ\text{C}$	$57^\circ\text{C}$	$91^\circ\text{C}$
Замыкатель В1В новый	189,6	9,0%	$39^\circ\text{C}$	$50^\circ\text{C}$	$63^\circ\text{C}$	$108^\circ\text{C}$
Реле б/у от РСБ-5	140,8	32,4%	$61^\circ\text{C}$	$162^\circ\text{C}$	—	—

В режиме CW и особенно SSB тепловая нагрузка на контакты в 3—5 раз меньше. Для настройки обычно хватает 5—10 с. Из результатов испытаний переключателя следует, что температура контактов не будет превышать  $46^\circ\text{C}$ .

**Примечание.** Измерения показали преимущества механического переключателя, подтверждением которых является их использование во всех без исключения фирменных усилителях. В механическом переключателе легче обеспечить необходимое усилие прижатия контактов.

В данном переключателе (рис. 11.2) для упрощения конструкции не замыкаются неработающие отводы катушки. Поэтому для исключения искрения расстояния между контактами должно быть достаточно большим. С указанными на рис. 11.3 размерами искрение при  $U_a = 3200\text{ В}$  не наблюда-

лось. При меньших габаритах переключателя для устранения искрения может потребоваться замыкание «7 МГц» отвода катушки П-контура, например с помощью В1В.

### Антипаразитный дроссель L3-R7

Резистор R7 предназначен для подавления УКВ-генерации. Он уменьшает добротность в «паразитном» УКВ-контуре образованном выходной емкостью лампы и элементами, соединяющими анод и КВ-контур. Катушка L3 необходима для беспрепятственного пропускания КВ-частот, минуя R7, и фактически является частью катушки КВ П-контура. Для УКВ-колебаний путь через безиндукционный резистор R7 представляет меньшее сопротивление, чем через L3. Поэтому имеющиеся УКВ-частоты поступают в R7 и в нем рассеиваются, при этом сопротивление греется.

Если индуктивность L3 выбрать слишком большой, то на верхних КВ-диапазонах она представит также существенное сопротивление, и резистор R7 будет перегреваться даже при отсутствии УКВ-колебаний. Практически индуктивность дросселя L3 выбирают такой, чтобы безиндукционный резистор величиной 100 Ом и мощностью 0,5—1,0 % от выходной мощности на частоте 29 МГц не перегревался. При мощности 1 кВт L3 обычно содержит 0,5—1,0 витка Ф 20—30 мм из медной шины шириной 6—8 мм.

В литературе встречаются публикации по успешному применению высокоомных материалов (например, нихрома) при намотке антипаразитного дросселя. В диапазоне 21—28 МГц дроссель является существенной частью катушки П-контура. Следствием применения нихрома является заметное снижение ненагруженной добротности и КПД П-контура на этих частотах.

Особенно сильное снижение КПД происходит в диапазоне 28 МГц, т. е. в дополнение к указанным явлениям там имеется

высокая нагруженная добротность ( $Q = 15—25$ ). Поэтому нихромовые антипаразитные дроссели можно успешно применять только на частотах до 14 МГц.

Одним из способов выявления паразитной УКВ-генерации является сравнение нагрева резистора R7 в диапазонах НЧ и 21—28 МГц. При частотонезависимой входной цепи УКВ-генерация не зависит от выбранного диапазона. Если она есть, то резистор R7 будет греться независимо от частоты. Если на НЧ-диапазонах R7 холодный, а нагрев только на 21—28 МГц, то УКВ-генерации нет. Здесь нагрев обусловлен индуктивным сопротивлением дросселя L3 на верхних КВ-частотах.

Проверив по вышеуказанному принципу отсутствие паразитной УКВ-генерации, можно отказаться от дросселя L3.

При отказе от цепочки L3—R7 необходимо заново подобрать отвод от катушки П-контура на частотах 21—28 МГц. Чтобы не выполнять эту трудоемкую операцию, следует отсоединить только сопротивление R7, а катушку L3 оставить. Ее можно использовать как дополнительный «регулятор» отвода на «28 МГц», как это было указано выше.

При параллельном соединении двух ламп аноды вместе с соединяющим их проводником образует геометрическую фигуру, подобную 0,5 витка катушки индуктивности. Высокодобротный контур, образованный этой «катушкой» и выходной емкостью ламп, имеет резонанс в УКВ-диапазоне. Поэтому при использовании двух ламп УКВ-генерация теоретически более вероятна. Если в каскаде только одна лампа, то при правильном монтаже УКВ-генерация, как правило, не возникает.



1. AL-572 LINEAR AMPLIFIER. Instruction Manual. Starkville, Ameritron, 1983. — С. 36.
2. AMERITRON AL-572572 LINEAR AMPLIFIER. Instruction Manual. Starkville, Ameritron, 1983. — С. 36.
3. Handbook. 1986.
4. HF LINEAR AMPLIFIER ETO 91B. User's manual. — Colorado Springs, ETO INC. — 1999. — С. 15.
5. HF LINEAR POWER AMPLIFIER ETO 91B. User's manual. — Colorado Springs: ETO INC. — 1999. — С. 15.
6. TL-922 LINEAR AMPLIFIER. Service Manual. — Tokyo, Kenwood Corporation. — 1989. — С. 28.
7. Бунин С. Г. Справочник радиолобителя-коротковолновика / С. Г. Бунин, Яйленко Л. П. — К.: Техника. — 1984. — 264 с.
8. Бунин С. Г. Техника любительской однополосной радиосвязи / С. Г. Бунин, Яйленко Л. П. — К.: Издательство ДОСААФ. — 1970. — 294 с.
9. Вентилятор ВВФ-112-2,5-12. Паспорт.
10. Вентилятор ВН-2. Паспорт.
11. Верховцев О. Г. Практические советы мастеру-любителю / О. Г. Верховцев, К. П. Лютов. — СПб.: Энергоатомиздат, 1991. — 194 с.
12. Гольдонберг М. Выходные октавные фильтры передатчиков / Гольдонберг М. // Радиолобитель КВ и УКВ. — 1997. — №1. — С. 62.
13. Гончаренко И. Легкий и мощный PA // Радиолобитель. КВ и УКВ. — 1999. — №2. — С. 19—21.
14. Григоров И. Н. Антенны. Настройка и согласование — М.: РадиоСофт. 2002. — 270 с.
15. Дрочков А., Кляровский В. Фильтры нижних частот для подавления гармоник // Радиомир КВ и УКВ. — 2007. — №4.
16. Дроздов В. В. Любительские КВ трансиверы. — М.: Радио и связь. — 1998. — 176 с.
17. Жомов Ю. Автоматика для клубных радиостанций / Ю. Жомов, Б. Рыжавский // Радио. — 1979. — №4. — С. 34.
18. Калинушкин М. П. Вентиляторные установки. — М.: Высшая Школа. — 1967.
19. Канцельсон Б. В. Электровакуумные, электронные и газоразрядные приборы. Справочник / Б. В. Канцельсон, А. М. Калугин, С. А. Ларионов. — М.: Радио и связь. — 1985. — 864 с.
20. Кляровский В. А. Переключатель диапазонов для усилителя мощности / В. А. Кляровский // Радио. — 2005. — № 1. — С.65—66.
21. Кляровский В. А. Системы воздушного охлаждения генераторных ламп / В. А. Кляровский // Радио. — 2003. — №11. — С. 65—67.
22. Кляровский В. А. Усилитель мощности КВ / В. А. Кляровский // Радио. — 2001. — № 8. — С. 64—65.
23. Кляровский В. А. Охлаждение радиолампы усилителя мощности / В. А. Кляровский // Радио. — 2006. — №6. — С.71.
24. Кляровский В. А. Современный усилитель мощности КВ диапазона / В. А. Кляровский // Радио. — 2003. — №3. — С. 62—64.
25. Кляровский В. А. Усилитель мощности RA1WT / В. А. Кляровский // Радиомир КВ и УКВ. — 2007. — №8. — №11.
26. Кляровский В. А., RA1WT. Усилитель мощности в универсальном корпусе. — // Радиомир КВ и УКВ. — 2007. — №3.
27. Кроцакевич В. Блок питания усилителя мощности /В. Кроцакевич// Радио. — 1977. — №6. — С. 47.
28. Кузменко А. Расчет нагрузки ламповых усилителей мощности. / А. Кузменко// Радиолобитель КВ и УКВ. — 1999. — №5. — С. 20—21.
29. Кузменко А. Упрощенный расчет сопротивления нагрузки усилителя мощности /А. Кузменко// Радиолобитель КВ и УКВ. — 2000. — №7. — С. 22.
30. Лампа ГУ-74Б. Паспорт.
31. Лампа ГУ-78Б. Паспорт.
32. Лампа ГУ-84Б. Паспорт.
33. Лаповок Я. С. Киловатт на ГК-71 / Я. С.Лаповок // Радио. — 2006. — №10. — С. 66—68.
34. Латыщенко В. Автоматический PA для CONTESTS /В.Латыщенко// КВ-журнал. — 1995. — №1. — С. 27.
35. Линде Д. П. Радиопередающие устройства / Д. П. Линде. — М.: Энергия, 1974. — 172 с.

36. *Логинов И. А.* Антенный переключатель UA1XN // И. А. Логинов // М.: Радиодизайн. — №18. — 2003. — С. 82—83.
37. Межотраслевые правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. — М.: Компзлит. — 2001. — 184 с.
38. Патент 41937 Российской Федерации, МПК U1 7 H 03 F 3/20. Усилитель мощности для радиостанций / *Кляровский В. А.* — №2004103967/22. Заявл. 12.02.2004; опубл. 10.11.2004.
39. *Ред. Э.* Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике / Э. Ред. — М.: Мир. — 1990. — 256 с.
40. *Сафонов С.* Мощный бестрансформаторный блок питания / С. Сафонов // М.: Радиодизайн. — 2001. — №13. — С. 33—36.
41. *Сафонов С.* О некоторых особенностях конструирования и эксплуатации мощных ламповых PA / С. Сафонов // М.: Радиодизайн. — №16. — 2002. — С. 54—58.
42. Усилитель мощности от радиостанции P-140. // Радиолобитель КВ и УКВ. — 1996. — №4. — С. 35.
43. *Цымбал Г.* Цепь смещения / Г.Цымбал // Радиолобитель КВ и УКВ. — 1998. — №8. — С. 44.
44. <http://www.cqham.ru/pa/54.htm#3>. Питание и защита современных тетродов. Эксплуатация тетродов при различных напряжениях и токах.
45. <http://www.cqham.ru/tr/122.htm>. Тетроды для усилительной мощности. Ток экранной сетки, нагрузка, утечки...
46. <http://www.cqham.ru/pa/74.htm>
47. [http://cqham.ru/pa16\\_4.htm](http://cqham.ru/pa16_4.htm) Системы воздушного охлаждения генераторных ламп.
48. <http://www.cqham.ru/pa/74.htm>
49. <http://www.platan.ru/news/561.html>
50. <http://www.OSL.net/dl2kq>
51. [www.ameritron.com](http://www.ameritron.com)
52. [www.elecraft.com](http://www.elecraft.com)
53. [www.henryradio.com](http://www.henryradio.com)
54. [www.hfpower.com](http://www.hfpower.com)
55. [www.unicomm.ru](http://www.unicomm.ru)

## Закажите лучшие книги для радиолюбителей

500 схем для радиолюбителей



3-е издание, перераб. и доп.  
ISBN: 978-5-94387-372-0  
Формат: 140x205 мм  
Объем: 416 с.  
Цена: 153 руб.

Заказ \_\_ экз.



2-е издание, перераб. и доп.  
ISBN: 5-94387-160-3  
Формат: 140x205 мм  
Объем: 272 с.  
Цена: 109 руб.

Заказ \_\_ экз.



2-е издание, перераб. и доп.  
ISBN: 978-5-94387-369-0  
Формат: 140x205 мм  
Объем: 272 с.  
Цена: \*\*\*

Заказ \_\_ экз.

Семья А.П.

Названия этих книг начинаются словами «500 схем...», с уточняющими названиями: «Применки», «Источники питания», «Радиостанции и трансиверы» и др. В этих книгах собраны наиболее интересные схемы полупроводниковых устройств, дается возможность каждому радиолюбителю выбрать то, что ему необходимо из великого множества схем и конструкций, проверенных и испытанных на практике.

### Микропроцессорное управление телевизорами



ISBN: 5-94387-110-1  
Формат: 140x205 мм  
Объем: 144 с.  
Цена: 55 руб.

Заказ \_\_ экз.

Виноградов В.А.

Раскрыты принципы построения устройств управления современных телевизионных приемников. Приведены краткие справочные данные и практические примеры построения систем управления в популярных моделях зарубежных телевизоров.

В книге даны рекомендации по ремонту устройств управления, приводятся способы входения в сервисный режим различных моделей телевизоров и примеры их настройки в сервисном режиме.

### Радиостанция своими руками



ISBN: 5-94387-065-7  
Формат: 140x205 мм  
Объем: 144 с.  
Цена: 98 руб.

Заказ \_\_ экз.

Шклярев А.А.

Книга поможет радиолюбителю при минимальных затратах создать приемопередающий комплекс с хорошими характеристиками. Материал изложен подробно, с полными электрическими данными, с рисунками печатных плат с методикой настройки трансиверной приставки. Книга содержит информацию о том, как с помощью изготовленной приставки работать с цифровыми видами связи, подключить к приставке ГЛК. На вклейке представлены принципиальная схема и радиодетали P-250M и P-250M2.

Применяются сокращения.