

М. В. Торопкин

Ламповый



Hi-Fi

УСИЛИТЕЛЬ

СВОИМИ РУКАМИ

А также:

- современный минисправочник по радиолампам
- методики расчета усилительных каскадов и выходных трансформаторов
- доступная методика изготовления высококачественного усилителя
- обзор классической и современной ламповой схемотехники

Настольная книга
любителя
качественного
звука



издание 2-е

переработанное
и дополненное

Домашний мастер

НИТ
ИЗДАТЕЛЬСТВО

ЖУРНАЛ

www.radio.ru

РАДИО

Мы служим радиолюбительству с 1924 года

Это журнал, который читают с паяльником в руках! В журнале публикуются материалы обо всех направлениях современной радиоэлектроники, описания конструкций для профессионалов и радиолюбителей всех уровней. Для тех, кто делает первые шаги в мире радиоэлектроники и связи, в каждом выпуске есть отдельный "журнал в журнале" — "Радио" начинающим"



Подписка с любого месяца!

Адрес редакции: 107045, Москва, Селиверстов пер., 10

Телефон: (495) 207-31-18, факс: (495) 208-77-13

E-mail: info@radio.ru Сайт: www.radio.ru

М. В. Торопкин

Ламповый Hi-Fi усилитель своими руками

2-е издание,
переработанное и дополненное



Наука и Техника
Санкт-Петербург
2006

Торопкин М. В.

Ламповый Hi-Fi усилитель своими руками. — 2-е изд, перераб. и доп. — СПб.: Наука и Техника, 2006. — 272 с.: ил.

ISBN 5-94387-177-2

Серия «Домашний мастер»

Книга адресована любителям высококачественного звуковоспроизведения. Приведенный материал объяснит, как собрать свой первый Hi-Fi ламповый усилитель. Но это не все, чем интересна данная книга.

Для начинающих радиолюбителей представлена глава «Основы схемотехники ламповых усилительных каскадов». Тем, кто решил приобрести готовый усилитель или сравнить характеристики моделей заводского изготовления, будет интересна глава «Обзор рынка ламповых Hi-Fi усилителей. Как сделать правильный выбор при покупке».

Книга является также справочным пособием по ламповой схемотехнике, электронным лампам, применяемым в современной аппаратуре высококачественного звукоусиления, руководством по конструированию усилительных каскадов с обзором наиболее интересных схемотехнических решений. В приложениях приведены методики расчета и готовые примеры конструкций выходных трансформаторов.

Глава «Обзор ресурсов Интернет по ламповой Hi-Fi усилительной технике» позволит существенно расширить кругозор читателей в области ламповой схемотехники и сэкономить время (и деньги) при поиске информации в сети Интернет.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей и любителей качественного звука.



9 795943 871770

ISBN 5-94387-177-2

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

Контактные телефоны издательства

(812) 567-70-25, 567-70-26

(044) 516-38-66

Официальный сайт: www.nit.com.ru

© Торопкин М. В.

© Наука и Техника (оригинал-макет), 2006

ООО «Наука и Техника».

Лицензия №000350 от 23 декабря 1999 года.

198097, г. Санкт-Петербург, ул. Маршала Говорова, д. 29.

Подписано в печать 28.07.06. Формат 60×88¹/₁₆.

Бумага газетная. Печать офсетная. Объем 17 п. л.

Тираж 3000 экз. Заказ № 696.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО «Техническая книга»
190005, Санкт-Петербург, Измайловский пр., 29

Содержание

ОТ АВТОРА.....	8
Вступление.....	9
Глава 1.	
Основы схемотехники ламповых усилительных каскадов.....	10
Характеристики, особенности, обозначения радиоламп.....	11
Параметры электронных ламп.....	11
Основные термины	13
Классы усиления	14
Обозначения электронных ламп	15
Приемо-усилительные и выпрямительные лампы	15
Генераторные лампы.....	17
Зарубежные радиолампы	18
Европейская унифицированная система обозначений ламп.....	18
Основные виды ламповых каскадов	20
Каскад с нагрузкой в аноде	20
Каскод.....	21
Катодный повторитель	22
Каскад с катодной связью	23
Балансный каскад	24
Каскад с заземленной сеткой.....	24
Анодный повторитель.....	25
Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой	26
Каскад с динамической нагрузкой.....	27
Катодный повторитель Уайта.....	28

Глава 2.

Схемотехника усилителей на отечественных лампах	29
6Н1П. Двойной триод с отдельными катодами	30
6Г2 39. Двойной диод-триод	39
6Г7 44. Двойной диод-триод	44
6Ж4. Пентод высокой частоты с короткой характеристикой	47
6Н6П. Двойной триод с отдельными катодами	55
6Н8С. Двойной триод с отдельными катодами	60
6Н9С. Двойной триод с отдельными катодами	66
6Н13С. Двойной триод с отдельными катодами и малым внутренним сопротивлением	70
6Н23П. Двойной универсальный триод	76
6П7С. Выходной лучевой тетрод	82
6П9. Широкополосный выходной пентод	87
6П13С. Выходной лучевой тетрод	92
6П14П, 6П18П, 6П43П. Выходные пентоды.....	96
6П45С. Выходной лучевой тетрод	102
6С3П. Триод высокой частоты с низким уровнем внутриламповых шумов ...	109
6С19П. Триод	113
6С33С. Триод	117
6Ф3П. Триод-пентод	123
6Ф12П. Широкополосный триод-пентод.....	130
6Э5П. Выходной тетрод высокой частоты	135
Г-807. Генераторный лучевой тетрод.....	140
Г-811. Генераторный триод с высоким коэффициентом усиления.....	146

ГМ-70. Мощный модуляторный триод.....	151
ГУ-50. Генераторный лучевой пентод	157
5Ц3С. Двуханодный кенотрон	161
5Ц4С. Двуханодный кенотрон	165
5Ц8С. Двуханодный кенотрон	168

Глава 3.

Схемотехника усилителей на зарубежных лампах 171

2А3. Триод.....	172
300В. Триод.....	181
6В4G. Триод.....	189

Глава 4

Методика самостоятельной сборки лампового усилителя 195

Что будем разрабатывать?	196
Техническое задание на разработку	197
Выбор лампы	197
6С45П. Триод с высокой крутизной	199
Основные параметры	199
Расчеты усилителя	200
Переходим к схеме усилителя	206
Комплектующие	210
Возможные замены.....	211
Заключение.....	211

Глава 5

Обзор рынка ламповых Hi-Fi усилителей 213

Как сделать правильный выбор при покупке Hi-Fi усилителя	214
Полезные советы выбирающим усилитель	216

Глава 6

Обзор ресурсов Интернет по ламповой

Hi-Fi усилительной технике 217

Многопрофильные сайты	218
Специализированные сайты.....	220
Магазины радиодеталей, звуковоспроизводящей аппаратуры.....	220
Доски объявлений.....	221

Приложения 222

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Определение параметров пентодов в триодном включении	223
------------------------------------------------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

SE Amp CAD — программа моделирования выходных каскадов однотактных усилителей	225
----------------------------------------------------------------------------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Программа расчета блоков питания	227
----------------------------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Принципы расчета и конструирования выходного трансформатора	228
Расчет выходного трансформатора.....	236

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Примеры конструкций выходных трансформаторов	241
Универсальный выходной трансформатор для однотактного каскада на лампе 300B и ГМ-70. Разработчик — Манаков А. И.....	241
Универсальный выходной трансформатор для однотактного каскада на лампе 2A3/6C4C/6B4G. Разработчик — Манаков А. И.....	242
Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6П45С в триодном включении. Разработчик — Манаков А. И.....	243
Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на двух параллельных лампах 6С19П. Разработчик — Манаков А. И.....	244

Выходной трансформатор для усилителя «цирклотрон» на лампах 6П41С, 6П3С, EL34 (все в пентодном включении, по одной лампе в плече). Разработчик — К. Вайсбейн.....	244
Выходной трансформатор для двухтактного выходного каскада на лампах ГУ-50 (пентодное включение, по одной лампе в плече). Разработчик — А. Баев	246
Выходной трансформатор для одноконтурного выходного каскада на лампе 6550 (в триодном включении, $R_a = 2,7$ кОм). Разработчик — Андреев Д. А.	246
Выходной трансформатор для одноконтурного выходного каскада на лампе 6П36С (в триодном включении). Разработчик — Манаков А. И.....	247

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Ламповый калейдоскоп.....	249
---------------------------	-----

Список литературы	255
--------------------------------	------------

ОТ АВТОРА

Книга адресована любителям высококачественного звуковоспроизведения. Следование приведенному материалу позволит собрать свой первый Hi-Fi ламповый усилитель. Но это не все, чем интересна данная книга.

Для начинающих радиолюбителей представлена глава «Основы схемотехники ламповых усилительных каскадов». Тем, кто решил приобрести готовый усилитель или сравнить характеристики моделей заводского изготовления будет интересна глава «Обзор рынка ламповых Hi-Fi усилителей. Как сделать правильный выбор при покупке».

Книга является также справочным пособием по ламповой схемотехнике, электронным лампам, применяемым в современной аппаратуре высококачественного звукоусиления, руководством по конструированию усилительных каскадов с обзором наиболее интересных схемотехнических решений. Основная задача — предоставить читателю наиболее полную информацию о радиолампах и вариантах их использования. В справочно-теоретической части книги в алфавитном порядке рассматриваются наиболее популярные на сегодняшний день лампы. Для каждой рассмотренной лампы приведены:

- краткая характеристика от разработчика (изготовителя);
- рисунок внешнего вида радиолампы с размерами;
- схематическое изображение, назначение выводов (цоколевка);
- электрические параметры, имеющие отношение к звуковому применению;
- вольт-амперные характеристики (ВАХ);
- аналоги, рекомендации по замене;
- типовые схемы включения;
- рекомендации по звуковому применению, включая рассмотрение различных схемотехнических решений;
- полезные ссылки на Интернет-ресурсы.

В приложениях приведены методики расчета и готовые примеры конструкций выходных трансформаторов.

Глава «Обзор ресурсов Интернет по ламповой Hi-Fi усилительной технике» позволит существенно расширить кругозор читателей в области ламповой схемотехники и сэкономить время (и деньги) при поиске информации в сети Интернет.

Вступление

Не секрет, что ламповая аппаратура звукоусиления в последние 10 лет переживает второе рождение, а фотографии ламповых конструкций «прописались» на обложках популярных аудиожурналов; выпуск радиоламп освоен (или возобновлен?) ведущими компаниями США, Европы и Японии.

К сожалению, информация о радиолампах разбросана по устаревшим справочникам, выпущенным до 80-х годов прошлого столетия, представляющим библиографическую редкость, а также по сайтам Интернета, зачастую не оптимизированным для поисковых машин. Не хватает информации и по звуковому применению ламп, изначально не предназначенных для этих целей (модуляторных, генераторных, телевизионных).

Задача книги — собрать воедино информацию о наиболее популярных радиолампах, разработанных (или применимых) для использования в звукоусилении, познакомить читателя с современной ламповой схемотехникой.

Приводятся не только данные о цоколевках, электрические параметры, вольт-амперные характеристики (ВАХ) радиоламп, но и рекомендации по их применению, включая различные схемы построения ламповых каскадов и аппаратуры звукоусиления.

Автор умышленно избегает субъективных оценок качества звучания, псевдонаучных, откровенно коммерческих и даже мистических терминов («виртуальная глубина», «тональный баланс», «воздушность» и т. п.). Причины, по которым один усилитель обеспечивает лучшее звучание, чем другой (обладающий аналогичными объективными параметрами), следует искать с помощью спектроанализатора, а не магических пассов и заклинаний.

Внимание! *В ламповых конструкциях используются опасные для жизни напряжения. При работе со схемами, приведенными в настоящей книге, будьте предельно внимательны и осторожны. Начинающим радиолюбителям следует произвести проверку и первое включение собранной конструкции под руководством опытных специалистов. Помните, что опасность представляет даже устройство, отключенное от электрической сети, — конденсаторы блока питания могут сохранять заряд в течение нескольких суток. Берегите себя и своих близких.*

Глава 1

Основы схемотехники ламповых усилительных каскадов

Глава дает представление и систематизирует информацию по отечественным и зарубежным радиолампам. В ней рассматриваются: параметры электронных ламп, основные термины, классы усиления, обозначения электронных ламп.

Подробно рассматриваются основные виды ламповых каскадов (каскад с нагрузкой в аноде, каскод, катодный повторитель, каскад с катодной связью, балансный каскад, каскад с заземленной сеткой, анодный повторитель, фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой, SRPP, катодный повторитель Уайта).

Характеристики, особенности, обозначения радиоламп

В книге рассматриваются как отечественные, так и зарубежные радиолампы. Автор сознательно исключил описания ламп, не доступных радиолюбителям, по следующим причинам:

- повышенная опасность поражения электрическим током (например, ГУ-48, требующая величины анодного напряжения порядка 3 кВ);
- нереальная (для рядового радиолюбителя) цена (продукция фирмы VaicValve стоимостью несколько сотен долларов за одну лампу);
- выпуск лампы давно прекращен, возможность приобретения — минимальна (AL5, AD1 и т. п.).

Предпочтение отдано широко распространенным радиолампам, хорошо зарекомендовавшим себя в области звукоусиления.

Разделение ламп на отечественные и зарубежные довольно условно, т. к. большинство зарубежных ламп имеет прямые отечественные аналоги либо выпускается в России под фирменным названием (2A3, 300B, 6B4G, 6V6, 12AX7 и др.).

Параметры электронных ламп

Крутизна характеристики S — величина, показывающая, на сколько миллиампер изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на первой (управляющей) сетке на 1 В при неизменных напряжениях на остальных электродах:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}, \text{ мА/В,}$$

где ΔI_a — приращение анодного тока, мА;

ΔU_c — приращение напряжения на первой сетке, В.

Внутреннее сопротивление R_i — сопротивление лампы переменному току. Определяется как отношение изменения анодного напряжения к изменению анодного тока при неизменных напряжениях на остальных электродах:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}, \text{ кОм,}$$

где ΔU_a — приращение напряжения на аноде, В;

ΔI_a — приращение анодного тока, мА.

Коэффициент усиления μ — безразмерная величина, показывающая, как влияет на анодный ток изменение напряжения на первой сетке по сравнению с изменением напряжения на аноде:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c},$$

где ΔU_a — приращение напряжения на аноде, В;

ΔU_c — приращение напряжения на первой сетке, В.

Параметры S , R_i , μ связаны следующим соотношением:

$$R_i = \frac{\mu}{S}.$$

Напряжение смещения (смещение) на первой сетке U_c , В — напряжение, требуемое для работы лампы в заданном режиме и устанавливающее рабочую точку на определенном участке характеристики.

Мощность, рассеиваемая на аноде или на второй (экранирующей) сетке P_a (P_{c2}), Вт, определяется в реально выбранном рабочем режиме класса A как произведение соответствующего напряжения на постоянную составляющую тока анода или второй (экранирующей) сетки.

Сопротивление в цепи анода (анодная нагрузка) R_a , Ом, — нагрузка в анодной цепи лампы. Может быть активным сопротивлением, дросселем или трансформатором.

Эквивалентное сопротивление шумов $R_{ш}$, Ом, — сопротивление, характеризующее уровень внутриламповых шумов. Эквивалентным шумовым сопротивлением называют омическое сопротивление, на концах которого при температуре $+15^\circ\text{C}$ вследствие теплового движения электронов возникает напряжение шумов, равное напряжению шумов лампы, приведенному к управляющей сетке.

Прходная емкость $C_{\text{пр}}$, пФ, — емкость между анодом и управляющей сеткой.

Выходная емкость $C_{\text{вых}}$, пФ, — емкость анода относительно всех других электродов, на которых при работе лампы отсутствует переменное напряжение частоты сигнала.

Входная емкость $C_{\text{вх}}$, пФ, — емкость управляющей сетки относительно всех других электродов, на которых при работе лампы отсутствует напряжение частоты сигнала, приложенного к управляющей сетке.

Выходная мощность $P_{\text{вых}}$, Вт, — полезная мощность, отдаваемая лампой во внешнюю цепь.

Сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$, Ом, — сопротивление на выходе каскада (активное или реактивное), связанное с ним при помощи разделительного конденсатора, трансформатора или включенное непосредственно в выходную цепь.

Ток катода $I_{\text{к}}$, А, — величина общего тока, протекающего через лампу, равная сумме токов всех остальных электродов.

Примечание. Все напряжения измеряются относительно катода! Например, анодное напряжение (напряжение на аноде) $U_{\text{а}}$ измеряется между выводом анода и выводом катода.

Основные термины

Лампа с катодом прямого накала (прямокальная лампа) — лампа, катод которой испускает электроны вследствие разогрева под воздействием протекающего через него тока накала.

Лампа с катодом косвенного накала (лампа косвенного накала) — лампа, катод которой испускает электроны при разогреве с помощью специальной электродной системы — подогревателя (накала).

Лампа с короткой характеристикой — лампа, имеющая анодно-сеточную характеристику, резко спадающую к нулевому значению тока анода.

Лампа с удлиненной характеристикой — лампа, имеющая анодно-сеточную характеристику удлиненной формы при малых значениях тока анода, что позволяет регулировать усиление, изменяя напряжение смещения на управляющей сетке в больших пределах.

Правая характеристика — анодно-сеточная характеристика, у которой (при номинальном анодном напряжении) большая часть прямолинейного участка расположена в области положительных напряжений на сетке. Лампа соответствующего типа называется лампой с правой характеристикой либо правой лампой.

Левая характеристика — анодно-сеточная характеристика, у которой (при номинальном анодном напряжении) большая часть прямолинейного участка расположена в области отрицательных напряжений на сетке. Лампа соответствующего типа называется лампой с левой характеристикой либо левой лампой.

Каждая лампа, кроме того, имеет вполне конкретные значения предельно допустимых параметров. Это максимально допустимое напряжение на электродах, максимально допустимый ток электродов, максимально допустимая мощность, рассеиваемая на электродах, при которых обеспечивается работа лампы без ухудшения основных параметров или выхода лампы из строя. Допускается использовать лампу при параметрах рабочего режима, когда какой-либо **один** из параметров достигает свой максимально допустимый предел.

Внимание! Превышение значения **более одного** предельно допустимого электрического параметра приводит к существенному снижению срока службы лампы либо к немедленному выходу лампы из строя.

Классы усиления

Характеризуют величину анодного тока в рабочей точке, долю периода его протекания и наличие (отсутствие) сеточного тока. В звукоусилении обычно используют следующие классы усиления: *A*, *AB*, *B*. При наличии сеточных токов добавляют индекс 2, например *A2* — класс *A* с токами сетки. Отсутствие сеточных токов обозначается индексом 1 либо без индекса вообще: *B1* или *B* — класс *B* без токов сетки.

Класс *A* — режим усиления, при котором анодный ток протекает через лампу в течение всего периода, и форма его переменной составляющей точно воспроизводит форму переменного напряже-

ния, приложенного к управляющей сетке. Наименее экономичен — КПД не превышает 20 %. Характеризуется минимальными нелинейными искажениями.

Класс *B* — режим усиления, при котором величина напряжения смещения выбирается такой, что анодный ток покоя близок к нулю, а форма его переменной составляющей точно (теоретически) воспроизводит форму полупериода переменного напряжения, приложенного к управляющей сетке. Анодный ток в классе *B* протекает также в течение полупериода. Наиболее экономичен, но характеризуется максимальными нелинейными искажениями, вследствие чего используется лишь в эстрадных усилителях большой мощности.

Класс *AB* — промежуточный (между классами *A* и *B*) режим усиления, при котором величина напряжения смещения выбирается такой, что анодный ток протекает через лампу за время меньшее, чем период, но большее, чем полупериод.

Постоянная величина анодного тока меньшая, чем в классе *A*, и большая, чем в классе *B*.

По экономичности и уровню нелинейных искажений занимает промежуточное (между классами *A* и *B*) положение.

Режимы с токами сетки во всех классах усиления увеличивают КПД, но приводят к возрастанию нелинейных искажений.

Обозначения электронных ламп

Приемо-усилительные и выпрямительные лампы

Обозначения электронных ламп состоят из 4 или 5 элементов.

Первый элемент — число, соответствующее округленному значению напряжения накала, выраженного в В (необходимо уточнять значение напряжения питания для конкретного типа лампы, т. к. обозначению «2», например, может соответствовать как 2,0 В, так и 2,4 В):

0,6 — 0,625 В;

1 — 1,2 В;

2 — 2,0 (2,2; 2,4 и т. д.) В;

3 — 3,45 В;

4 — 4,2 (4,4) В;

5 — 5 В;

6 — 6,3 В и т. д.

Некоторые типы ламп имеют дополнительный вывод — среднюю точку накала (или катода для прямонакальных ламп), что позволяет использовать напряжение накала как номинальной величины (при последовательном соединении), так и половины от номинальной величины (при параллельном).

Второй элемент — буква, характеризующая тип лампы (диод, триод, пентод и т. п.):

- Д — одинарный диод;
- Х — двойной диод;
- Ц — кенотрон (с любым числом анодов);
- С — одинарный триод;
- Н — двойной триод;
- Э — лучевой тетрод высокой частоты;
- П — лучевой тетрод низкой частоты;
- Ж — пентод с короткой характеристикой высокочастотный;
- К — пентод с удлиненной характеристикой (варимю);
- П — мощный пентод низкой либо высокой частоты;
- А — преобразовательная лампа.

Комбинированные лампы:

- Г — триод с одним либо несколькими диодами;
- Б — пентод с одним либо несколькими диодами;
- Е — электронно-световой индикатор;
- И — триод-гептод;
- Ф — триод-пентод.

Третий элемент — число, обозначающее порядковый номер, присвоенный разработчиками.

Четвертый элемент — буква, характеризующая конструктивное исполнение (оформление) лампы (для ламп в металлическом баллоне обычно не используется):

- С — стеклянный крупногабаритный баллон (с октальным штырьковым либо специальным цоколем);
- П — пальчиковый стеклянный баллон с пуговичным цоколем и штырьковыми выводами электродов (7 или 9 штырьков);
- Б — миниатюрный стеклянный баллон диаметром 10 мм («дробь»), выводы электродов — гибкие проволочные;
- А — миниатюрный стеклянный баллон диаметром 6 мм, выводы электродов — гибкие проволочные;

Л — баллон с замковым (loctal) цоколем, исключающим выпадание лампы из панельки при тряске.

Пятый элемент присваивается лампам с повышенными параметрами:

В — повышенная механическая прочность и надежность;

Е — повышенный срок службы;

К — высокая виброустойчивость;

И — пригодность для работы в импульсном режиме.

Пятый элемент отделяется знаком дефис, например, 6Ж43П-Е. Допускается несколько букв (при соответствующих параметрах лампы), например, 6Н23П-ЕВ.

Генераторные лампы

Обозначения состоят из 3 элементов.

Первый элемент — буквы, указывающие назначение лампы:

ГК — генераторная коротковолновая (до 25 МГц);

ГУ — генераторная ультракоротковолновая (25...600 МГц);

ГС — генераторная сантиметрового (дециметрового) диапазонов (более 600 МГц);

ГИ — генераторная импульсная;

ГМ — генераторная модуляторная;

ГМИ — генераторная модуляторная, работающая в импульсном режиме.

Второй элемент — число, определяющее номер лампы, присвоенное разработчиком.

Третий элемент (отсутствует у ламп с естественным воздушным охлаждением) — буква, указывающая тип охлаждения:

А — принудительное водяное;

Б — принудительное воздушное.

Зарубежные радиолампы

Европейская унифицированная система обозначений ламп

Большинство европейских фирм, изготавливающих приемо-усилительные лампы, много лет применяют для своих изделий унифицированную систему обозначений. Согласно этой системе условное обозначение приемо-усилительной лампы состоит из двух или более букв, за которыми следует двузначное, трехзначное или четырехзначное число (по материалам сайта <http://www.olderadio.ru>).

Первая буква характеризует значение напряжения накала (или значение тока накала ламп, разработанных специально для последовательного питания подогревателей):

- D** — напряжение накала до 1,4 В;
- E** — напряжение накала 6,3 В;
- G** — напряжение накала 5 В;
- H** — ток накала 150 мА;
- P** — ток накала 300 мА;
- U** — ток накала 100 мА;
- X** — ток накала 600 мА.

Кроме указанных наиболее употребительных в настоящее время букв системой предусмотрены и ранее использовались буквы **A** (4 В), **B** (180 мА), **C** (200 мА), **F** (12,6 В), **K** (2 В), **V** (50 мА) и т. д.

Вторая и последующие буквы в обозначении определяют тип прибора:

- A** — диод;
- B** — двойной диод (с общим катодом);
- C** — триод (кроме выходного);
- D** — выходной триод;
- E** — тетрод (кроме выходного);
- F** — пентод (кроме выходного);
- L** — выходной пентод и тетрод;
- H** — гексод или гептод (гексодного типа);
- K** — октод или гептод (октодного типа);
- M** — электронно-световой индикатор настройки;
- P** — усилительная лампа со вторичной эмиссией;
- Y** — однополупериодный кенотрон;
- Z** — двухполупериодный кенотрон.

Для обозначения комбинированных ламп используются необходимые сочетания этих букв, которые при этом располагаются в алфавитном порядке, например:

СС — двойной триод;

АF — диод-пентод;

АВС — двойной диод-диод-триод.

Двузначное или трехзначное число обозначает внешнее оформление лампы и порядковый номер данного типа, причем первая цифра обычно характеризует тип цоколя или ножки:

3 — лампы в стеклянном баллоне с октальным цоколем;

5 — лампы в стеклянной оболочке с ножкой типа «магновал»;

6 и **7** — стеклянные сверхминиатюрные лампы;

8 — стеклянные миниатюрные с девятиштырьковым цоколем;

9 — стеклянные миниатюрные с семиштырьковым цоколем.

Кроме того, для обозначения девятиштырьковых миниатюрных ламп используются цифры от 180 до 189 (остальные цифры, а также цифра 5 ранее использовались для обозначения других, ныне устаревших видов конструктивного оформления ламп).

Лампы со специальными свойствами (повышенной долговечностью или механической прочностью, пониженным уровнем шумов, более жесткими допусками на электрические параметры и т. п.) выделяются чаще всего путем перестановки цифр и букв в обозначении, например, **E88CC**, **E180F**. Иногда с этой же целью к обычному условному обозначению добавляют букву **S**, например, **ECC802S**.

Примеры условных обозначений ламп европейской системы:

EAA91 — двойной диод (с отдельными катодами) в миниатюрном стеклянном оформлении с семиштырьковым цоколем, напряжением накала 6,3 В.

EABC80 — двойной диод-диод-триод в стеклянном миниатюрном оформлении с девятиштырьковым цоколем, напряжением накала 6,3 В.

EL86 — выходной пентод в стеклянном миниатюрном оформлении с девятиштырьковым цоколем, напряжением накала 6,3 В.

Основные виды ламповых каскадов

Под каскадом следует понимать лампу совместно с дополнительными элементами (пассивными и / или активными), образующие единую систему с точки зрения функционального назначения.

Каскад с нагрузкой в аноде

Наиболее распространенный, в силу своей простоты и достаточно высоких параметров, каскад с нагрузкой в аноде (рис. 1.1). В качестве анодной нагрузки R_a обычно применяется:

- резистор (во входных каскадах усилителей) — т. н. резистивный каскад;
- дроссель (в драйверных каскадах усилителей) — т. н. дроссельный каскад;
- трансформатор (в драйверных и выходных каскадах усилителей) — т. н. трансформаторный каскад.

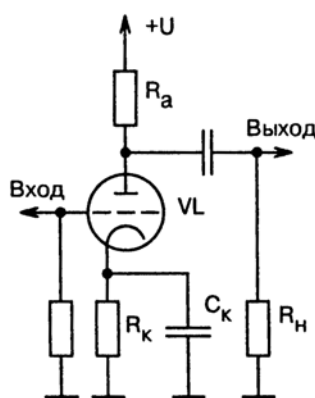


Рис. 1.1. Схема каскада с резистивной нагрузкой в аноде

При использовании высококачественных элементов наилучшие параметры (объективные и субъективные) обеспечивают (в порядке возрастания): резистивный, дроссельный, трансформаторный каскады. Однако соответственно растет и их стоимость. Для дроссельного и трансформаторного каскадов критичным является и расположение элементов в корпусе (на шасси) усилителя.

Преимущества каскада с анодной нагрузкой:

- минимум элементов;
- доступность методик расчета и готовых схемотехнических решений для различных ламп;
- простота реализации цепи смещения.

- Также возможно фиксированное смещение, например, с помощью замены R_k на стабилитрон (с соответствующим напряжением стабилизации; анод стабилитрона соединяется с землей; C_k следует оставить ввиду довольно высокого уровня собственных шумов стабилитрона), либо при помощи батарейки («+» к катоду, C_k исключить; другой вариант — батарейка включается в разрыв цепи входного сигнала, «-» к сетке, катод лампы соединяется с общим — землей);
- низкая стоимость (для резистивного каскада).

Недостатки:

- усиление каскада всегда ниже коэффициента усиления лампы (в случае резистивной и дроссельной нагрузок);
- высокая входная емкость;
- в базовом варианте требуется высококачественный C_k .

Примечание. Удаление из схемы C_k приведет к увеличению внутреннего сопротивления лампы (и соответственно выходного сопротивления каскада), снижению усиления и уровня нелинейных искажений вследствие образования местной ОС по току.

Сигнал на выходе каскада противоположен входному по фазе, т. е. каскад является инвертирующим.

Каскод

Название представляет собой аббревиатуру «каскад на триодах» (рис. 1.2).

Преимущества:

- высокая линейность при больших амплитудах сигнала;
- низкая входная емкость, широкая полоса пропускания;
- очень высокое усиление (теоретически равное произведению коэффициентов усиления нижнего и верхнего триодов) — на уровне пентодов;
- невысокий уровень шумов (равный уровню шумов нижнего триода).

Недостатки:

- высокое выходное сопротивление;
- повышенные требования к фильтрации напряжения питания;
- высокое напряжение между катодом и подогревателем;

- отвергаемый некоторыми специалистами т. н. «пентодный характер звучания» (что не мешает известным разработчикам использовать каскод в самой дорогой аппаратуре, например в винил-корректоре фирмы «AudioNote»).

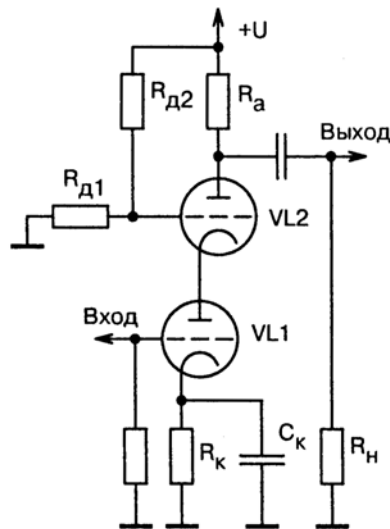


Рис. 1.2. Схема каскода

Катодный повторитель

Схема катодного повторителя приведена на рис. 1.3.

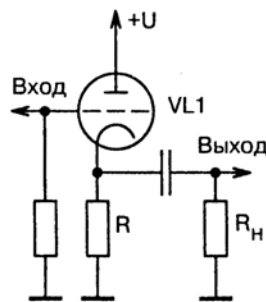


Рис. 1.3. Схема катодного повторителя

Преимущества:

- очень низкое выходное сопротивление (теоретически равное $1/S$, где S — крутизна), что позволяет, например, раскачивать мощные выходные лампы, работающие в режимах с токами сетки;
- малая входная емкость, широкая полоса пропускания;
- высокое входное сопротивление.

Недостатки:

- каскад не является усилительным, даже несколько ослабляет входной сигнал;
- охвачен 100 % местной ООС, что, по мнению отдельных специалистов, делает звучание «плоским». Есть и обратная точка зрения: Х. Кондо (ведущий разработчик фирмы «AudioNote») утверждает, что все дело в выборе лампы и ее режима;
- в некоторых случаях (при большой величине падения напряжения на R_k) напряжение между катодом и подогревателем может быть достаточно большим.

Примечание. Каскад не инвертирует фазу сигнала. Лампы с высокой крутизной позволяют получить минимальное выходное сопротивление, а лампы с высоким коэффициентом — минимальное снижение усиления. Для снижения уровня нелинейных искажений следует выбирать значение сопротивления нагрузки более $5R_k$.

Каскад с катодной связью

Схема каскада с катодной связью представлена на рис. 1.4.

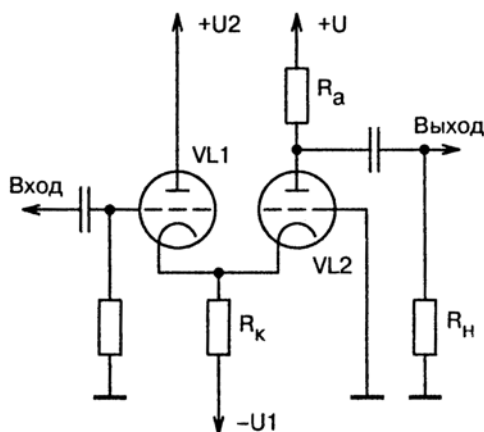


Рис. 1.4. Схема каскада с катодной связью

Преимущества:

- малая входная емкость, широкая полоса пропускания;
- высокое усиление;
- высокая линейность.

Недостатки:

- сложность реализации смещения ламп;
- наличие источника отрицательного напряжения.

Примечание. Наилучшие результаты достигаются при использовании ламп с высоким коэффициентом усиления.

Балансный каскад

Другое название — дифференциальный каскад (рис. 1.5). Используется в драйверных каскадах (после фазоинверсного) двухтактных усилителей и различных балансных схемах.

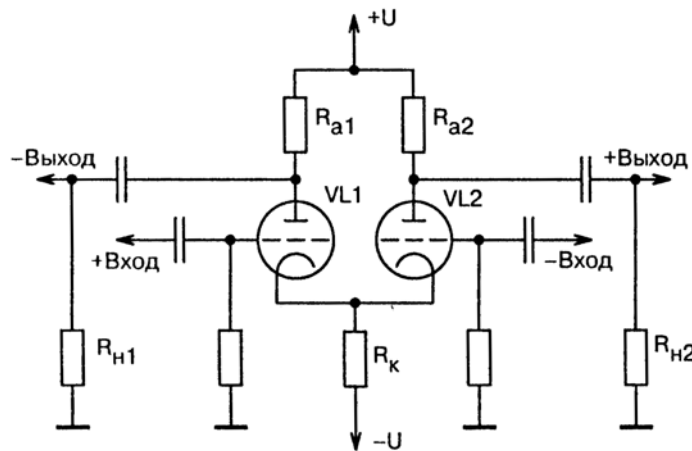


Рис. 1.5. Схема балансного каскада

Преимущества:

- пониженные требования к фильтрации напряжения питания;
- крайне низкий уровень шумов;
- равные выходные сопротивления плеч.

Недостатки:

- требуется источник отрицательного напряжения.

Каскад с заземленной сеткой

Применяется во входных каскадах винил-корректоров для головок звукоснимателей типа МС (с подвижной катушкой). Также может быть реализован в выходном каскаде усилителя мощности, работающего с токами сетки. В последнем случае заметно увеличивается линейность усиления (относительно стандартной раскочки по сетке). На рис. 1.6 показана схема каскада с заземленной сеткой.

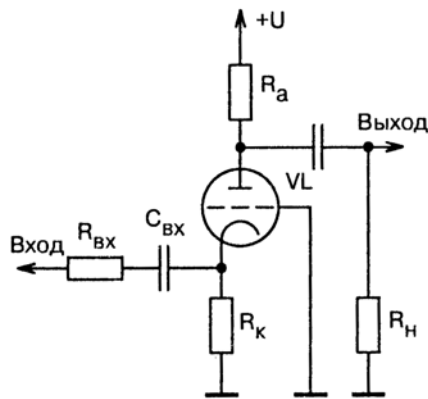


Рис. 1.6. Схема каскада с заземленной сеткой

Преимущество:

- большая линейность при реализации выходных каскадов, работающих с токами сетки.

Недостатки:

- очень низкое входное сопротивление;
- необходимость гальванической развязки по входу (при помощи конденсатора $C_{вх}$ или трансформатора).

Примечание. Каскад неинвертирующий.

Анодный повторитель

Данный каскад (рис. 1.7), подобно катодному повторителю, обеспечивает широкополосное усиление, низкое выходное сопротивление и низкий уровень нелинейных искажений.

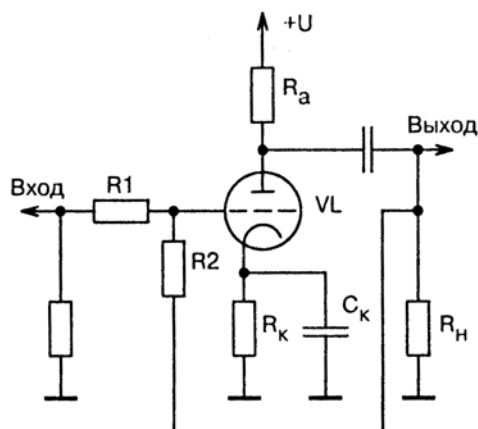


Рис. 1.7. Схема анодного повторителя

Однако анодный повторитель является инвертирующим и усиливающим каскадом.

В отличие от каскада с анодной нагрузкой (см. рис. 1.1), анодный повторитель охвачен обратной связью через резистор R_2 .

Преимущества аналогичны каскаду с анодной нагрузкой; из дополнительных отметим возможность регулирования усиления (в зависимости от соотношения величин R_1 и R_2).

Недостатки:

- требуется гальваническая развязка по выходу;
- низкое входное сопротивление.

Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой

Используется в качестве фазоинверсного каскада в двухтактных усилителях (рис. 1.8).

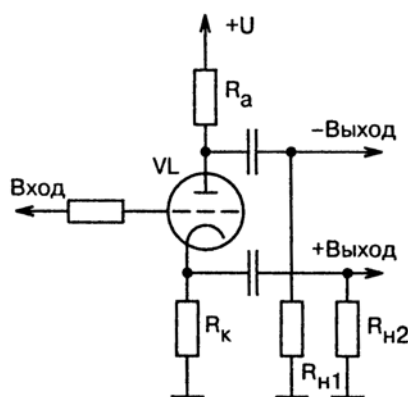


Рис. 1.8. Схема фазоинверсного каскада с разделенной нагрузкой

Преимущества:

- хорошая балансировка плеч, зависящая лишь от точности выбора пассивных элементов;
- простота реализации.

Недостатки:

- выходные сопротивления плеч различны;
- уровни пульсаций напряжения различны;
- отсутствие усиления;

- ранний клиппинг (перегрузка), каскад рекомендуется располагать (схемотехнически) как можно ближе ко входу усилителя.

Примечание. Использование ламп с большим коэффициентом усиления снижает потери усиления каскада.

Каскад с динамической нагрузкой

Другие названия: μ -повторитель (или мю-повторитель), SRPP. Каскад универсального назначения (рис. 1.9).

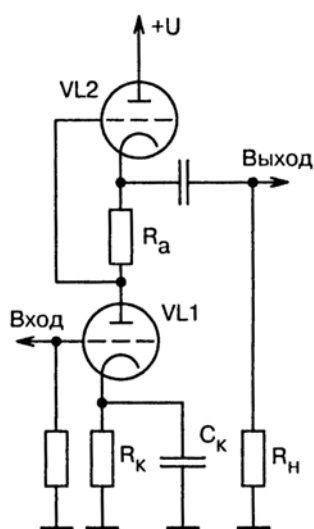


Рис. 1.9. Схема каскада SRPP (каскад с динамической нагрузкой)

Преимущества:

- низкое выходное сопротивление (оценочное значение для однотипных ламп $0,25R_i$);
- низкий уровень нелинейных искажений;
- малая чувствительность к пульсациям напряжения питания;
- коэффициент усиления ближе к μ лампы, чем у каскада с нагрузкой в аноде;
- возможности улучшения ряда параметров с помощью незначительных схемотехнических изменений.

Недостатки:

- отдельные варианты каскада довольно сложны;
- высокое напряжение между катодом и подогревателем;
- некоторые специалисты считают звучание каскада «транзисторным, сухим, плоским».

Катодный повторитель Уайта

Другое название — катодный повторитель каскодного типа.

Напоминает одновременно СРПП, каскод и катодный повторитель (рис. 1.10). Отличается от последнего наличием обратной связи (с анода верхнего на сетку нижнего по схеме триода через конденсатор C_{oc}).

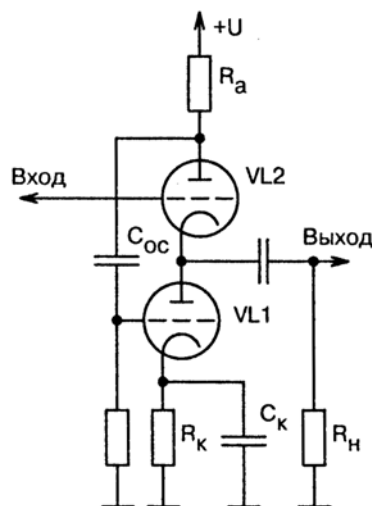


Рис. 1.10. Схема катодного повторителя Уайта

Преимущества:

- предельно низкое выходное сопротивление (несколько Ом);
- практически не ослабляет сигнал (коэффициент передачи каскада близок к единице);
- малая чувствительность к пульсациям напряжения питания;
- низкий коэффициент нелинейных искажений.

Недостатки:

- достаточно сложная реализация;
- наличие ООС;
- высокое напряжение между катодом и подогревателем.

Глава 2

Схемотехника усилителей на отечественных лампах

Это глава — современный минисправочник по самым распространенным отечественным приемно-усилительным радиолампам. Для удобства читателя описываемые лампы расположены в алфавитном порядке. На каждую лампу приводится цоколевка, основные параметры, достоинства и недостатки, схемная реализация каскадов на данной лампе, дополнительная полезная информация.

6Н1П

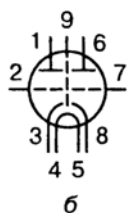
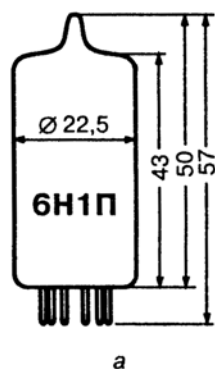
Двойной триод с отдельными катодами

Описания приемно-усилительных ламп приводятся в алфавитном порядке, за исключением лампы 6Н1П (после приемно-усилительных ламп имеется раздел с описаниями кенотронов). Это сделано по следующим соображениям:

- 6Н1П широко распространена, ее параметры хорошо известны радиолюбителям;
- проект книги, представленный издательству, содержал описание именно этой лампы; таким образом отработывался макет книги, стиль повествования и т. п.;
- даже при беглом прочтении раздела радиолюбитель получает представление о книге в целом и решает, стоит ли ее приобретать.

Общие характеристики

Лампа 6Н1П разработана для усиления напряжения низкой частоты. Применяется в предварительных каскадах, фазоинверторах [1].



Назначение выводов:

- 1 — анод первого триода;
- 2 — сетка первого триода;
- 3 — катод первого триода;
- 4 и 5 — подогреватель (накал);
- 6 — анод второго триода;
- 7 — сетка второго триода;
- 8 — катод второго триода;
- 9 — экран

Рис. 2.1. Лампа 6Н1П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 750 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная каждого триода	3,8;
выходная каждого триода.....	1,75;
проходная каждого триода.....	1,85;
между анодами	0,05.

Номинальные электрические параметры (для каждого триода):

напряжение накала, В	6,3;
ток накала, мА	600 ± 50 ;
напряжение на аноде, В.....	250;
ток в цепи анода, мА	$7,5 \pm 1,5$;
крутизна характеристики, мА/В.....	4,35;
внутреннее сопротивление, кОм	8;
коэффициент усиления.....	35 ± 7 ;
эквивалентное сопротивление шумов, кОм	0,7.

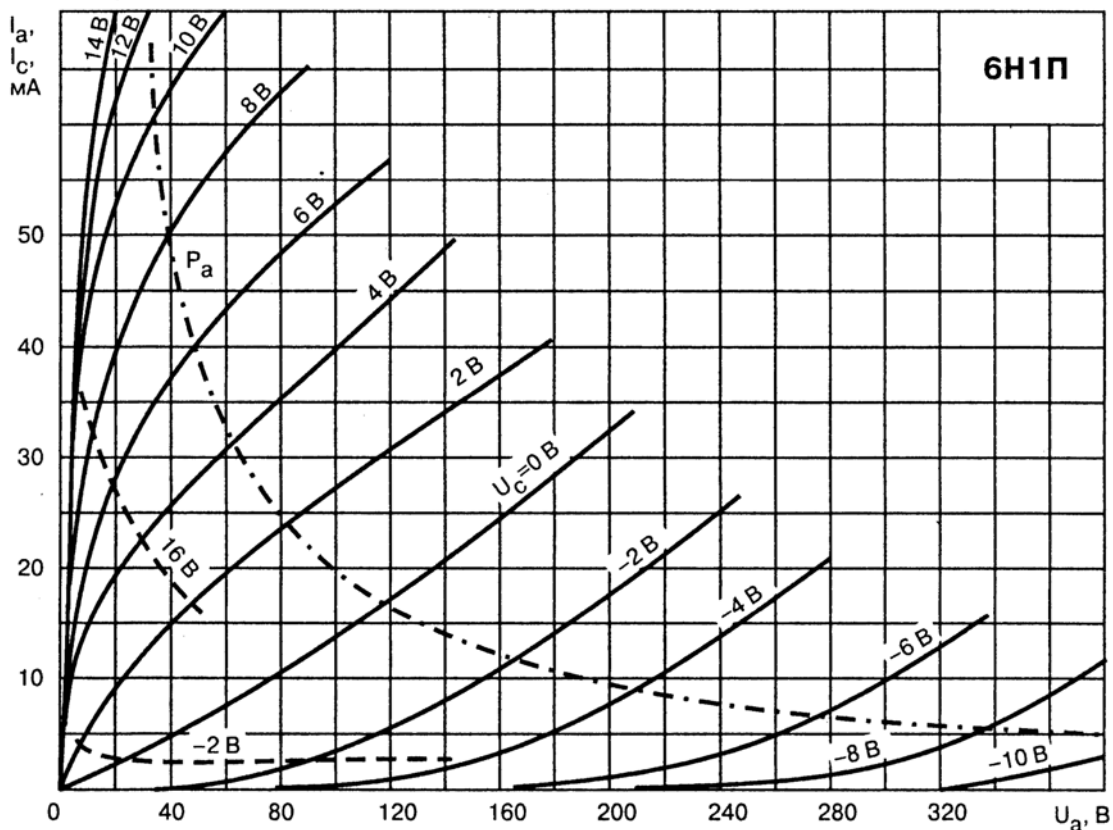


Рис. 2.2. Типовые вольт-амперные характеристики 6Н1П:
 — ток в цепи анода,
 - - - ток в цепи сетки,
 - · - · - · наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде

Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода):

<i>наибольшее напряжение накала, В</i>	7,0;
<i>наименьшее напряжение накала, В</i>	5,7;
<i>наибольшее напряжение на аноде, В</i>	300;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт</i>	2,2;
<i>наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В</i>	250;
<i>наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм</i>	1.

Лампа 6Н1П является (с некоторыми оговорками) аналогом лампы 6Н8С. Обе лампы взаимозаменяемы. Следует учитывать, что 6Н8С имеет октальный, а не пальчиковый цоколь.

Прямого зарубежного аналога нет. Часто в качестве такового приводят 12AU7, но последняя по характеристикам явно ближе к 6Н8С, чем к 6Н1П. Кроме того, напряжение накала у 12AU7 составляет 12,6 В против 6,3 В у 6Н1П (6Н8С).

Выпускается вариант 6Н1П повышенной надежности и долговечности — 6Н1П-ЕВ.

Заметим, что индексы после дефиса хотя и не влияют непосредственно на звуковые свойства ламп, но гарантируют повышенное качество материалов и изготовления, более точное соответствие заявленным параметрам. Подобные преимущества, в свою очередь, могут благотворно сказываться на звучании ламп. Аналогичная ситуация и со штампами военной приемки (ромбик с цифрами внутри, нанесенный на баллон специальной краской). Особо ценятся у аудиофилов лампы «пятой» (авиационной) приемки.

Недостатки

Лампа 6Н1П пользуется популярностью у зарубежных разработчиков и потребителей (поиск на сервере www.yahoo.com дал более 2000 ссылок), но в России незаслуженно игнорируется. Причин тому несколько:

- стереотип «Российские лампы плохо звучат!»;
- многих смущает низкая цена 10...20 руб./шт., т. е. очередной стереотип «Дешевые детали не могут звучать!»;
- бытует мнение, что пальчиковая 6Н1П звучит хуже октальной 6Н8С;
- неудачное звучание распространенных в 1960—1970 гг. усилителей, использующих 6Н1П в каскадах усиления напряжения.

Достоинства

Имеются ли контраргументы? Да, имеются:

- «плохозвучащие» лампы приобретают гранды мирового аудиорынка, а предприятия объединения «Светлана» (крупнейший производитель радиоламп в России) и вовсе куплены «на корню» американцами;
- лампы, выпускавшиеся огромными тиражами (6Н1П — одна из таких) и должны стоить недорого, а цена далеко не всегда является безусловным мерилем качества. Тем более, такие лампы — либо неликвиды предприятий, либо содержимое закров радиоловителей. Современная продукция продается заводами-изготовителями по достаточно высоким ценам. Стоимость российских ламп и должна быть ниже импортных, ибо цены на металл, электроэнергию (не говоря об оплате труда) существенно уступают мировым;
- по электрическим параметрам 6Н1П и 6Н8С хотя и близки, но не идентичны; подобное сравнение трудно назвать корректным. Также отметим, что не форма и размеры баллона определяют качество звучания лампы, но качественные конструкция, материалы и технологии. Существует приличный выбор сверхминиатюрных ламп, хорошо зарекомендовавших себя в звукоусилении (практически все лампы серии «Б»: 6С7Б, 6Н16Б, 6С28Б и т. п.). С другой стороны, вопрос использования некоторых «крупногабаритных» ламп (ГУ-50, 6Р3С, ГК-71) вызывает нешуточные баталии на всевозможных аудиофорумах и страницах журналов. Различия же в звуковых сигнатурах — тема отдельная, здесь многое зависит от индивидуальных особенностей органа слуха;
- не следует забывать, что в схеме работает не лампа, а целый каскад; даже идеальная лампа, загнанная в неоптимальный режим, звучит отвратительно.

Последнее утверждение будет рассмотрено на примере типового (для 60-х годов прошлого века) построения каскада предварительного усиления.

Итак, переходим к схемотехнике.

Реализация каскадов звукоусиления

Каскад с нагрузкой в аноде (каскад с резистивной нагрузкой)

Подробный пример расчета такого каскада представлен в главе 4.

Рассмотрим типичное для 60—70 гг. прошлого века построение каскада на примере схемы, представленной на рис. 2.3 [2]. Первое, что бросается в глаза — завышенное значение величины сопротивления анодной нагрузки R_6 , чреватое возрастанием уровня нечетных гармоник, пагубно влияющих на звучание. (Степень восприятия искажений человеческим ухом пропорциональна квадрату номера гармоники. Наиболее остро ощущается присутствие в звуковом сигнале нечетных гармоник, диссонирующих с основным тоном.) Для подобного каскада достаточно величины 40...80 кОм (от $5R_i$ до $10R_i$, где R_i — внутреннее сопротивление лампы в рабочей точке, равное 8 кОм). Величину сопротивления анодной нагрузки в $(5...10)R_i$ (для триода; у тетродов и пентодов следует подбирать в пределах от $0,1R_i$ до $0,2R_i$ по минимуму искажений) рекомендовал, в частности, Нобу Шишидо (Nobu Shishido) — один из авторитетнейших специалистов в области аудиотехники. Далее отметим, что R_7 не зашунтирован конденсатором, т. е. имеется местная отрицательная обратная связь (ООС) по току, снижающая усиление каскада и увеличивающая внутреннее сопротивление лампы.

Выбор рабочей точки (напряжение на аноде $U_a = +80$ В, напряжение смещения $U_{см} = -1,65$ В) лампы первого каскада таков, что лампа будет работать на криволинейном участке вольт-амперной характеристики (ВАХ). Чтобы убедиться в этом, достаточно нанести на рис. 2.2 рабочую точку с координатами: 80 В по горизонтали и 3 мА (ток анода при заданном смещении) по вертикали. Подобные ошибки повторяются и во втором каскаде. Очевидно, что о качественном звучании такого усилителя рассуждать бессмысленно. Разумеется, авторы подобных схем — далеко не дилетанты, но что же заставило их столь некорректно реализовать каскад на 6Н1П?

Попробуем улучшить схему данного каскада, в частности, увеличив ток анода (поскольку звучание любых ламп наиболее полно раскрывается при максимально возможном токе анода); выберем следующую рабочую точку: напряжение на аноде $U_a = +140$ В, ток анода $I_a = 12,5$ мА. В итоге анодный ток увеличился более чем в 4 раза, что благотворно сказалось на звучании. Но за улучшение качества придется заплатить значительно возросшим падением напряжения на R_6 , а именно 500 В (выбираем минимальное значение $R_6 = 40$ кОм, тогда $I_a \times R_6 = 12,5 \text{ мА} \times 40 \text{ кОм} = 500 \text{ В}$)!

В нашем случае (при напряжении на аноде $U_a = +140 \text{ В}$) потребуется напряжение питания каскада, равное 640 В ($140 \text{ В} + 500 \text{ В}$)!!! Стоит ли серьезно усложнять конструкцию, габариты, массу, стоимость блока питания лишь с целью обеспечения оптимального режима работы первого каскада, ибо лампы выходного каскада (обычно трансформаторного) требовали вдвое меньшего напряжения питания? Именно так и рассуждали разработчики 50—70 гг. прошлого века. Не стоит забывать, что качественные высоковольтные конденсаторы (особенно электролитические) обладали гигантскими габаритами и массой, да и стоили огромных денег.

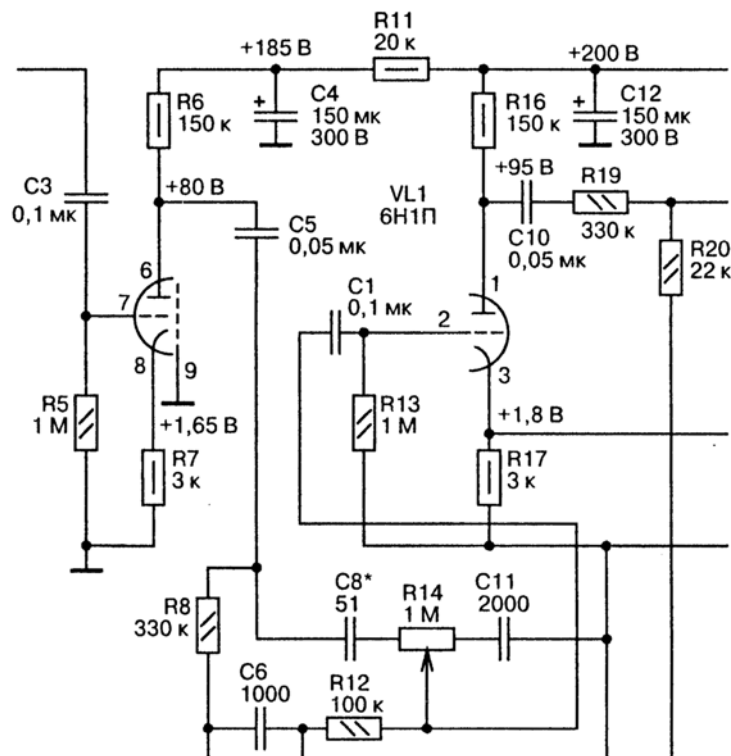


Рис. 2.3. Пример реализации каскада с резистивной нагрузкой

Посмотрите внимательно на типовые схемы усилителей тех лет: двухтактные каскады, класс усиления AB или $AB2$, даже B , широкое использование тетродов и пентодов. Налицо стремление удержать массогабаритные показатели и себестоимость в определенных рамках, характерных для серийного производства. В настоящее время ситуация обратная: однотактные (нередко трансформаторные) каскады, чистый класс A , триоды или псевдотриоды (пентоды и тетроды в триодном включении), а стоимость часто не берется в расчет!

Так можно ли решить задачу построения каскада на лампе 6Н1П без усложнения блока питания, с одной стороны, и ухудшения параметров — с другой?

Каскад с динамической нагрузкой, он же — SRPP

Ситуация сложная, но выходы есть — например, использование каскада с динамической нагрузкой (в зарубежной литературе — SRPP — Shunt Regulated Push-Pull). Можно встретить и прямую транслитерацию — СРПП. Пример такого каскада приведен на рис. 2.4.

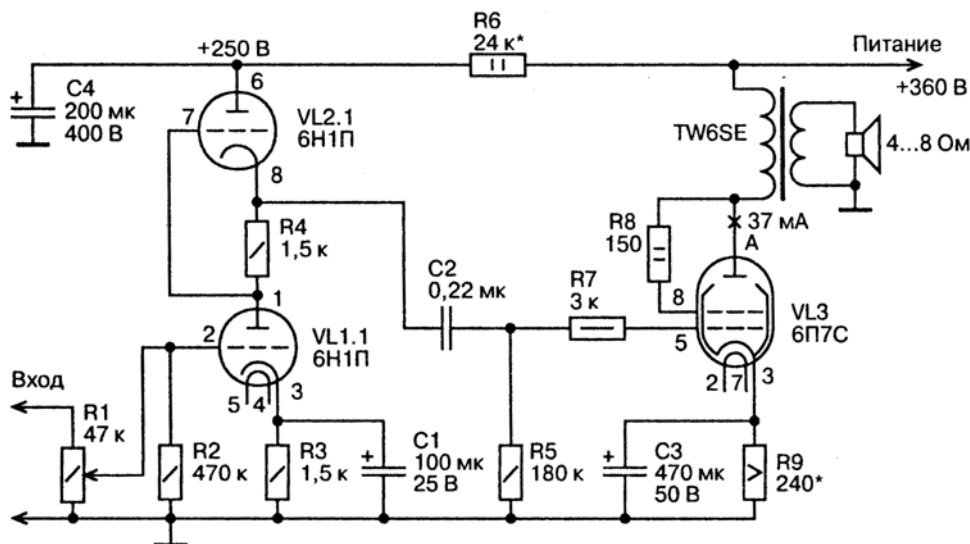


Рис. 2.4. Пример усилителя с SRPP-каскадом на входе

К преимуществам каскада с динамической нагрузкой следует отнести:

- низкое выходное сопротивление, т. к. верхний по схеме триод включен катодным повторителем;
- повышенную перегрузочную способность;
- высокую линейность, минимальный уровень искажений (верхний каскад представляет собой своего рода резистор очень большого сопротивления, но с ограниченным падением напряжения, не превышающим половины напряжения питания каскада);
- меньшее влияние пульсаций напряжения питания;
- улучшение качества звучания, разумеется, при правильном выборе лампы и грамотном расчете каскада, обычно сводящемся к определению оптимальной рабочей точки;
- возможности дальнейшей доработки схемы без применения дорогих и дефицитных элементов, сложных схемотехнических решений.

Недостатками можно считать сравнительно невысокий коэффициент усиления (пути его повышения будут рассмотрены далее), исполь-

зование обеих половинок лампы (впрочем, двойные малосигнальные триоды стоят недорого), высокое напряжение между катодом и подогревателем (следует подобрать лампу с соответствующим значением данного параметра или подать на фиктивную среднюю точку цепи накала положительное напряжение от примитивного делителя). Кроме того, не все лампы хорошо звучат в подобном включении; например, Джозеф Эсмилла (основатель фирмы «JE Labs») рекомендует применять в SRPP только лампы с внутренним сопротивлением более 10 кОм. Со своей стороны, автор книги предлагает предварительно прослушивать звучание макета SRPP с различными лампами (при соответствующем выборе рабочих точек) и самостоятельно решать вопрос о применимости этих ламп в СРПП.

Внимание! Следует помнить, что лампы различных изготовителей, годов выпуска и даже партий могут иметь различные звуковые сигнатуры. Настоятельно рекомендуем приобретать лампы парами, принадлежащими одной партии, — достаточно совпадения логотипов завода изготовителя и даты выпуска.

Однако достоинства каскада с динамической нагрузкой с лихвой перекрывают его недостатки, о чем свидетельствует широкое его использование в современных конструкциях.

Это рабочий вариант схемы, требующий внесения корректив: резистор R6 желательно заменить на дроссель с малым активным сопротивлением, тем самым подняв величину анодного напряжения, что благоприятно сказывается на звучании. Подбором величины R3 и R4 выставляется больший ток анода. Рабочая точка (для каждой половинки лампы 6Н1П) будет выглядеть так: $U_a = +177$ В, $I_a = 10$ мА, $U_{см} = -3$ В, что весьма близко к оптимальному значению, в чем легко убедиться, нанеся точку с такими координатами на рис. 2.2. Можно пойти по пути дальнейшего усовершенствования схемы, например, применив батарейное (фиксированное) смещение нижней по схеме половинки 6Н1П, либо подобрать номинал резистора R4 в пределах $(0,5...1,5)R3$ для достижения наилучшего звучания.

Мю-повторитель или усиленный SRPP

Еще один шаг к совершенству — применение мю-повторителя (*mu-follower*; в зарубежной литературе под термином «*mu-follower*» часто подразумевают SRPP. Автор считает, что следует разделить эти понятия, например, использовать терминологию: «СРПП» и «усиленный СРПП» как предложено в [3]) — показан на рис. 2.5 [4].

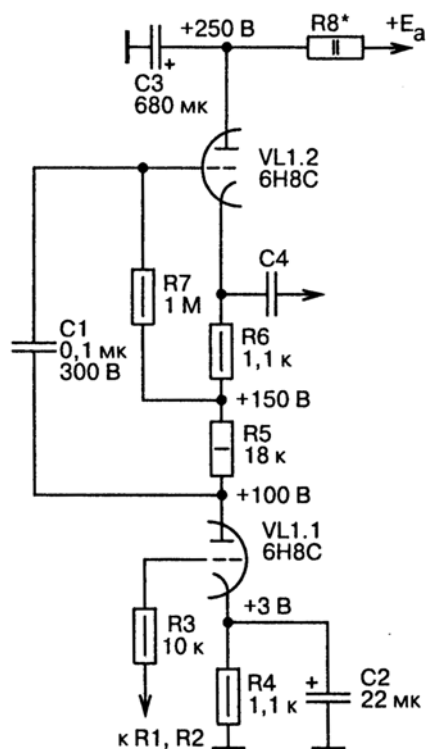


Рис. 2.5. Мю-повторитель на лампе 6Н8С

Схему мю-повторителя впервые предложил Аллан Киммел (Allan Kimmel), большой мастер по проектированию сложных ламповых каскадов. Свое название каскад получил вследствие близости его статического коэффициента усиления μ («мю») к аналогичному параметру нижнего триода, недостижимому в предыдущих схемах. Кстати, Киммел предложил и другие варианты развития схемотехники SRPP, подробно рассмотренные в [3].

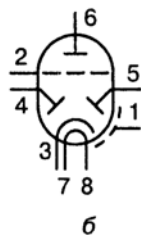
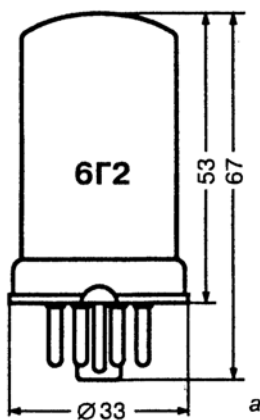
Помните, что любую конструкцию можно усовершенствовать — не останавливайтесь на достигнутом!

Дополнительная информация

Полезные ссылки по лампе 6Н1П — www.klausmobile.narod.ru/testerfiles/6n1p.htm.

Общие характеристики

Лампа разработана для детектирования и усиления напряжения низкой частоты. Применяется в приемо-усилительной и измерительной аппаратуре.



Назначение выводов:

- 1 — баллон;
- 2 — сетка;
- 3 — катод;
- 4 — анод второго диода;
- 5 — анод первого диода;
- 6 — анод триода;
- 7 и 8 — подогреватель (накал)

Рис. 2.6. Лампа 6Г2: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Оформление — металлическое. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	3,2;
выходная.....	3,0;
проходная.....	1,6.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	300 ±25;
напряжение на аноде, В.....	250;
напряжение смещения на управляющей сетке, В.....	-2,0;

ток в цепи анода триода, мА..... $1,15 \pm 0,65$;
крутизна характеристики, мА/В..... $1,1 \pm 0,3$;
внутреннее сопротивление, кОм 91;
коэффициент усиления..... 100.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В 6,9;
наименьшее напряжение накала, В..... 5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В 330;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В 100;
мощность, рассеиваемая анодом, Вт..... 1,0.

Лампа 6Г2 имеет полный зарубежный аналог — 6SQ7. Близка к ним по параметрам и лампа 6AV6.

Внимание! Лампы 6Г2 и 6AV6 различаются цоколевкой, прямая замена (без перепайки выводов панельки) недопустима.

Имеется вариант 6Г2 с напряжением накала 12,6 В — 12Г2.

В случае отсутствия вышеперечисленных ламп 6Г2 можно заменить лампой 6Г7, имеющей иную цоколевку. Подобная замена нежелательна, т. к. 6Г7 имеет меньший коэффициент усиления — 70, против 100 у 6Г2. Существуют и двойные триоды, близкие к 6Г2: пальчиковый — 6Н2П (по основным параметрам), октальный — 6Н9С (по звуковой сигнатуре).

Достоинства:

- большой (для триода) коэффициент усиления;
- линейные характеристики;
- хорошая звуковая сигнатура;
- прочная конструкция, что весьма важно, например, для гитарных усилителей.

Недостатки:

- один триод в баллоне;
- высокое внутреннее сопротивление;
- неглубокий (до $-3,5$ В) раскрыв анодных характеристик;
- лампа давно не выпускается, запасы сравнительно невелики.

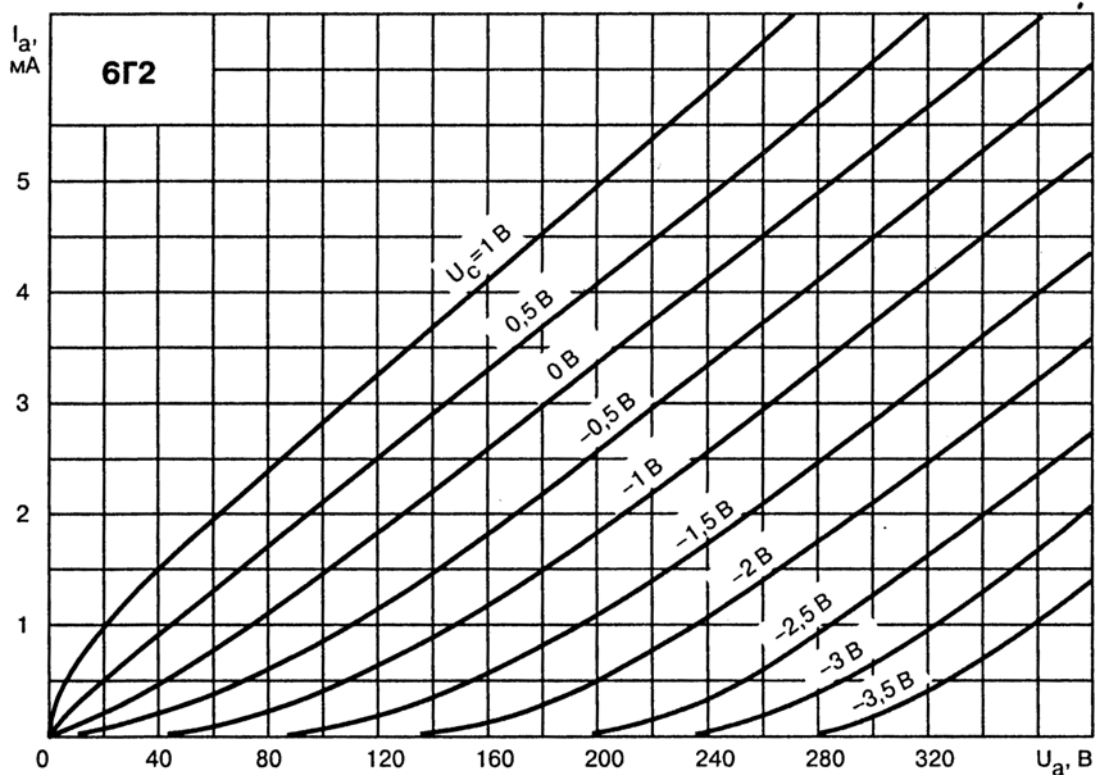


Рис. 2.7. Типовые вольт-амперные характеристики 6Г2

Пути устранения недостатков

Для устранения отмеченных недостатков требуется полная реализация возможностей лампы, особенно — высокого коэффициента усиления. Например, используя СРПП или мю-повторитель, можно заметно увеличить усиление каскада, а его выходное сопротивление снизить до 20...25 кОм. Ввиду дефицитности лампы 6Г2 неэффективно ее использование в качестве верхнего триода СРПП; для этих целей можно применить, например, половинку лампы 6Н2П или 6Н9С.

Внимание! Наибольшее постоянное напряжение между катодом и подогревателем у двух последних ламп составляет всего 100 В, поэтому при построении СРПП-каскада на этих лампах необходимо подать на подогреватель положительный потенциал порядка +120 В.

Реализация каскадов звукоусиления

Примеры построения каскадов с различными способами подачи смещения

Схема, показанная на рис. 2.8, при напряжении питания каскада $V = +300$ В (не путать с величиной анодного напряжения U_a , являющегося напряжением между анодом и катодом лампы позволяющей получить коэффициент усиления 40...45 при разумной величине сопротивления анодной нагрузки R_a (не более 250 кОм). Попытки поднять усиление за счет увеличения R_a вплоть до 2 МОм хотя и позволят добиться коэффициента усиления 60...65, но приведут к серьезному росту уровня нелинейных искажений. Более подробно эта проблема и пути ее решения описаны в разделе, посвященном лампе 6Н1П.

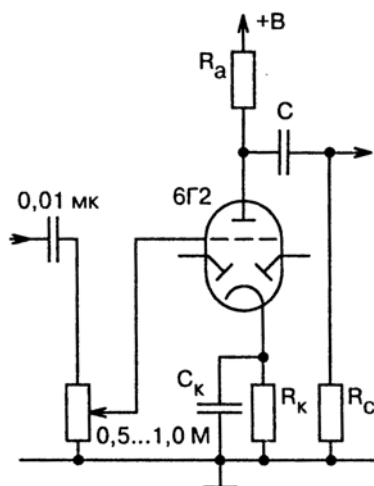


Рис. 2.8. Типовая схема построения резистивного каскада

Следующая схема гитарного усилителя фирмы «Rickenbacker» (рис. 2.9) — пример практического использования 6Г2 в качестве лампы входного каскада усилителя.

Примечание. В исходной фирменной схеме были допущены ошибки; в частности, катод кенотрона был соединен не с цепью анодного питания, а был заземлен; в цепи катода выходной лампы был поставлен резистор с нереальным значением сопротивления 500 кОм. Поэтому к любым документам, даже фирменным, следует относиться критически. Ошибки (опечатки) могут встречаться везде.

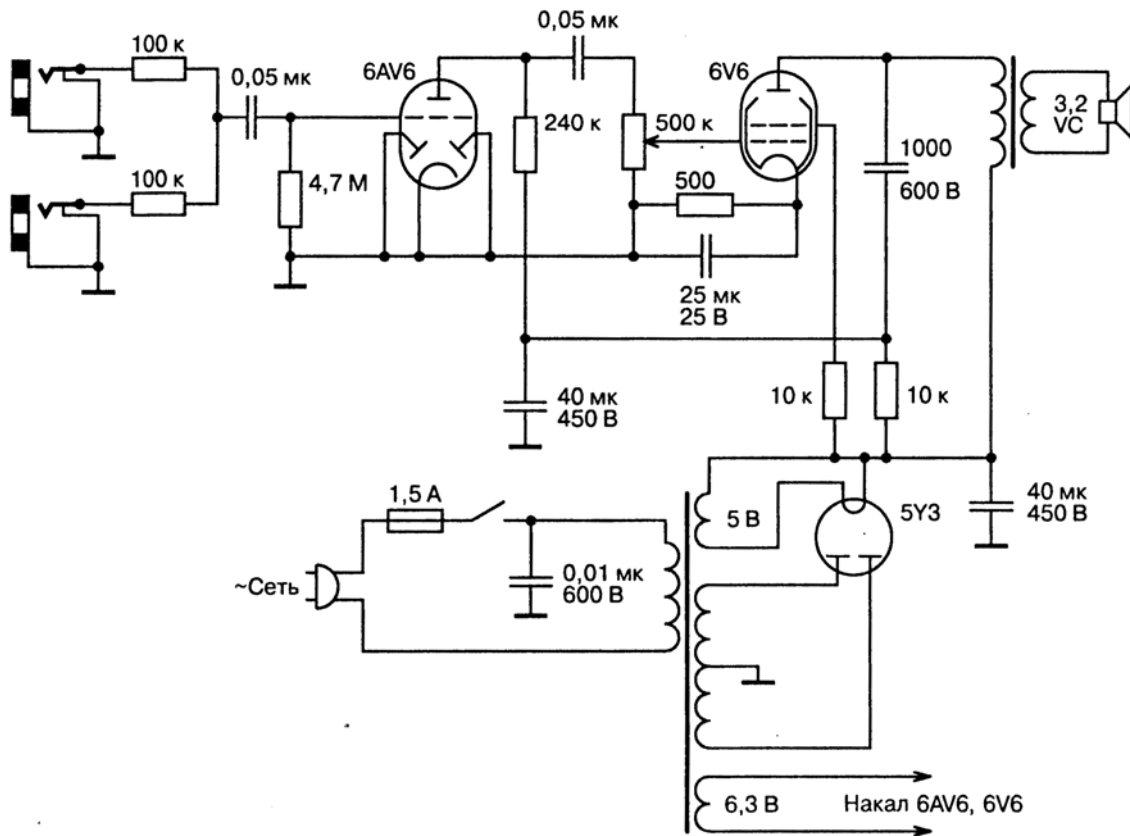


Рис. 2.9. Пример построения входного каскада на лампе 6Г2

Если в схеме на рис. 2.8 смещение организуется за счет падения напряжения на катодном резисторе R_k (т. н. **автосмещение**), вызываемого протеканием через этот резистор анодного тока, то в схеме на рис. 2.9 напряжение смещения возникает при протекании **термотокков** сетки через резистор утечки сетки.

Основным недостатком первого способа является необходимость включения в цепь катода лампы конденсатора большой емкости (обычно электролитического), оказывающего негативное воздействие на звучание усилителя. Кроме того, автосмещение ухудшает передачу сигналов в области нижней границы частотного диапазона. К достоинствам можно отнести простоту реализации автосмещения, большую стабильность и долговечность работы лампы, возможность использования ламп, бывших в употреблении и работавших в жестких условиях. Существуют лампы, нормальная работа которых возможна только в режиме автосмещения, т. к. в остальных случаях возникает сильный саморазогрев (например, 6П14П, 6С33С).

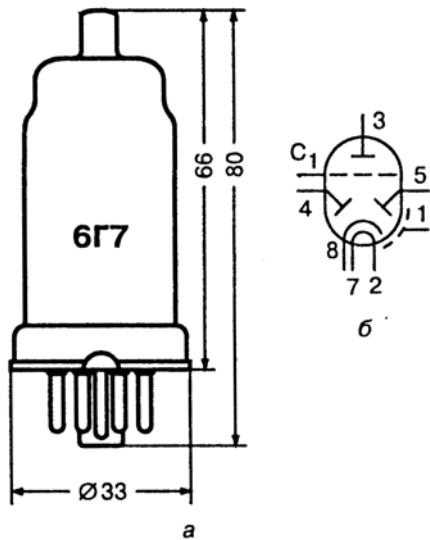
Второй способ можно применять только для малосигнальных ламп во входных каскадах микрофонных и гитарных усилителей.

6Г7

Двойной диод-триод

Общие характеристики

Лампа разработана для детектирования и усиления напряжения низкой частоты. Применяется в приемно-усилительной и измерительной аппаратуре.



Назначение выводов:

- 1 — баллон;
- 2 и 7 — подогреватель (накал);
- 3 — анод триода;
- 4 — анод второго диода;
- 5 — анод первого диода;
- 8 — катод;
- C₁ — верхний колпачок на баллоне — управляющая сетка

Рис. 2.10. Лампа 6Г7: а — основные размеры, б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Оформление — металлическое. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	5,0;
выходная.....	3,8;
проходная.....	1,4.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В	6,3;
ток накала, мА	300 ± 25 ;
напряжение на аноде, В	250;
напряжение смещения на управляющей сетке, В	-3,0;
ток в цепи анода триода, мА	$1,4 \pm 0,8$;
крутизна характеристики, мА/В	$1,3 \pm 0,35$;
внутреннее сопротивление, кОм	54;
коэффициент усиления	70.

Предельные электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В	7,0;
наименьшее напряжение накала, В	5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В	300;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В	100;
мощность, рассеиваемая анодом, Вт	1,0.

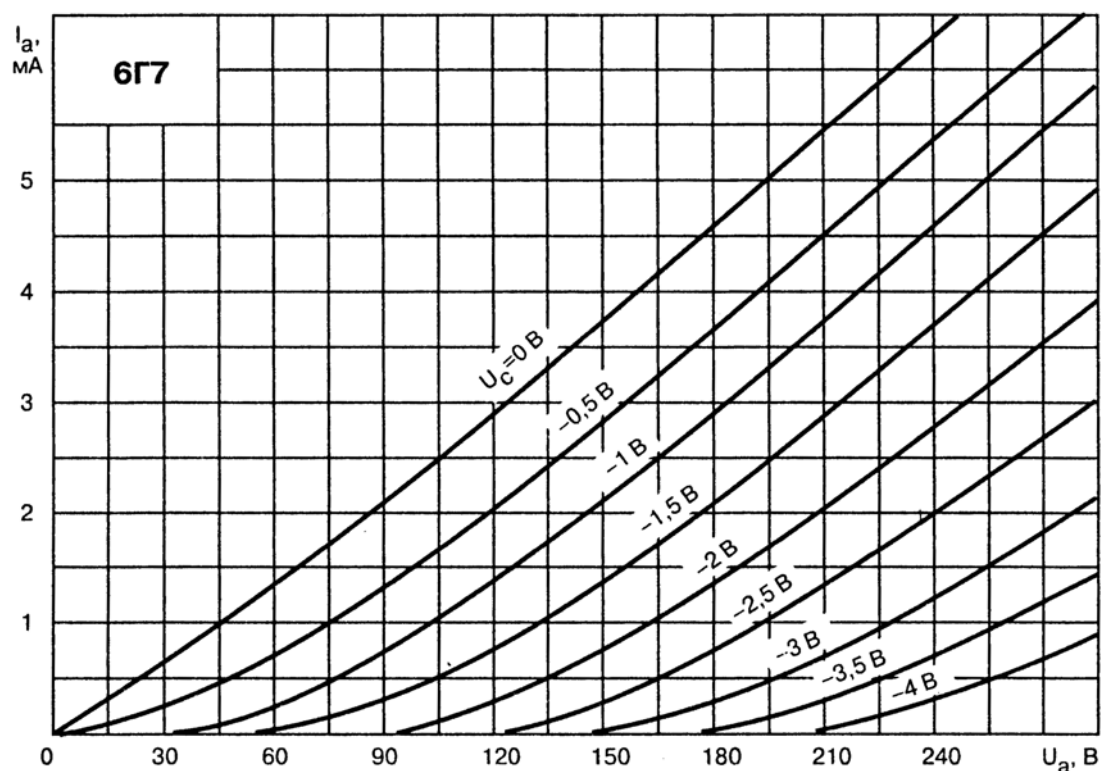


Рис. 2.11. Типовые вольт-амперные характеристики 6Г7

Лампа 6Г7 имеет полный зарубежный аналог — 6Q7. Из двойных триодов близкими параметрами (и звуковой сигнатурой) обладает 6Н9С, из монотриодов — 6Г2.

Лампа 6Г7 также имеет аналог в стеклянном оформлении — 6Г7С. Применяется 6Г7 аналогично лампе 6Г2.

Достоинства:

- по звуковой сигнатуре превосходит 6Г2, 6Н9С и многие другие лампы;
- меньшее, чем у 6Г2, внутреннее сопротивление;
- прочный металлический баллон.

Недостатки:

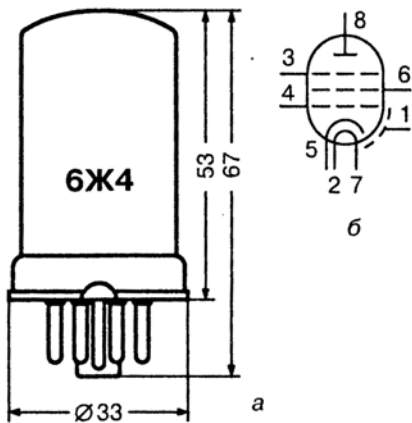
- один триод в баллоне;
- вывод управляющей сетки вынесен на колпачок баллона;
- уступает лампе 6Г2 по коэффициенту усиления;
- лампа достаточно дефицитна.

6Ж4

Пентод высокой частоты с короткой характеристикой

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления напряжения высокой частоты.



Назначение выводов:

- 1 — баллон;
- 2 и 7 — подогреватель (накал);
- 3 — третья сетка;
- 4 — первая сетка;
- 5 — катод;
- 6 — вторая сетка;
- 8 — анод

Рис. 2.12. Лампа 6Ж4: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Оформление — металлическое. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	$9 \pm 2,2;$
выходная.....	$5 \pm 1,5;$
проходная, не более.....	$0,015.$

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	$450 \pm 25;$
напряжение на аноде, В.....	300;
напряжение на второй сетке, В.....	150;
напряжение на третьей сетке, В.....	0;

ток в цепи анода, мА $10,25 \pm 2,25$;
 ток в цепи второй сетки, мА $2,2 \pm 1,0$;
 крутизна характеристики, мА/В $9,0 \pm 2,0$;
 внутреннее сопротивление, МОм 1,0.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В 7,0;
 наименьшее напряжение накала, В 5,7;
 наибольшее напряжение на аноде, В 330;
 наибольшее напряжение на второй сетке, В 165;
 наибольшее постоянное напряжение между катодом и подогревателем, В 100;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 3,3;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт 0,45.

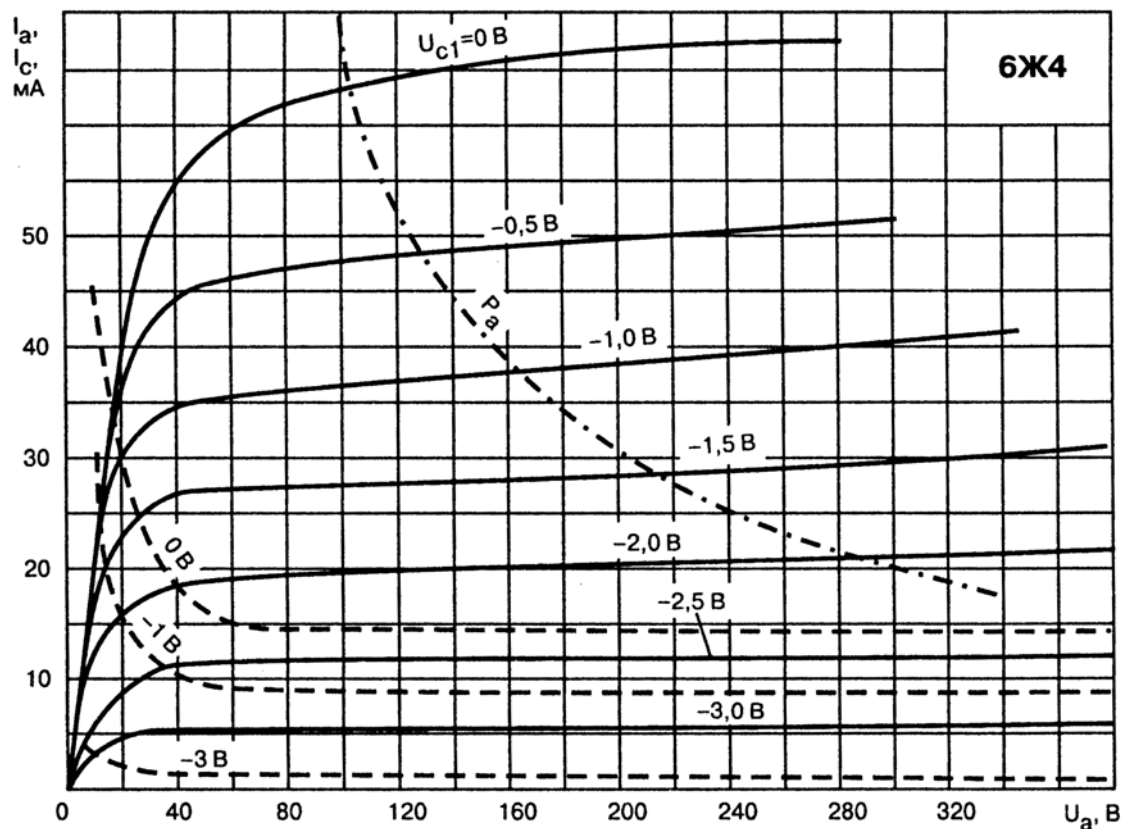


Рис. 2.13. Типовые вольт-амперные характеристики 6Ж4 при напряжении на второй сетке 150 В и напряжении на третьей сетке 0 В

Лампа 6Ж4 имеет полный зарубежный аналог — 6АС7. Из отечественных ламп аналогом является пальчиковая лампа 6Ж5П.

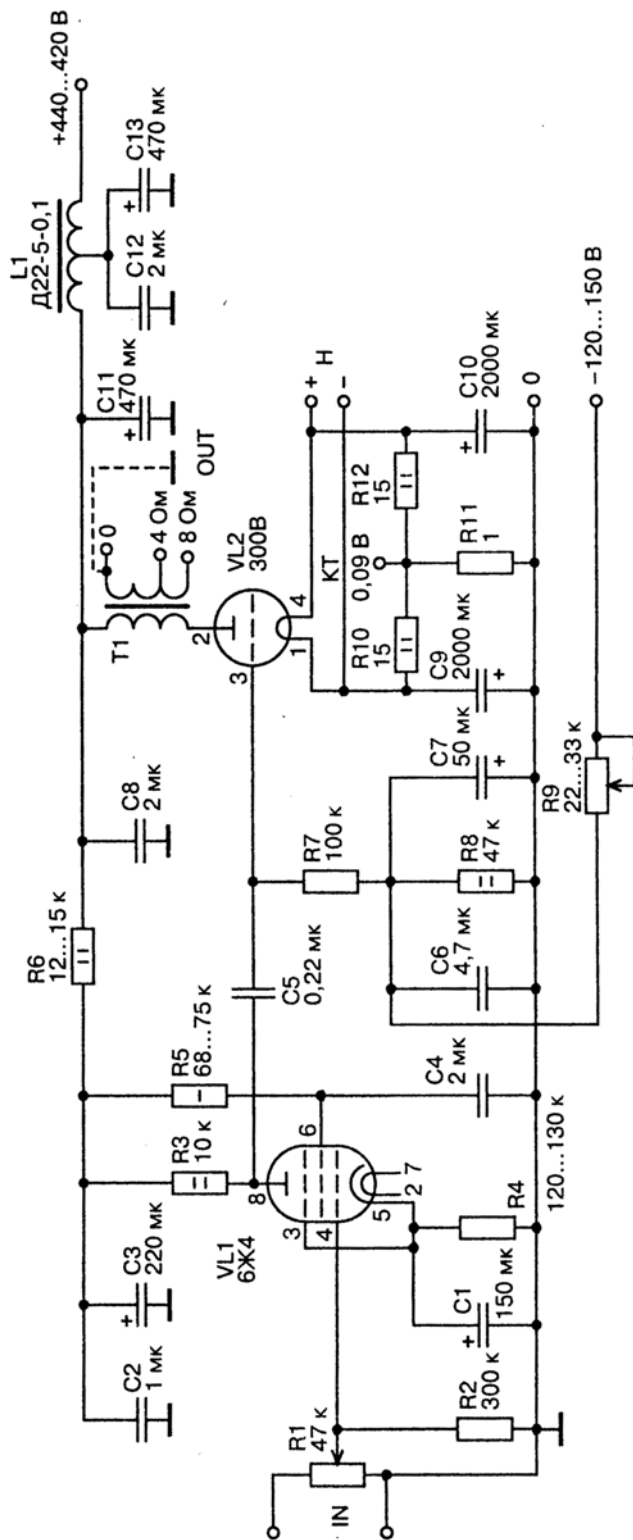


Рис. 2.14. Схема усилителя с входным каскадом на лампе 6Ж4 в пентодном включении

Пентодное (штатное) включение лампы 6Ж4

Достоинства:

- высокая линейность;
- большой коэффициент усиления, позволяющий реализовать однокаскадный усилитель напряжения для раскачки выходного триода 300 В;
- малое эквивалентное сопротивление шумов (600...700 Ом);
- низкая цена;
- высокая механическая прочность.

Недостатки:

- рекомендуется использование только в режиме с автосмещением вследствие большой крутизны характеристики;
- «пентоды не могут хорошо звучать!» — еще один стереотип. Во-первых, следует не доверять столь категоричным высказываниям, но проверять их на практике. Во-вторых, разработчики мирового класса используют пентоды в своих лучших конструкциях. Кроме того, пентод нетрудно превратить в триод.

Пример реализации пентодного включения лампы 6Ж4

На рис. 2.14 приведена схема усилителя мощности (разработчик — А. Манаков), содержащая всего два каскада — входной (он же — драйверный!) и оконечный. Такое построение стало возможным благодаря использованию в первом каскаде пентода 6Ж4, обладающего очень высоким усилением. Вопреки мнениям скептиков, этот усилитель обладает прекрасным звучанием и настоятельно рекомендуется опытным радиолюбителям для самостоятельного изготовления.

Триодное включение

Параметры лампы 6Ж4 в триодном включении

Обратите внимание на рис. 2.15 — настоящие триодные характеристики!

Приведем некоторые параметры такого триода (в скобках — аналогичные параметры в пентодном включении):

эквивалентное сопротивление шумов, Ом 200 (600...700);
крутизна характеристики, мА/В..... 11 (9);

ток в цепи анода, мА 12,5 (10);
 внутреннее сопротивление, кОм 3,6 (1000);
 коэффициент усиления.....40 (9000).

Налицо явное улучшение параметров! Недостатками можно считать существенное снижение усиления и максимального напряжения на аноде, т. к. в триодном включении вторая сетка соединена с анодом через резистор небольшого номинала, а максимальное напряжение на ней почти вдвое (у лампы 6Ж4) ниже максимального напряжения на аноде. Однако существует немало пентодов, у которых эти величины равны. В конце концов, значение одного параметра допускается превысить (при этом важно, чтобы следом за напряжением, не оказалась превышена допустимая рассеиваемая на второй сетке мощность).

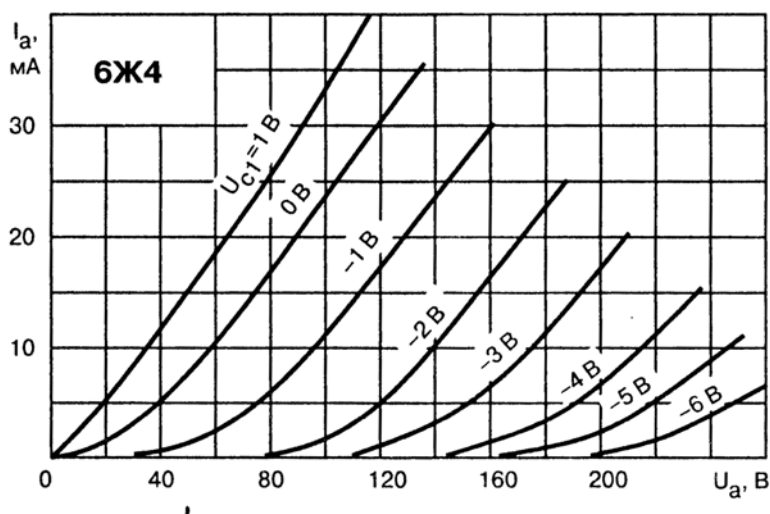


Рис. 2.15. Типовые вольт-амперные характеристики 6Ж4 в триодном включении

Пример построения каскада на лампе 6Ж4 в триодном включении

В схеме, представленной на рис. 2.16, автор конструкции (разработчик — А. Соколов) собрал воедино ряд оригинальных решений.

- Вторая сетка лампы 6Ж4 через резистор 130 Ом подключена к аноду, превращая пентод в триод. Подробнее о триодном включении пентодов можно прочитать в [5].
- Смещение каскадов — **батареинное**. Такой способ организации смещения обладает рядом преимуществ: не требуется катодный резистор и конденсатор; нет термотокков сетки, можно использовать с любыми лампами; не нужен дополнительный источник напряжения смещения.

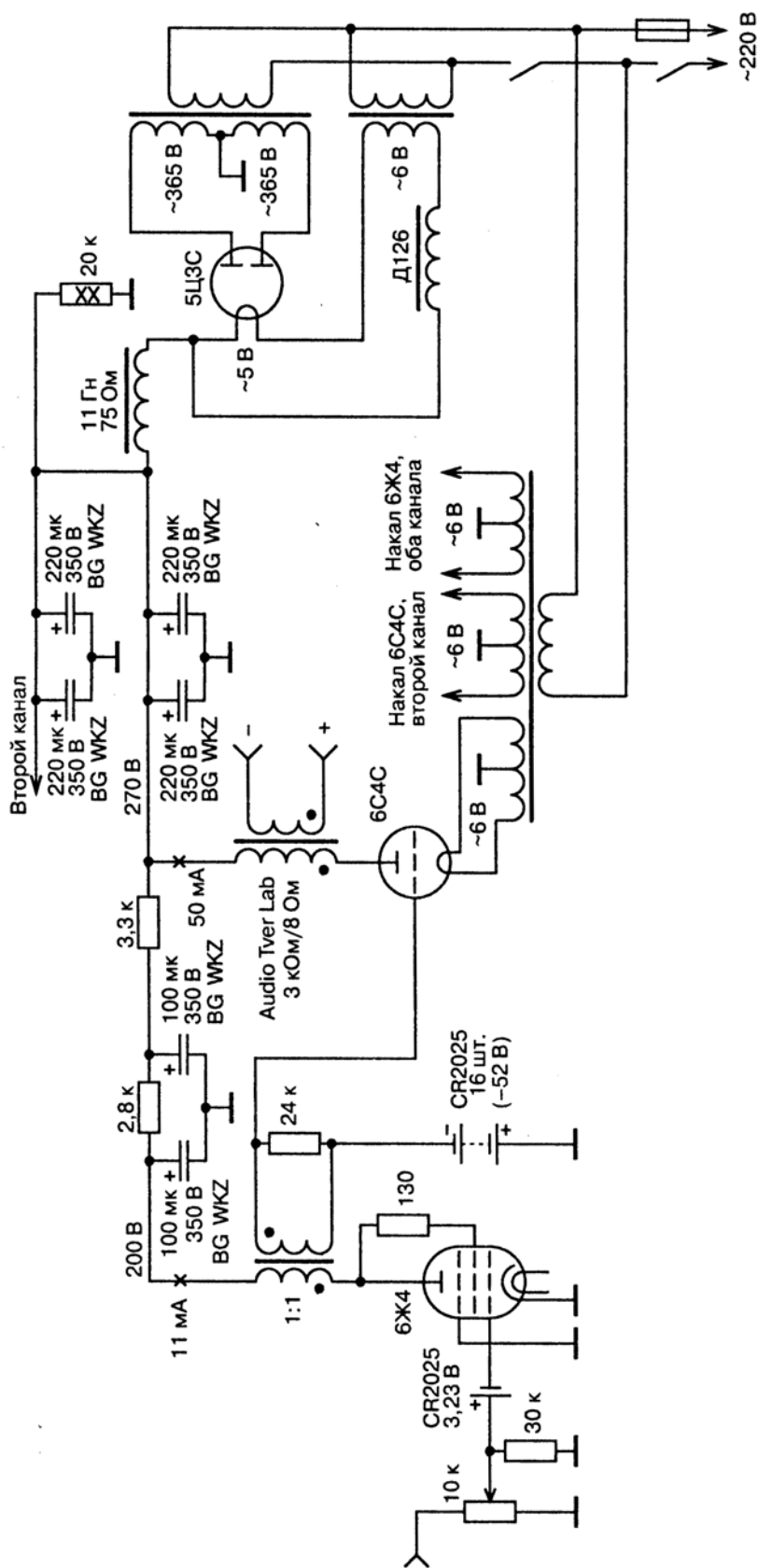


Рис. 2.16. Схема усилителя с входным каскадом на лампе 6Ж4 в триодном включении

К недостаткам можно отнести: необходимость подбора батареек по минимальному влиянию на звучание усилителя; периодическую (раз в 1—3 года) замену батареек вследствие саморазряда. Существует также опасность выхода ламп из строя в случае перенапряжения эл. сети, т. к. смещение остается неизменным, приводя к росту анодного тока по закону $3/2$ (изменение анодного тока пропорционально изменению напряжения на аноде, взятому в степени $3/2$). Данная проблема решается при использовании стабилизаторов анодного напряжения. (Стабилизатор — конструкция громоздкая, недешевая и не всегда оптимальная. Дело в том, что сказанное выше верно для идеального источника питания: в реальных условиях, возрастание анодного тока повлечет за собой дополнительное падение напряжения на вторичной обмотке силового трансформатора, кенотроне и дросселе. Разумным компромиссом будет выбор рабочей точки лампы несколько ниже расчетной.)

- Первый каскад — по схеме с трансформаторной нагрузкой.

Преимущества трансформаторного каскада перед резистивным следующие:

- высокий КПД;
- возможность согласования с любой нагрузкой;
- меньшее напряжение питания каскада;
- максимально возможное усиление;
- более естественный звук.

Недостатки (как же без них):

- значительные габариты, масса;
- высокая цена;
- необходимость экранировки;
- большие фазовые сдвиги.

По ходу повествования мы еще будем обращаться к теме звуковых трансформаторов и трансформаторных каскадов, однако их подробное рассмотрение — тема для отдельной серии книг.

Триодное включение пентодов: кто следующий?

Разумеется, 6Ж4 — не единственный представитель семейства пентодов, обеспечивающих высокие параметры и при работе в триодном включении; да и не лучший — напряжение на аноде такого триода ограничено предельным напряжением на второй сетке, вдвое меньшим анодного. Существует ряд пентодов, свободных от этого недостатка.

Примечание. Авторы рекомендуют к использованию в триодном включении следующие пентоды: 6Ж9П, 6Ж10П, 6Ж11П, 6Ж43П, 6Ж51П, 6Ж52П и приводят соответствующие режимы (табл. 2.1 и 2.2).

*Режимы девятиштырьковых пентодов в триодном включении
(при $U_{пит} = 250 \text{ В}$, $R_a = 22 \text{ кОм}$, $R_k = 470 \text{ Ом}$, $C_k = 470 \text{ мкФ}$, $U_{вх} = \sim 1 \text{ В}$)*

Таблица 2.1

Наименование лампы	6Ж9П	6Ж10П	6Ж11П	6Ж43П	6Ж51П	6Ж52П
Напряжение на аноде, В	145	142	128	163	161	153
Напряжение смещения, В	-2,3	-2,6	-2,7	-1,9	-1,9	-2,06
Выходное напряжение каскада, В (среднеквадр.)	38	37	34	56	56	57

*Режимы девятиштырьковых пентодов в триодном включении
(при $U_{пит} = 250 \text{ В}$, $R_a = 4,75 \text{ кОм}$, $R_k = 160 \text{ Ом}$, $C_k = 470 \text{ мкФ}$, $U_{вх} = \sim 1 \text{ В}$)*

Таблица 2.2

Наименование лампы	6Ж9П	6Ж10П	6Ж11П	6Ж43П	6Ж51П	6Ж52П
Напряжение на аноде, В	180	176	165	195	194	186
Напряжение смещения, В	-2,3	-2,5	-2,8	-1,9	-1,9	-2,15
Выходное напряжение каскада, В (среднеквадр.)	29	30	31	42	43	47

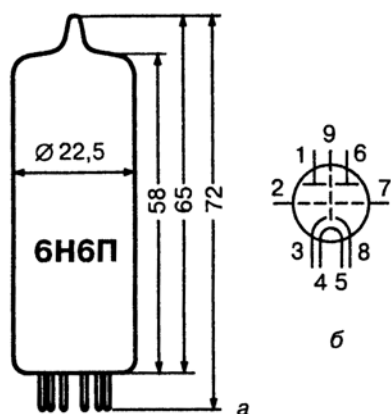
К сожалению, в справочниках крайне редко встречаются параметры пентодов в триодном включении. В приложении 1 приводится методика их определения.

6Н6П

Двойной триод с отдельными катодами

Общие характеристики

Лампа 6Н6П предназначена для усиления мощности низкой частоты.



Назначение выводов:

- 1 — анод первого триода;
- 2 — сетка первого триода;
- 3 — катод первого триода;
- 4 и 5 — подогреватель (накал);
- 6 — анод второго триода;
- 7 — сетка второго триода;
- 8 — катод второго триода;
- 9 — экран

Рис. 2.17. Лампа 6Н6П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Лампа в стеклянном пальчиковом оформлении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь 9-штырьковый с пугочным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная каждого триода	4,5;
выходная каждого триода, не более	2,1;
проходная каждого триода, не более	3,5;
между анодами, не более	0,1.

Номинальные электрические параметры (для каждого триода):

напряжение накала, В	6,3;
ток накала, мА	750 ± 50;
напряжение на аноде, В	120;
ток в цепи анода, мА	30 ± 10;

крутизна характеристики, мА/В..... 11 ±3;
внутреннее сопротивление, кОм 1,8;
коэффициент усиления.....20 ±4.

Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода):

наибольшее напряжение накала, В 7,0;
наименьшее напряжение накала, В..... 5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В 300;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт..... 4,8;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В 200;
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм 1,0.

Прямых аналогов нет. Наиболее близки по параметрам и назначению (в качестве драйвера) отечественная 6Н30П и зарубежная 5687.

Достоинства:

- два триода в баллоне;
- лампа вполне пригодна (низкое внутреннее сопротивление, достаточная мощность анода) в качестве драйвера для раскачки мощных выходных каскадов, зачастую работающих в режимах с токами сетки;
- параметры такого драйвера могут быть значительно улучшены при параллельном включении обоих триодов баллона (напомним, при этом вдвое снижаются внутреннее сопротивление и ламповые шумы, во столько же раз возрастает крутизна характеристики), вплотную приближаясь к параметрам триода 6Н30П — лампы более дорогой и дефицитной;
- низкая цена, широкое распространение.

Недостаток (или продолжение достоинств?):

- ряд «экспертов» считает лампу «незвучащей», что весьма удивительно, т. к. Хирояши Кондо (руководитель фирмы «AudioNote Japan», разработчик экстракласса) применил аналогичную 5687 в знаменитом усилителе «Ongaku» (рис. 2.19).

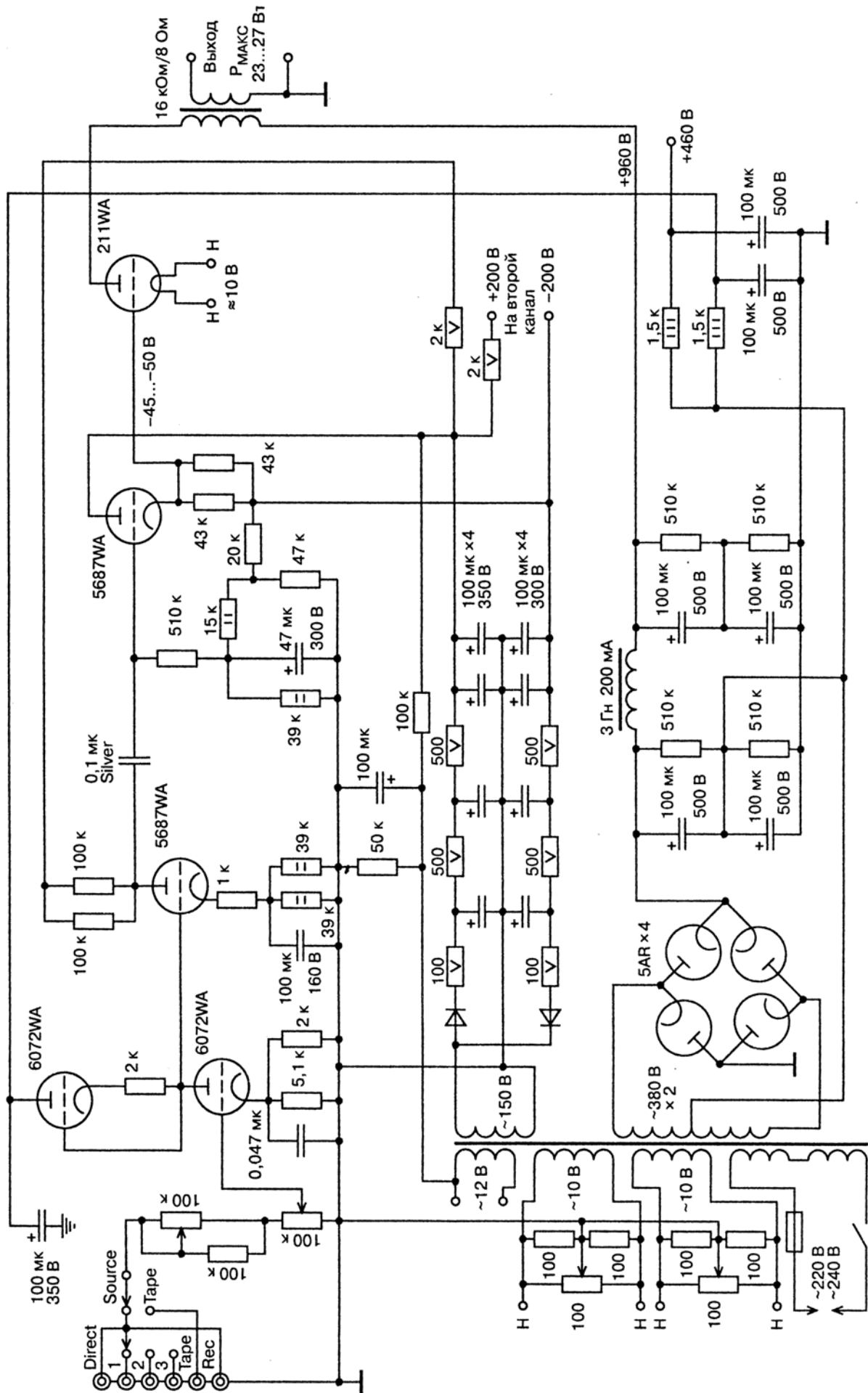


Рис. 2.19. Усилитель «Олгаки»

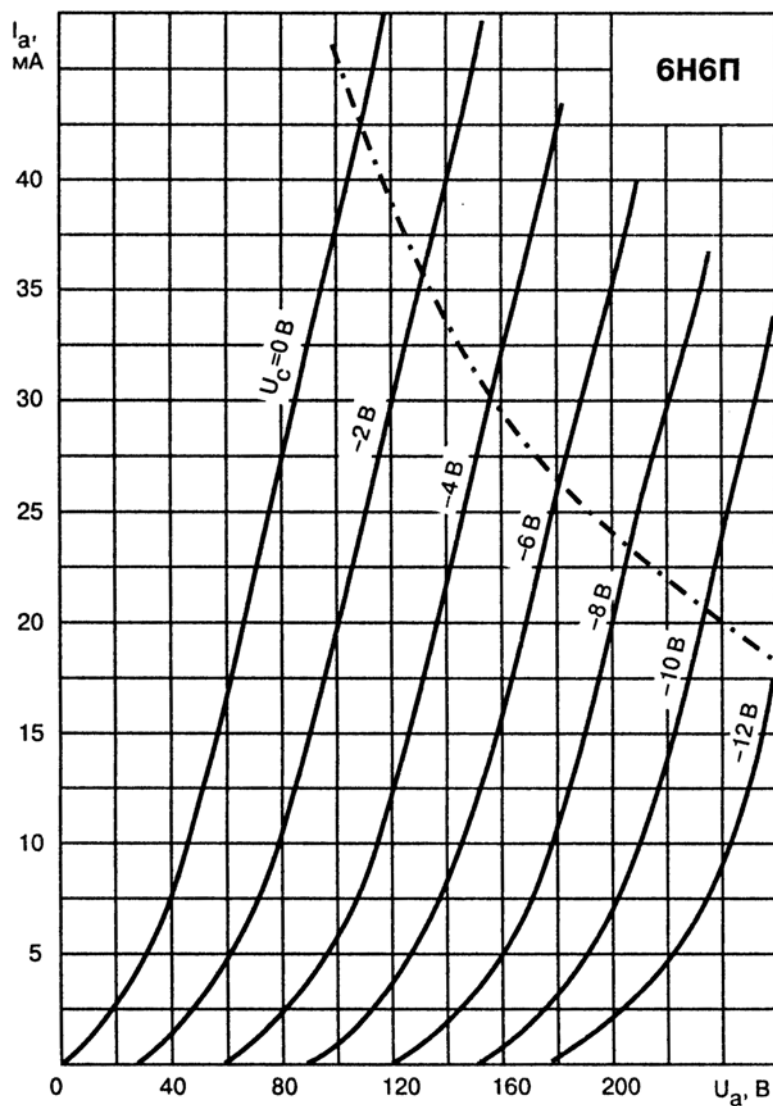


Рис. 2.18. Типовые вольт-амперные характеристики 6Н6П

Рассмотрим особенности усилителя «Ongaku».

- Блок питания выполнен по мостовой схеме. Не следует забывать, что влияние блока питания на звучание однотактных усилителей может быть сопоставимо с влиянием всех остальных каскадов! Относитесь к его разработке и изготовлению с предельным вниманием.

Входной каскад выполнен по схеме СРПП.

- Непосредственная (без разделительного конденсатора или межкаскадного трансформатора) связь между первым и вторым каскадами. Такое решение носит название «Схема Лофтина—Уайта» по имени разработчиков (Loftin—White), предложивших реализацию непосредственной связи между каскадами еще в

1929 г. Очевидно, отсутствие разделительного элемента благотворно сказывается на звучании усилителя.

- Третий каскад выполнен по схеме **катодного повторителя**, обладающего крайне низким выходным сопротивлением, т. к. охвачен глубокой (100 %) местной ООС. Хотя использование подобных каскадов часто критикуется именно из-за наличия ООС, альтернатива — использование трансформаторного каскада — также не лишена недостатков. Право выбора остается за разработчиком.

Удивительно, но многие специалисты, критикуя СРПП, катодный повторитель, схему Лофтина—Уайта и режимы с токами сетки за реальные и мнимые недостатки, при этом поют дифирамбы усилителю «Ongaku», включающему в себя все эти решения!

Дополнительная информация

Дополнительную информацию по лампе 6Н6П можно почерпнуть на сайте www.klausmobile.narod.ru/testerfiles/6n6p.htm.

6Н8С

Двойной триод с отдельными катодами

Общие характеристики

Лампа 6Н8С разработана для усиления напряжения низкой частоты. Применяется в предварительных каскадах усиления низкой частоты и каскадах фазоинверторов.

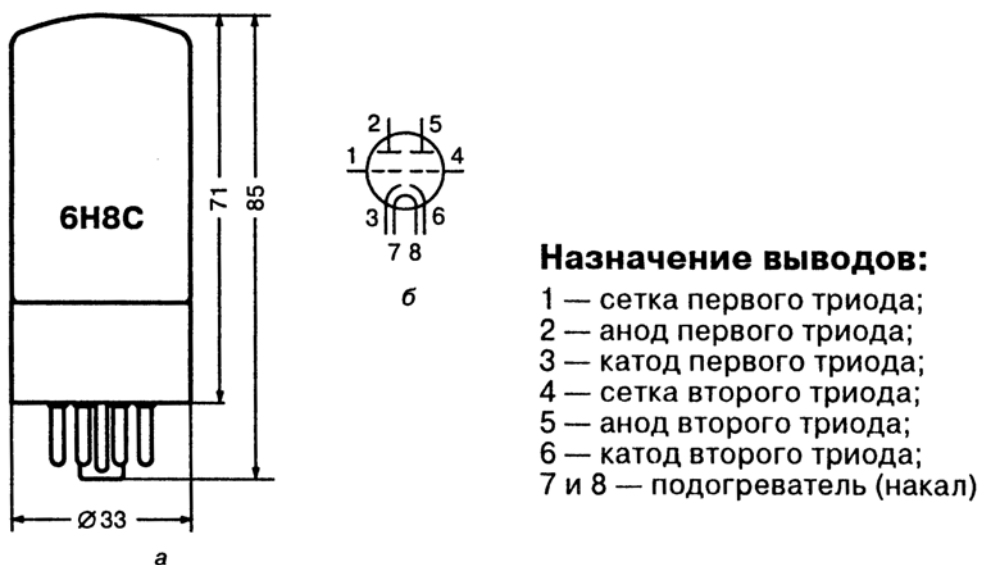


Рис. 2.20. Лампа 6Н8С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная первого триода	2,8;
выходная первого триода	0,8;
проходная первого триода	3,8;

<i>входная второго триода</i>	3,0;
<i>выходная второго триода</i>	1,2;
<i>проходная второго триода</i>	4,0.

Номинальные электрические параметры (для каждого триода):

<i>напряжение накала, В</i>	6,3;
<i>ток накала, мА</i>	600 ±50;
<i>напряжение на аноде, В</i>	250;
<i>ток в цепи анода, мА</i>	9 ±3,5;
<i>крутизна характеристики, мА/В</i>	2,6 ±0,53;
<i>внутреннее сопротивление, кОм</i>	7,7;
<i>коэффициент усиления</i>	20,5 ±2,5.

Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода):

<i>наибольшее напряжение накала, В</i>	7,0;
<i>наименьшее напряжение накала, В</i>	5,7;
<i>наибольшее напряжение на аноде, В</i>	330;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт</i>	2,75;
<i>наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В</i>	100;
<i>наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм</i>	0,5.

Лампа 6Н8С имеет пальчиковый аналог 6Н1П. Прямой зарубежный аналог — 6SN7.

Особенно ценятся лампы Московского электролампового завода (МЭЛЗ) выпуска 50-х годов прошлого века. Двойной триод 6Н8С можно заменить также двумя лампами 6С2С.

Достоинства:

- лампа изначально разработана для звукового применения и обладает хорошей сигнатурой;
- два триода в баллоне;
- высокая линейность, широкий раскрыв характеристик (см. рис. 2.21);
- достаточная мощность анода;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- невысокий коэффициент усиления, затрудняющий построение полного усилителя, состоящего всего из двух каскадов;
- наибольшее напряжение между катодом и подогревателем составляет всего 100 В. Не забывайте об этом, используя лампу в СРПП.

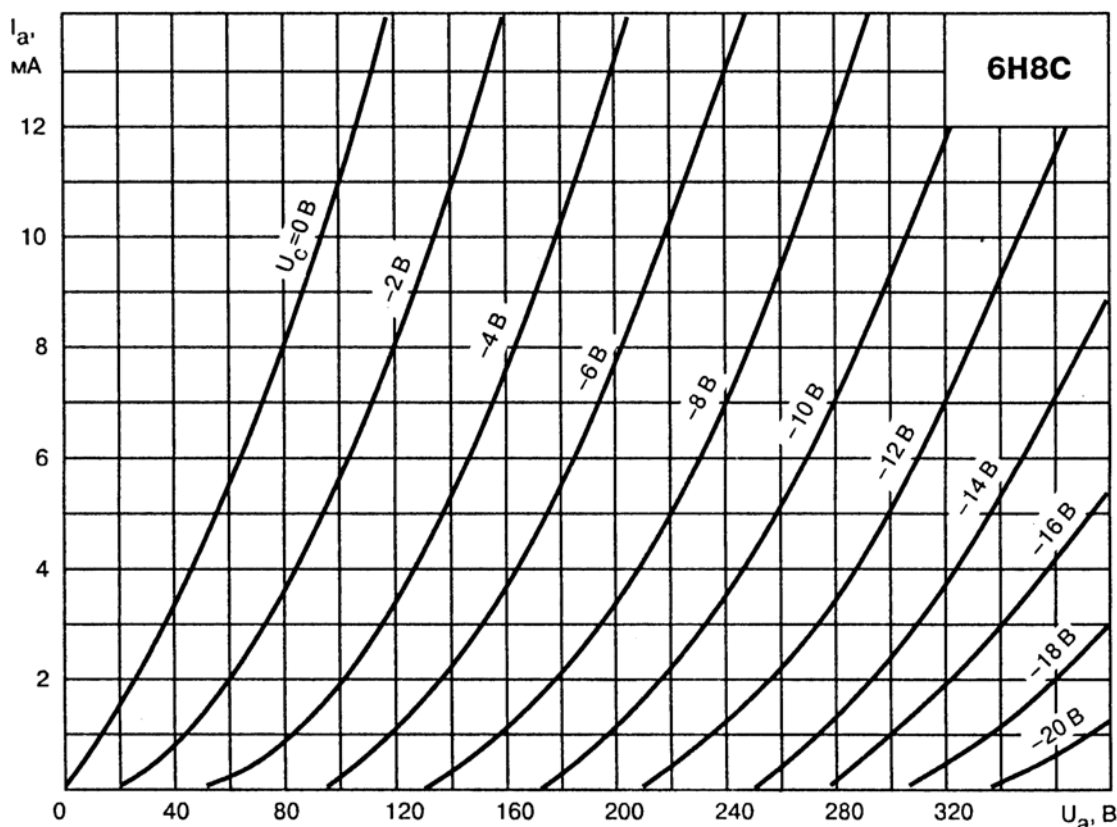


Рис. 2.21. Типовые вольт-амперные характеристики 6Н8С

Схемотехника

Винил-корректор

Несмотря на малый коэффициент усиления, лампа 6Н8С обладает меньшей (по сравнению с другими доступными лампами октального семейства) величиной внутреннего сопротивления. Включив ее в СРПП, можно добиться снижения выходного сопротивления до 2...2,5 кОм, что вполне приемлемо для выходного каскада винил-корректора (разработчик — А. Манаков), схема которого представлена на рис. 2.22.

Обратите внимание на способ подачи смещения с использованием светодиода (или стабилитрона в первом каскаде) и стабилитрона (во втором каскаде). Это так называемое **квазификсированное смещение**, отличающееся простотой реализации и высочайшей стабильностью, недостижимой при других вариантах реализации смещения. «Ложкой дегтя» в этом случае является дополнительная нелинейность, вносимая полупроводниками, и необходимость подбора диодов из-за разброса их параметров. Разумеется, квазификсированное смещение можно использовать только для ламп, работающих при малых (несколько миллиампер) токах анода. Ни в коем случае нельзя убирать шунтирующие конденсаторы в катодных цепях ламп, необходимые для подавления шумов стабилитрона и светодиода.

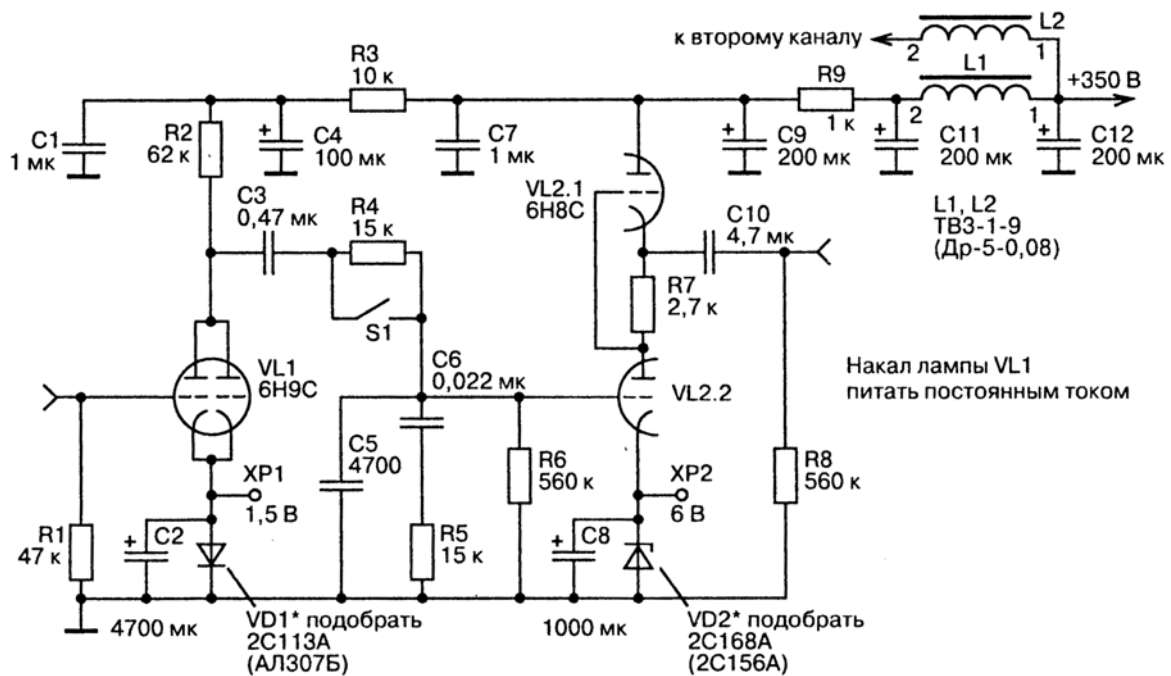


Рис. 2.22. Схема винил-корректора

Помните, что в ламповых конструкциях высокого класса (а корректор Манакова — именно из таких) нет «лишних» деталей!

О назначении переключателя S1. Ряд разработчиков (например, Сакума) использует цепи коррекции, отличающиеся от стандартных, подбирая номиналы либо «на слух» (в разумных пределах), либо под конкретный музыкальный жанр. Разработчик винил-корректора руководствовался аналогичными соображениями, введя дополнительный элемент — переключатель, позволяющий слушателю выбрать подходящий режим.

Корректор обладает великолепным звучанием, схема настоятельно рекомендуется радиолюбителям.

Внимание! При повторении схемы необходимо подать на подогреватель лампы VL2 (6Н8С) положительный потенциал порядка 100 В.

Реализация входного и драйверного каскадов

Как упоминалось в предыдущем разделе, лампа обладает невысоким коэффициентом усиления, но это же двойной триод! Используя обе половинки лампы, можно построить и входной, и драйверный каскады. На рис. 2.23 показана схема однотактного усилителя «Flesh&Blood» (разработчик — Х. Рейчерт).

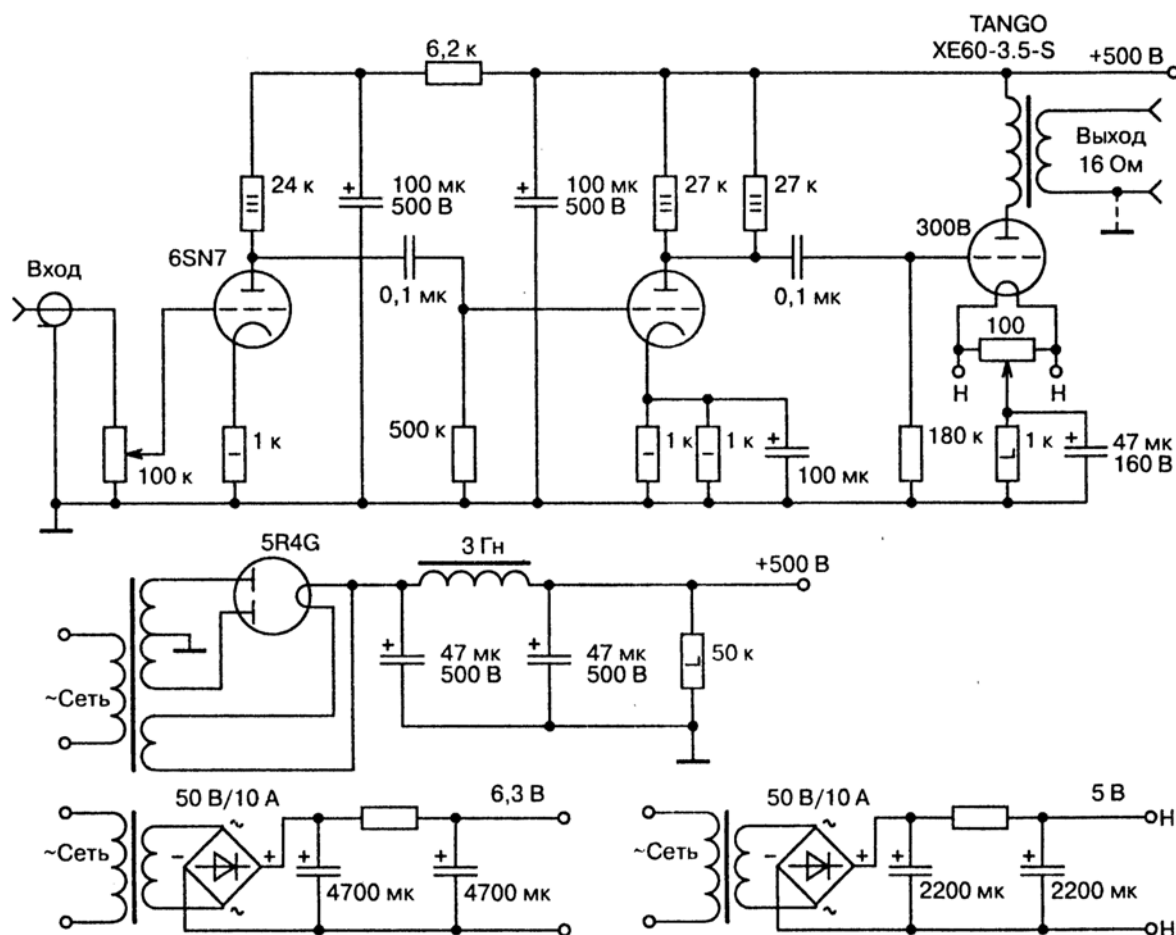


Рис. 2.23. Однотактный усилитель «Flesh&Blood»

Следует отметить, что катодный резистор входной лампы не зашунтирован конденсатором. Х. Рейчерт, очевидно, посчитал негативное

влияние конденсатора на звучание усилителя (именно усилителя, т. к. последующие каскады вместе с полезным сигналом будут усиливать и искажения, вносимые входным каскадом!) большим, нежели влияние местной ООС. О высоком классе данной схемы свидетельствует внимание разработчика к каждой детали. Например, резистор анодной нагрузки и катодный резистор второго (драйверного) каскада составлены из двух параллельных резисторов одного номинала, т. к. при этом вдвое снижается уровень собственных шумов. На сайте одной российской фирмы-производителя ламповой техники красуется схема, аналогичная представленной на рис. 2.23, «доработанная» тамошними специалистами: катодный резистор первого каскада шунтирован конденсатором, а резисторы второго каскада — одиночные!

Основные параметры выходного трансформатора TANGO XE60-3.5-S: импеданс первичной обмотки — 3,5 кОм; соотношение витков первичной и вторичной обмоток — 20,9:1; сопротивление первичной обмотки постоянному току — 80 Ом; вторичной обмотки — 0,5 Ом; КПД — 97,8 %. Примененные лампы: 6SN7 (6Н8С), 300 В, 5R4G (5Ц3С). Разработчик рекомендует использовать дроссель с минимальным активным сопротивлением.

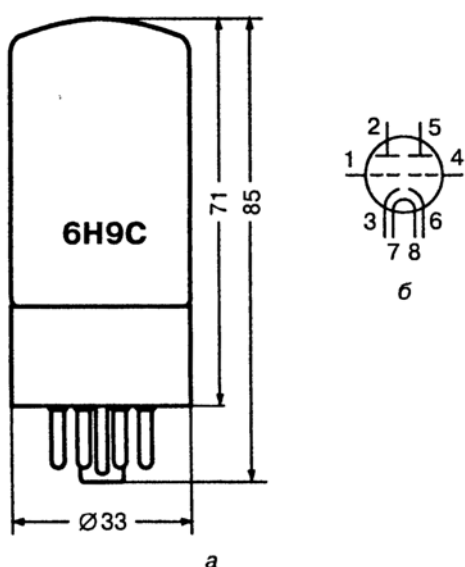
Примечание. Возможно, стоит попробовать применить в первом каскаде батарейное смещение.

6Н9С

Двойной триод с отдельными катодами

Общие характеристики

Лампа разработана для усиления напряжения низкой частоты. Применяется в предварительных каскадах усиления низкой частоты и каскадах фазоинверторов.



Назначение выводов:

- 1 — сетка первого триода;
- 2 — анод первого триода;
- 3 — катод первого триода;
- 4 — сетка второго триода;
- 5 — анод второго триода;
- 6 — катод второго триода;
- 7 и 8 — подогреватель (накал)

Рис. 2.24. Лампа 6Н9С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная первого триода.....	3,0;
выходная первого триода.....	3,8;
входная второго триода.....	3,4;
выходная второго триода.....	3,2;
проходная каждого триода.....	2,8.

Номинальные электрические параметры (для каждого триода):

<i>напряжение накала, В</i>	6,3;
<i>ток накала, мА</i>	300 ±25;
<i>напряжение на аноде, В</i>	250;
<i>ток в цепи анода, мА</i>	2,3 ±0,9;
<i>крутизна характеристики, мА/В</i>	1,6 ±0,4;
<i>внутреннее сопротивление, кОм</i>	44;
<i>коэффициент усиления</i>	70 ±15.

Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода):

<i>наибольшее напряжение накала, В</i>	7,0;
<i>наименьшее напряжение накала, В</i>	5,7;
<i>наибольшее напряжение на аноде, В</i>	275;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт</i>	1,1;
<i>наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В</i>	100;
<i>наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм</i>	0,5.

Лампа 6Н9С имеет пальчиковый аналог 6Н2П. Прямой зарубежный аналог — 6SL7.

Особенно ценятся лампы Московского электролампового завода (МЭЛЗ) выпуска 50-х годов прошлого века. Замена лампы на 6Н2П неоправдана вследствие склонности последней к **микрофонному эффекту**, обусловленному колебаниями электродной системы при механической вибрации баллона лампы. По звуковой сигнатуре 6Н2П также существенно проигрывает 6Н9С.

Достоинства:

- лампа изначально разработана для звукового применения и обладает хорошей сигнатурой;
- два триода в баллоне;
- высокая линейность (см. рис. 2.25);
- малый уровень микрофонного эффекта (хотя для входных каскадов может потребоваться отбор ламп по этому критерию);
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- высокое внутреннее сопротивление;
- наибольшее напряжение между катодом и подогревателем составляет всего 100 В. Не забывайте об этом, используя лампу в СРПП.

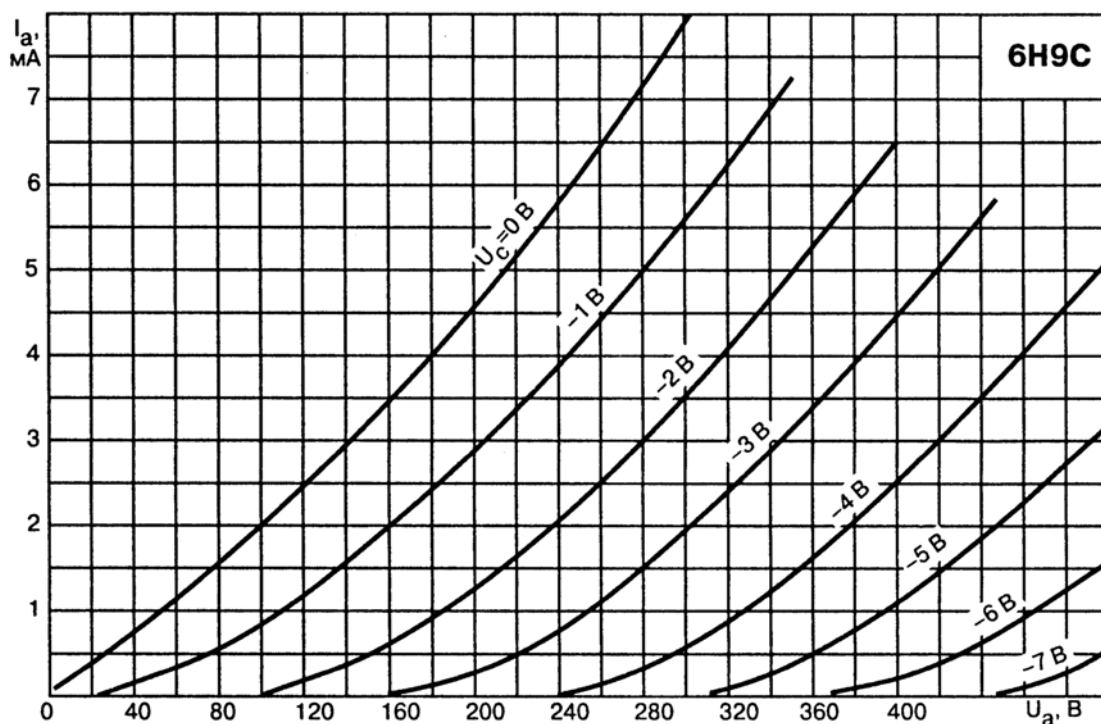


Рис. 2.25. Типовые вольт-амперные характеристики 6Н9С

Схемотехника

Винил-корректор

Вернемся к схеме винил-корректора, представленной на рис. 2.22.

Входной каскад корректора построен на лампе 6Н9С с параллельным включением обоих триодов. Чем вызвано подобное решение? Во-первых, внутреннее сопротивление при параллельном включении уменьшилось в 2 раза, что позволило применить в анодной нагрузке резистор меньшего номинала. Во-вторых, также вдвое возросла крутизна характеристики, и снизились шумы лампы. В-третьих, увеличилась входная емкость лампы, а для магнитного звукоснимателя оптимальна именно емкостная нагрузка.

Фазоинверсный каскад

Фазоинверсный каскад (фазоинвертор, фазорасщепитель) необходим для работы двухтактного усилителя. Основное назначение фазоинверсного каскада — формирование из входного сигнала двух взаимно противофазных, равных по амплитуде сигналов.

Пример реализации фазоинверсного каскада на лампе 6Н9С (разработчик — А. Манаков) представлен на рис. 2.26.

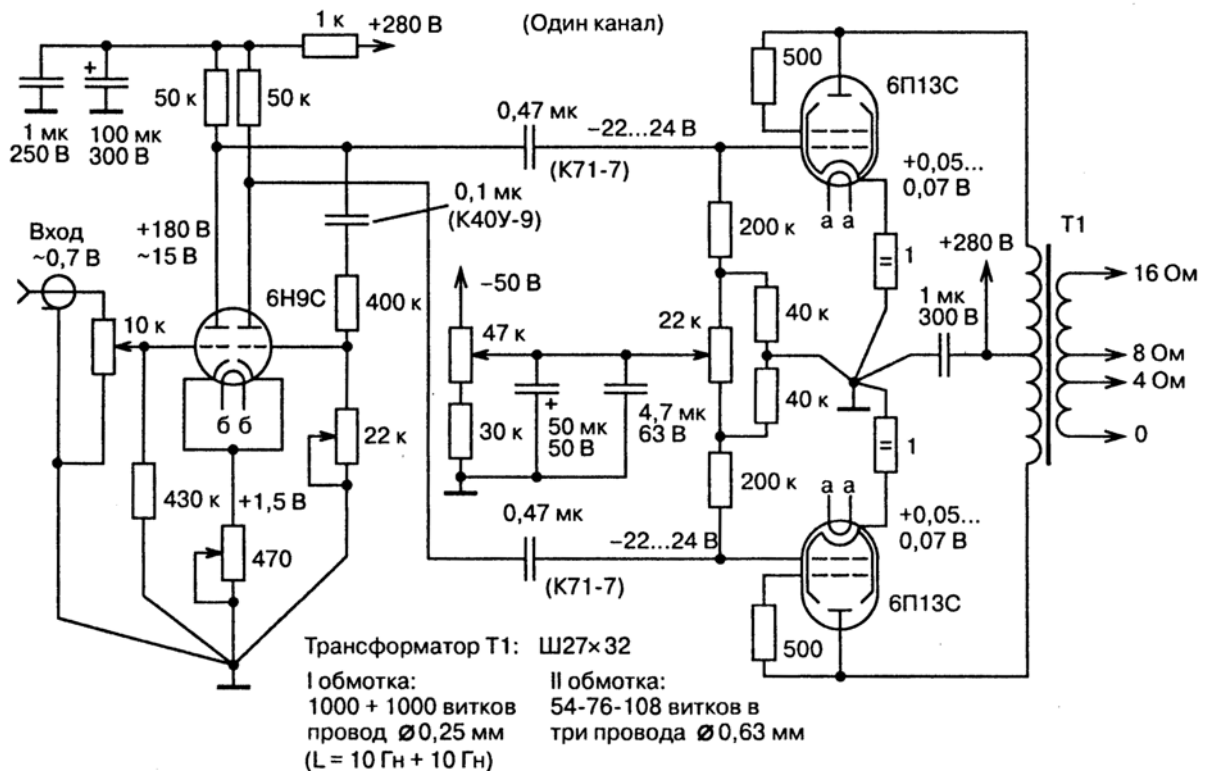


Рис. 2.26. Схема двухтактного усилителя с фазоинвертором на 6Н9С

Переменным резистором (470 Ом) в катод лампы выставляются режимы каскада по постоянному току (рабочая точка лампы). После того, как падение напряжения на этом резисторе (равное по модулю напряжению смещения на сетке лампы) составит 1,5 В (при напряжении на анодах, близком к 180 В), резистор следует заменить на постоянный соответствующего номинала. Балансировка фазоинвертора по переменному току заключается в следующем:

- на вход каскада подается сигнал с частотой около 1000 Гц и амплитудой не более 0,7 В;
- вращением движка переменного резистора (22 кОм) добиваются равенства переменных напряжений на анодах лампы.

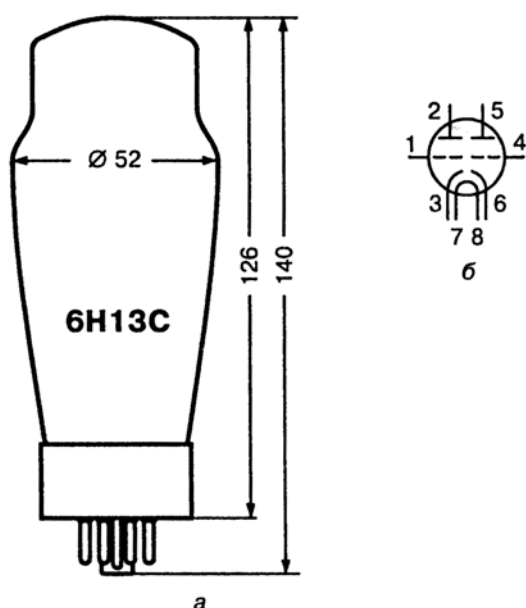
Подробно построение фазоинверсных каскадов рассмотрено в [6].

6Н13С

Двойной триод с отдельными катодами и малым внутренним сопротивлением

Общие характеристики

Лампа предназначена для работы в схемах электронной стабилизации. Может быть использована как усилитель мощности низкой частоты в выходных каскадах, собранных по двухтактной схеме.



Назначение выводов:

- 1 — сетка первого триода;
- 2 — анод первого триода;
- 3 — катод первого триода;
- 4 — сетка второго триода;
- 5 — анод второго триода;
- 6 — катод второго триода;
- 7 и 8 — подогреватель (накал)

Рис. 2.27. Лампа 6Н13С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8. Лампа выполнена в соответствии с ГОСТ 8378—57.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	7,0;
выходная.....	4,2;
проходная.....	9,0;
между сеткой одного и анодом другого.....	0,41.

Номинальные электрические параметры (для каждого триода):

<i>напряжение накала, В</i>	6,3;
<i>ток накала, А</i>	2,8;
<i>напряжение на аноде, В</i>	90;
<i>ток в цепи анода, мА</i>	80;
<i>крутизна характеристики, мА/В</i>	5,0 ±1,5;
<i>внутреннее сопротивление, Ом</i>	460;
<i>коэффициент усиления</i>	2,3.

Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода):

<i>наибольшее напряжение накала, В</i>	6,9;
<i>наименьшее напряжение накала, В</i>	5,7;
<i>наибольшее напряжение на аноде, В</i>	250;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт</i>	13;
<i>наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В</i>	300;
<i>наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм</i>	1,0.

Лампа 6Н13С имеет прямой аналог — 6Н5С. Лампа 6Н5С обладает лучшей звуковой сигнатурой, но менее распространена и не выпускается в настоящее время, в отличие от лампы 6Н13С. Прямой зарубежный аналог — 6AS7.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- малое внутреннее сопротивление;
- два триода в баллоне;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- малая крутизна характеристики, низкий коэффициент усиления, что затрудняет раскачку;
- ток накала отдельных экземпляров может достигать 3,5 А.

Лампа по непонятным причинам игнорируется отечественными радиолюбителями.

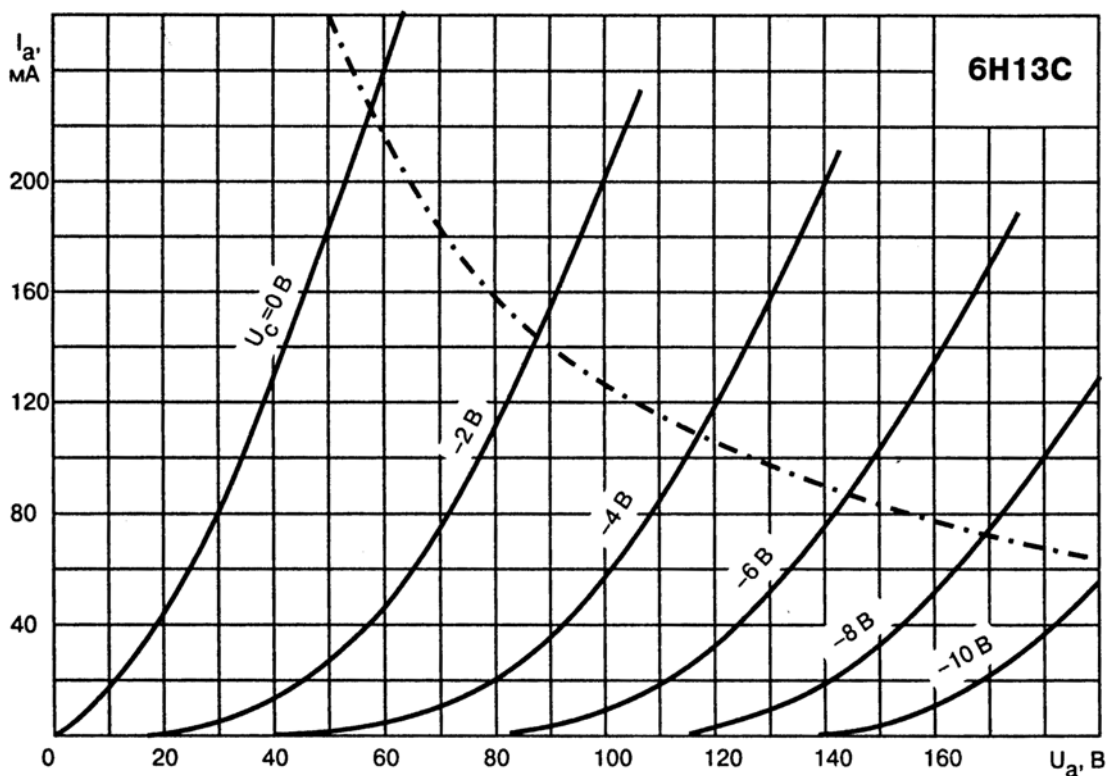


Рис. 2.28. Типовые вольт-амперные характеристики 6Н13С

Схемотехника

Однотактный усилитель

Особенность схемы, показанной на рис. 2.29 (разработчик — С. Бушманов), — параллельное включение половинок лампы 6Н5С (6Н13С). Такое решение позволяет добиться удвоенного значения выходной мощности, обычно достигаемой в двухтактных схемах (разумеется, в классе *A*), с сохранением преимуществ однотактного усилителя.

При параллельном включении ламп необходимо учитывать следующее.

- Разброс параметров половинок лампы (решается подбором сопротивления катодных резисторов обеих ламп для достижения равенства напряжений смещения на их катодах). Отметим, что сделать это намного легче, чем подобрать парные лампы для двухтактной схемы.
- Двукратное увеличение анодного тока, требующее применения трансформатора, рассчитанного на соответствующий ток подмагничивания.

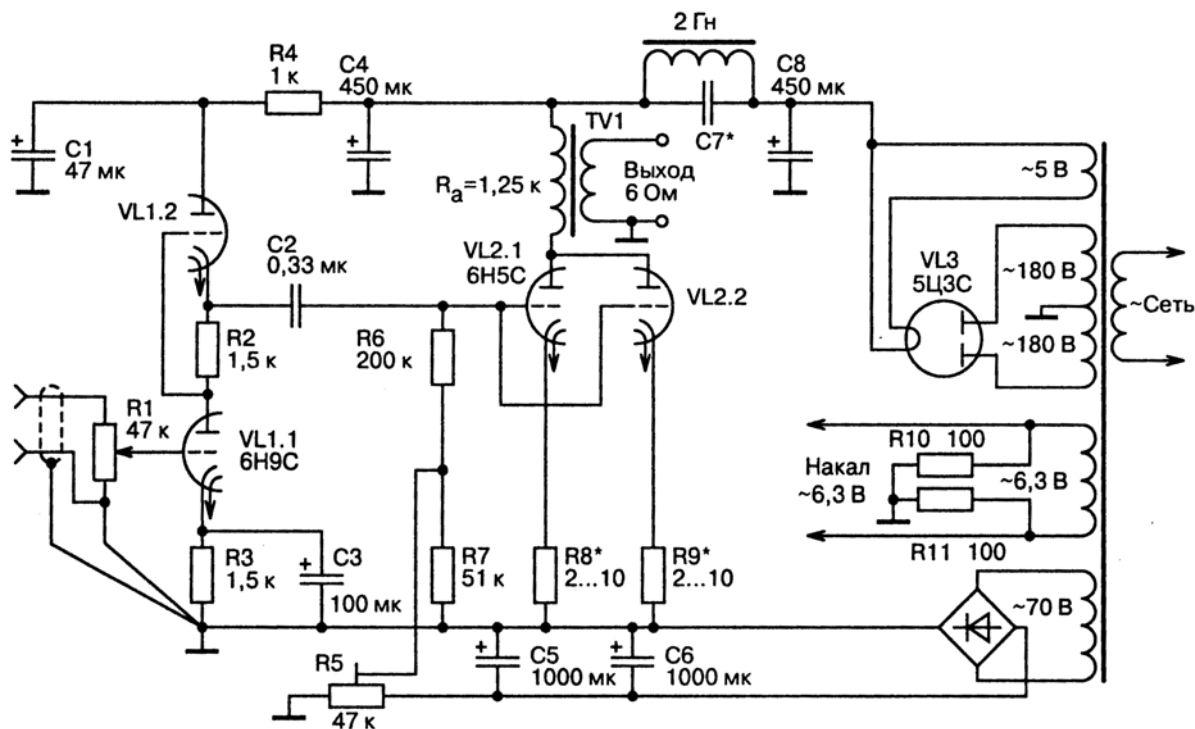


Рис. 2.29. Однотактный усилитель с параллельным включением выходных ламп

Еще одна особенность — **комбинированное смещение**, т. е. сочетающее автоматическое (за счет падения напряжения на катодном резисторе) и фиксированное (от отдельного источника отрицательного напряжения) смещения.

Примечание автора.

Что касается конкретной схемы, то можно преобразовать первый каскад по схеме мю-повторителя («усиленный» вариант СРПП); кроме того, увеличить напряжение питания первого каскада, а в качестве выходного использовать трансформатор, обеспечивающий $R_a = 500...600$ Ом, что позволит существенно увеличить мощность и улучшить микродинамику звукопередачи.

Бестрансформаторный усилитель

На рис. 2.30 изображен **бестрансформаторный усилитель** (в зарубежной литературе — **OTL — Output TransformerLess**). Поскольку выходной трансформатор лампового усилителя представляет собой сложную и дорогостоящую конструкцию, то неоднократно предпринимались попытки обойтись без него. Основная проблема заключается в том, что для оптимального согласования с акустической системой (полное сопротивление в пределах 4...16 Ом) необходимо

обеспечить минимальное выходное сопротивление усилителя на уровне нескольких Ом. Принимая во внимание величину внутреннего сопротивления 6Н13С (460 Ом для каждого триода) становится очевидным, что одним только параллельным включением ламп здесь не обойтись, требуются более сложные схемотехнические решения.

В схеме, приведенной на рис. 2.30, используется одно из таких схемотехнических решений — выходной каскад по схеме **SEPP** (**Single Ended Push-Pull**), что можно перевести как «однотактно-двухтактный каскад». Несмотря на внешнее сходство с SRPP, SEPP имеет принципиальное отличие — двуполярное питание. В этом случае на выходе каскада отсутствует (теоретически) постоянное напряжение, что позволяет исключить разделительный элемент (конденсатор и трансформатор). Почему теоретически? Дело в том, что даже у идеально подобранных ламп имеется температурно-временная нестабильность, и некоторая постоянная составляющая будет присутствовать на выходе каскада. Ситуация усугубляется использованием в схеме фиксированного, а не автоматического смещения.

Добавим, что для реализации подобной схемы необходима глубокая общая ООС, дополнительно снижающая выходное сопротивление усилителя и нелинейные искажения.

Недостатки схемы следующие:

- выходное сопротивление, несмотря на все ухищрения (кстати, небезвредные для звучания), достаточно велико;
- введена глубокая общая ООС, негативно влияющая на звучание;
- использовано большое количество ламп: одних 6Н13С — 4 шт. (8 триодов!);
- нагрузку следует подключать через предохранитель;
- блок питания на полупроводниковых диодах, из-за чего отсутствуют **плавный старт** и даже **задержка подачи анодного напряжения** (т. е. напряжение питания с максимальной амплитудой 160 В подается на лампы выходного каскада сразу, не дожидаясь их прогрева), что существенно сокращает срок службы дорогостоящих ламп выходного каскада.

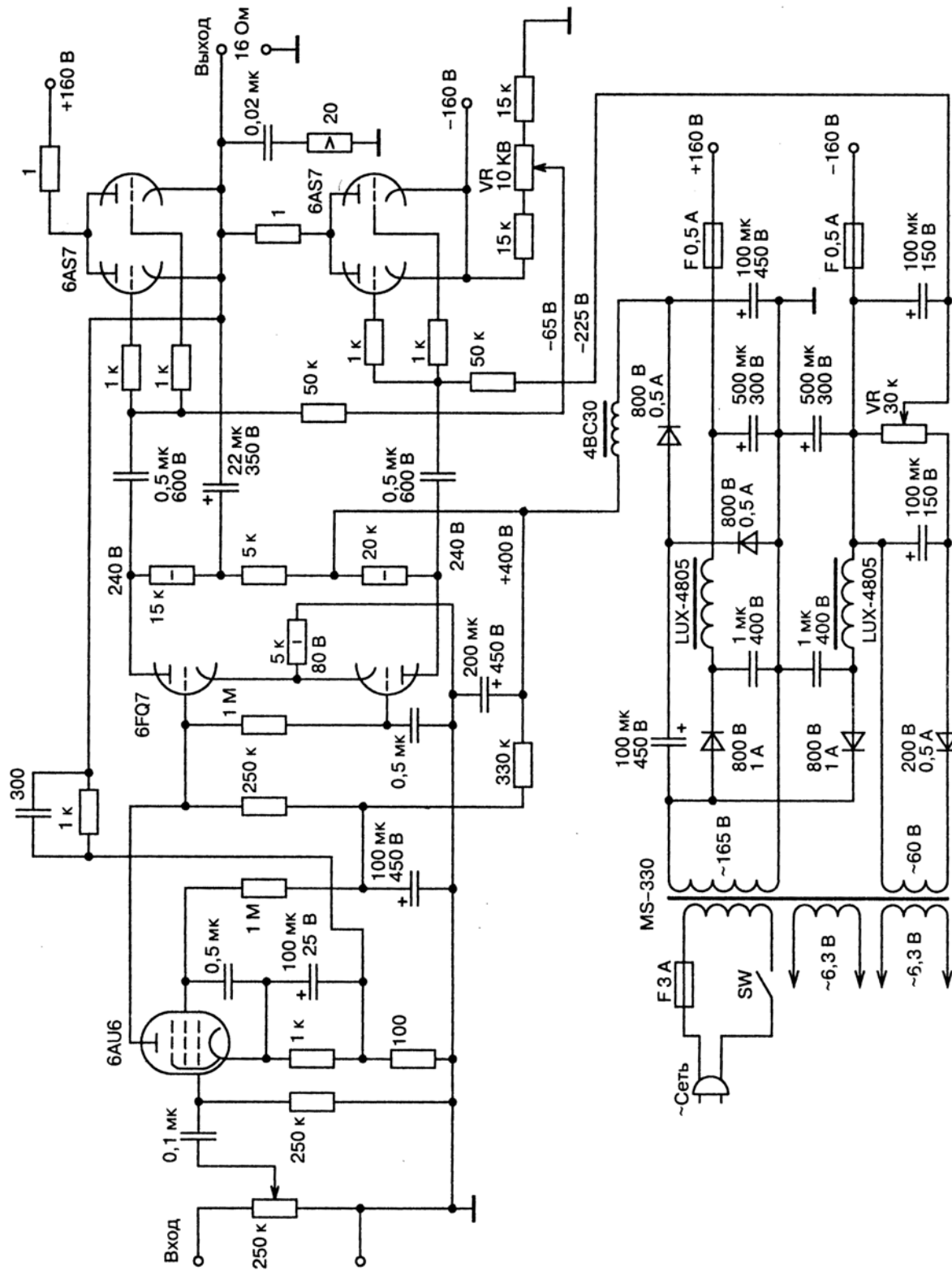


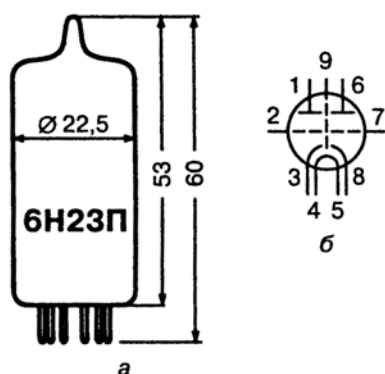
Рис. 2.30. Схема безтрансформаторного усилителя

6Н23П

Двойной универсальный триод

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления напряжения высокой частоты, генерирования и маломощного усиления импульсов.



Назначение выводов:

- 1 — анод первого триода;
- 2 — сетка первого триода;
- 3 — катод первого триода;
- 4 и 5 — подогреватель (накал);
- 6 — анод второго триода;
- 7 — сетка второго триода;
- 8 — катод второго триода;
- 9 — экран

Рис. 2.31. Лампа 6Н23П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы не менее 1000 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная каждого триода	3,6;
выходная первого триода	2,1;
выходная второго триода.....	1,9;
проходная каждого триода.....	1,5.

Номинальные электрические параметры (для каждого триода):

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	300;

напряжение на аноде, В 100;
 ток в цепи анода, мА 15;
 крутизна характеристики, мА/В 12,7;
 внутреннее сопротивление, кОм 2,5;
 коэффициент усиления 32,5;
 эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов, Ом 300.

Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода):

наибольшее напряжение накала, В 7,0;
 наименьшее напряжение накала, В 5,7;
 наибольшее напряжение на аноде, В 300;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 1,8;
 наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В 250;
 наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм 1,0.

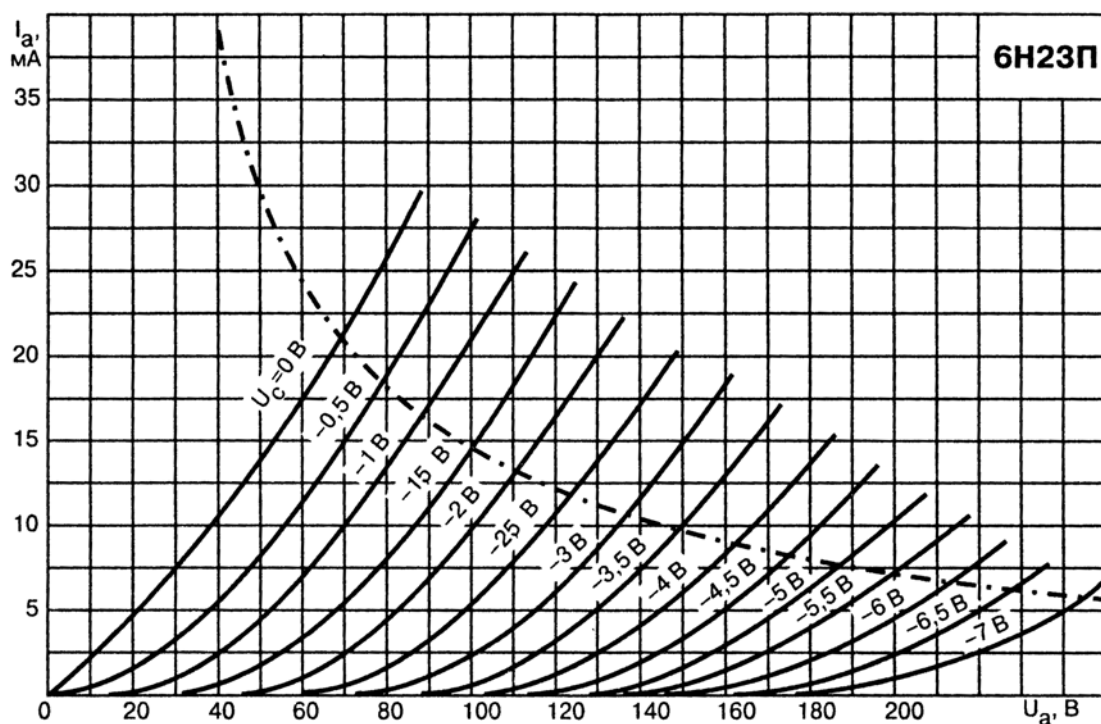


Рис. 2.32. Типовые вольт-амперные характеристики 6Н23П

Лампа 6Н23П не имеет прямых отечественных аналогов. Также выпускается под маркой 6922 (экспортное название). Существует вариант повышенной надежности и долговечности — 6Н23П-ЕВ.

Прямые зарубежные аналоги — 6922, 6DJ8, ECC88, E88CC, E188CC, 7308. Выпускаются версии с одним триодом в баллоне, а также лампы с различными напряжениями накала [7] (будьте внимательны!).

Достоинства:

- лампа обладает хорошей звуковой сигнатурой (хотя некоторые эксперты лампу не жалуют);
- малое внутреннее сопротивление;
- высокая крутизна характеристики;
- малый уровень шумов;
- два триода в баллоне;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- требуется отбор по минимальному микрофонному эффекту (для 6Н23П-ЕВ и 6922 — в меньшей степени) [7];
- в гармоническом спектре слишком велика доля 3-й гармоники, может потребоваться прослушивание для отбора ламп с наилучшей звуковой сигнатурой;
- раннее (начиная с $-1,2$ В на сетке) появление сеточных токов.

Схемотехника

Предварительный усилитель с низковольтным питанием

Ряд зарубежных радиолюбителей всерьез увлекаются конструированием предварительных усилителей и винил-корректоров с низковольтным питанием. **Преимущества** такого подхода очевидны:

- стабильное напряжение питания, отсутствие переменной составляющей;
- низкий уровень шумов.

На рис. 2.33 представлена схема предварительного усилителя с низковольтным питанием.

Но даже беглый взгляд на анодные характеристики лампы (см. рис. 2.32) выявляет серьезнейшие **недостатки** подобного подхода:

- рабочая точка лежит на нижнем загибе анодной характеристики — крайне нелинейном ее участке;

- малая величина смещения гарантирует (при использовании ламп с высокой крутизной и коэффициентом усиления) появление токов сетки, дополнительно увеличивающих нелинейность.

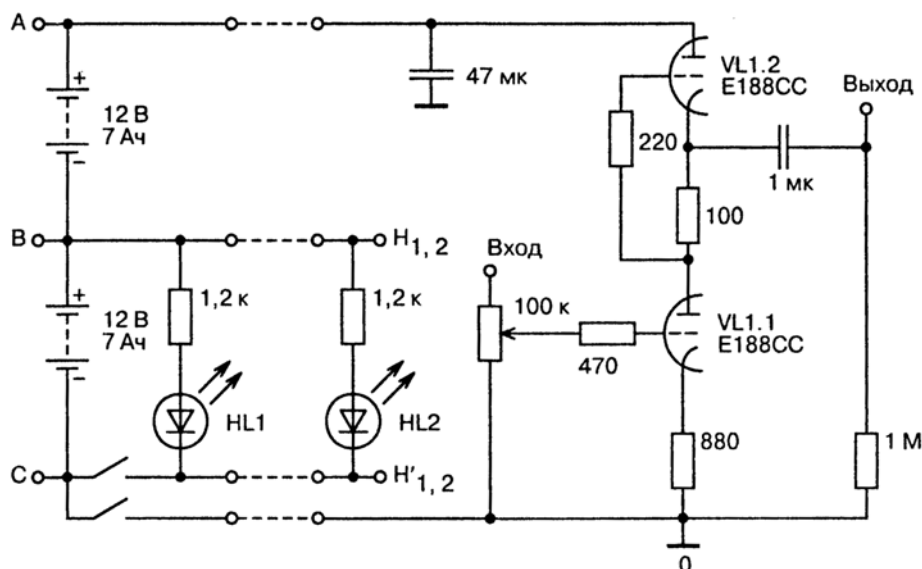


Рис. 2.33. Усилитель с питанием от двух аккумуляторных батарей

Бестрансформаторный (OTL) телефонный усилитель

На рис. 2.34 представлена схема бестрансформаторного усилителя для головных телефонов (разработчик — А. Чиуффоли).

Усилитель выполнен по бестрансформаторной схеме, в выходном каскаде — клон лампы 6Н23П, включенный катодным повторителем. Кроме того, обе половинки лампы соединены параллельно, т. е. предприняты все меры к снижению выходного сопротивления каскада. Довольно прямолинейное решение, налицо технократический подход, имеющий отдаленное отношение к качественному звукоусилению:

- стопроцентная местная ООС;
- разделительный электролитический конденсатор большой емкости на выходе (трудно придумать худший элемент, включенный непосредственно в сигнальную цепь). Попытки зашунтировать последний «аудиофильским» (бумаго-масляным) конденсатором емкостью 1 мкФ неэффективны.

Примечание автора.

Нобу Шишидо рекомендовал шунтировать электролитические конденсаторы бумаго-маслянными при условии соотношения емкостей не более 20:1. Шунтирование подавляет индуктивность конденсатора, носящую паразитный характер по своему влиянию на звучание. Возможно, Шишидо также рассчитывал на некоторое подавление эффекта ионной памяти и, кроме того, снижение общего тангенса угла потерь.

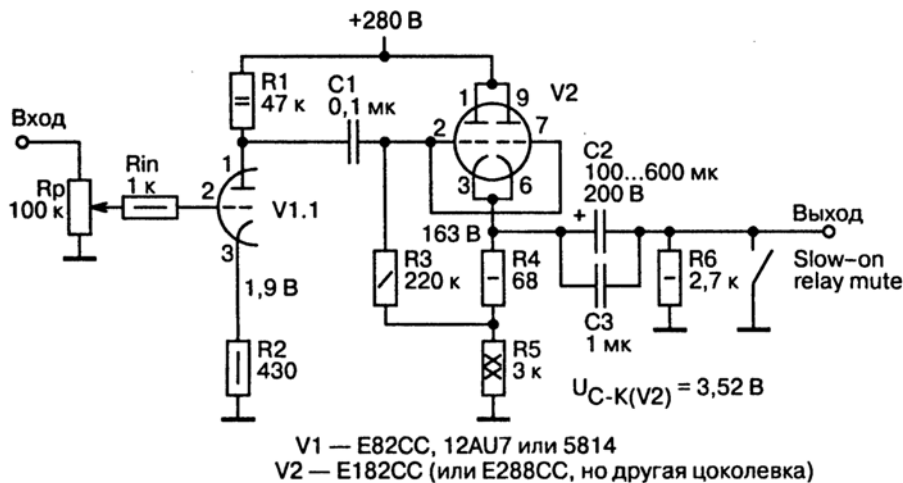


Рис. 2.34. Усилитель для головных телефонов

Внимание! Схемотехника OTL таит в себе угрозу для акустических систем и головных телефонов. Без принятия специальных мер (установка предохранителей, замыкание выхода на землю в момент включения и т. п.) можно лишиться дорогостоящей акустики.

В качестве аргумента сторонники бестрансформаторной схемотехники приводят высокую стоимость выходных трансформаторов, забывая, что высококачественный электролитический (например, Black Gate) вкупе с шунтирующим бумаго-маслянным (Jensen) конденсатором легко преодолевают 150-долларовый барьер, т. е. стоимость вполне приличного выходного трансформатора.

Схема винил-корректора с батарейным смещением

Винил-корректор, схема которого приведена на рис. 2.35, — пример хорошо продуманной конструкции (разработчик — А. Лэш), характерные **особенности** которой такие:

- малая величина анодной нагрузки;
- батарейное смещение;
- распределенная цепь коррекции (резистор 94,5 кОм, конденсатор 750 пФ и 90,9 кОм, плюс 0,033 мкФ, плюс 10 кОм);
- возможность использования различных типов ламп (разумеется, с соответствующим перерасчетом каскадов);
- отдельные источники питания для каждого каскада.

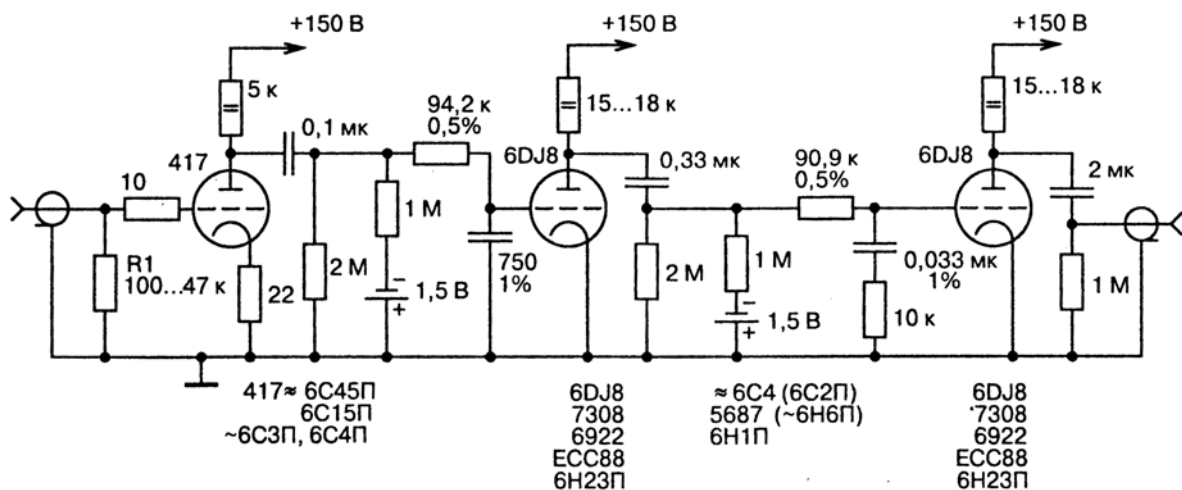


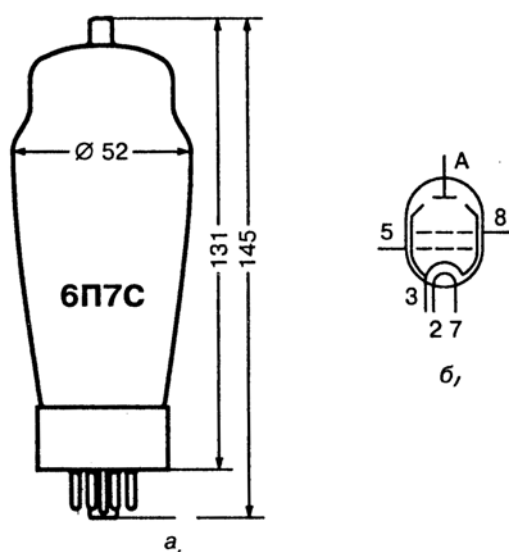
Рис. 2.35. Винил-корректор с батарейным смещением

Недостатки схемы следующие:

- три каскада и три разделительных конденсатора;
- инверсный сигнал на выходе усилителя.

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления мощности высокой частоты. Применяется в выходных каскадах строчной развертки телевизионных приемников. Лампа может быть использована в передающих устройствах и выходных двухтактных каскадах усилителей низкой частоты.



Назначение выводов:

- 1, 4, 6 — не используются;
- 2 и 7 — подогреватель (накал);
- 3 — катод и лучеобразующие пластины;
- 5 — первая сетка;
- 8 — вторая сетка;
- A — анод (верхний колпачок на баллоне)

Рис. 2.36. Лампа 6П7С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в вертикальном положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	11,5;
выходная.....	6;
проходная.....	0,6.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В	6,3;
ток накала, А	0,9;
напряжение на аноде, В	250;
ток в цепи анода, мА	72;
ток в цепи второй сетки, не более, мА	8;
крутизна характеристики, мА/В	5,9;
внутреннее сопротивление, кОм	32,5;
коэффициент усиления (в триодном включении)	8,5.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В	6,9;
наименьшее напряжение накала, В	5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В	500;
наибольшее напряжение на второй сетке, В	350;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	20;
наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт	3,0;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В	135;
наибольшее сопротивление в цепи первой сетки, МОм	1,0.

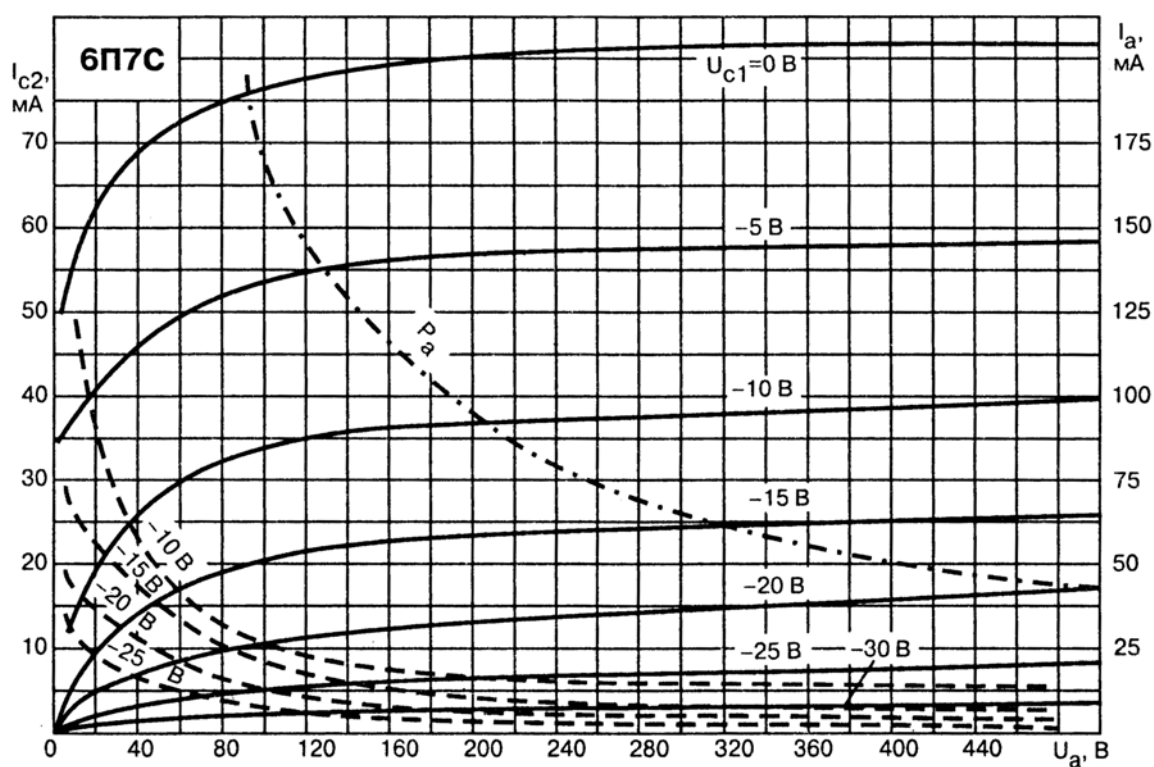


Рис. 2.37. Типовые вольт-амперные характеристики 6П7С при напряжении на второй сетке 250 В

Лампа 6П7С разрабатывалась в качестве замены лампы Г-807 (зарубежное обозначение — 807) в схемах строчной развертки. Лампы взаимозаменяемы по электрическим параметрам, но различаются по типу цоколя (у Г-807 специальный цоколь). 6П7С и Г-807 также обладают сходной звуковой сигнатурой. Ближайший зарубежный аналог — 6BG6G. В ряде случаев 6П7С может быть заменена лампой 6ПЗС (6L6).

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура (в триодном и тетродном включениях);
- достаточно высокое допустимое напряжение на второй сетке;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- невысокая выходная мощность при работе в каскадах класса *A1*;
- высокое внутреннее сопротивление в триодном режиме. Для тетрода этот параметр не имеет принципиального значения, т. к. оптимальная величина анодной нагрузки R_a находится в пределах $(0,1...0,3)R_i$, против $(3...5)R_i$ у триода. (Значение R_a пентодов и тетродов следует уточнять экспериментально).

Схемотехника

Пример однотактного усилителя с выходным каскадом на лампе 6П7С

Вернемся к схеме, показанной на рис. 2.4 (о необходимости перерасчета входного каскада говорилось в разделе, посвященном лампе 6Н1П); рассмотрим выходной каскад.

Отметим, что усилительные каскады, построенные на радиолампах, разработанных для схем строчной развертки телевизоров, как правило, обеспечивают хорошее звучание. Причина весьма проста: для получения качественного изображения (а дефекты последнего заметны сразу!) требуются лампы хорошо продуманной конструкции и высокого качества изготовления. Еще одно преимущество подобных радиоламп — высокая электрическая прочность, надежность и долговечность, что также объясняется их «телевизионным» происхождением.

6П7С включена триодом, что обеспечивает лучшее звучание. Однако при этом значительно снижается выходная мощность (до 1,5...1,7 Вт), и для обеспечения уровня громкости, достаточного для стандартной комнаты (16...20 м²), требуется акустика чувствительностью не менее 92 дБ/Вт.

Недостаток схемы — выбор неоптимальной рабочей точки, в частности, низкое значение величины анодного тока.

Также неверно указана цепь, в разрыве которой определяется анодный ток, т. к. не учитывается составляющая, обусловленная током второй сетки. Правильный (и более удобный) способ — измерение падения напряжения на катодном резисторе.

Анодные характеристики лампы 6П7С (и Г-807) в триодном включении приведены на рис. 2.38 [5].

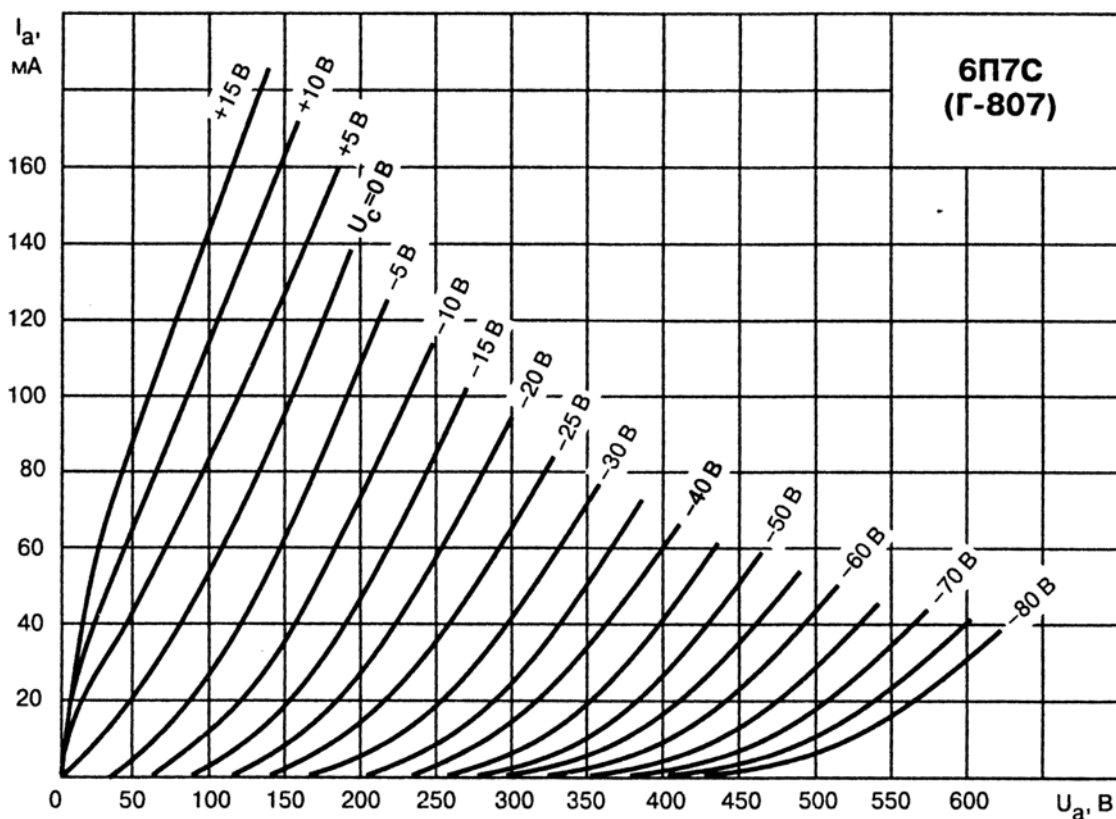


Рис. 2.38. Типовые вольт-амперные характеристики 6П7С (Г-807) в триодном включении

Желающим повторить данную схему можно порекомендовать следующий вариант построения выходного каскада, показанный на рис. 2.39.

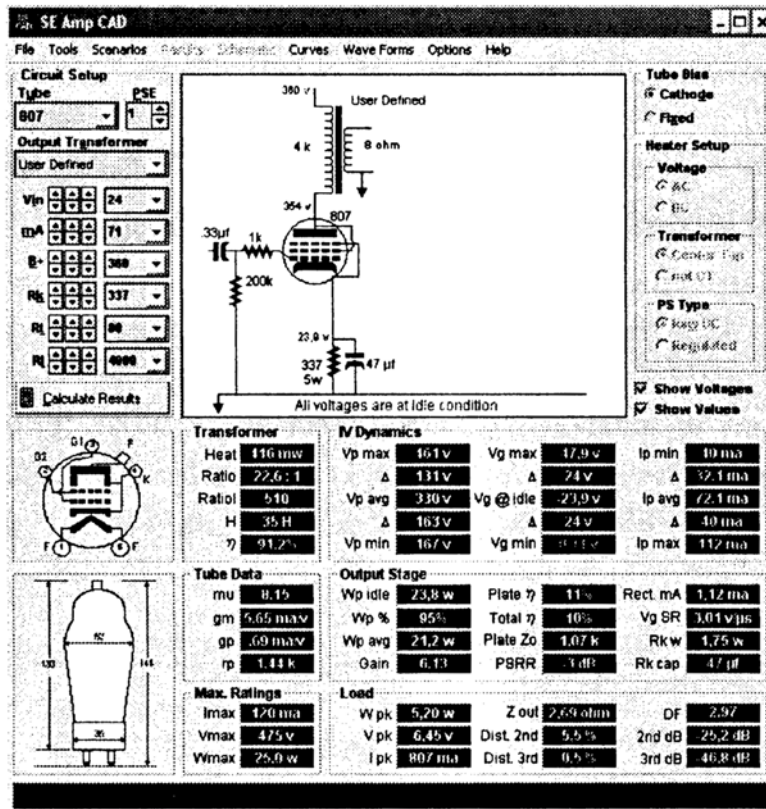


Рис. 2.39. Результаты моделирования выходного каскада на лампе 807

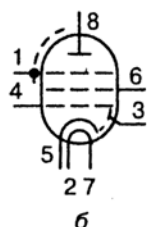
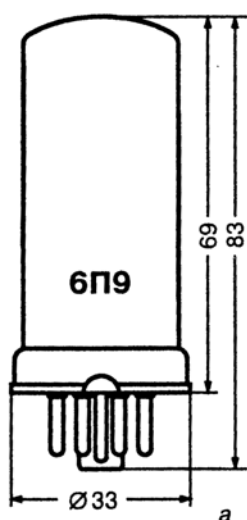
Для моделирования использовалась программа SE Amp CAD фирмы GlassWare. Подробное рассмотрение этой программы приводится в приложении 2.

6П9

Широкополосный выходной пентод

Общие характеристики

Лампа предназначена для широкополосного усиления мощности. Может применяться в одноламповых усилителях мощности низкой частоты.



Назначение выводов:

- 1 — баллон и третья сетка;
- 2 и 7 — подогреватель (накал);
- 3 — внутренний экран;
- 4 — первая сетка;
- 5 — катод;
- 6 — вторая сетка;
- 8 — анод

Рис. 2.40. Лампа 6П9: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Оформление — металлическое. Срок службы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 8. Лампа выполнена в соответствии с ГОСТ 8377—57.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	13 ±1,5;
выходная.....	7,5 ±1;
проходная.....	0,06.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В	6,3;
ток накала, мА	650 ± 40;
напряжение на аноде, В	300;
напряжение на второй сетке, В	150;
ток в цепи анода, мА	30 ± 10;
ток в цепи второй сетки, мА	6,5 ± 2,5;
крутизна характеристики, мА/В	11,7 ± 2,5;
внутреннее сопротивление, кОм	80.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В	7,0;
наименьшее напряжение накала, В	5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В	330;
наибольшее напряжение на второй сетке, В	330;
наибольшее постоянное напряжение между катодом и подогревателем, В	100;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	9,0;
наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт	1,5.

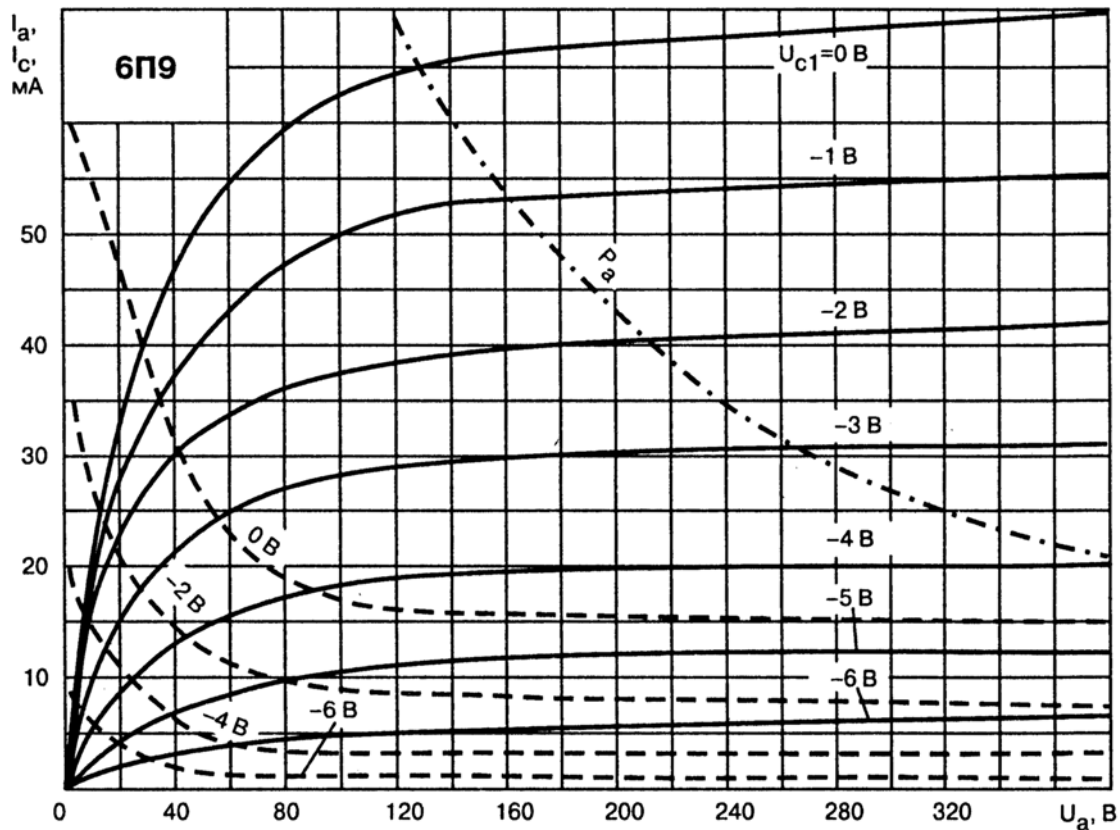


Рис. 2.41. Типовые вольт-амперные характеристики 6П9 при напряжении на второй сетке 150 В

Лампа не имеет прямых отечественных аналогов. При необходимости ее можно заменить близким по сигнатуре пальчиковым тетродом 6Э5П или, в крайнем случае, пальчиковым пентодом 6П15П (с некоторым ухудшением звучания). Прямой зарубежный аналог — 6AG7.

Триодное включение

На рис. 2.42 показаны анодные характеристики лампы 6П9 в триодном включении. Псевдотриод обладает следующими параметрами: $\mu = 23$, $S = 14 \text{ mA/V}$, $R_i = 1,6 \text{ k}\Omega$, что наряду с большой мощностью анода позволяет применять его в драйверном каскаде для раскачки мощных выходных ламп.

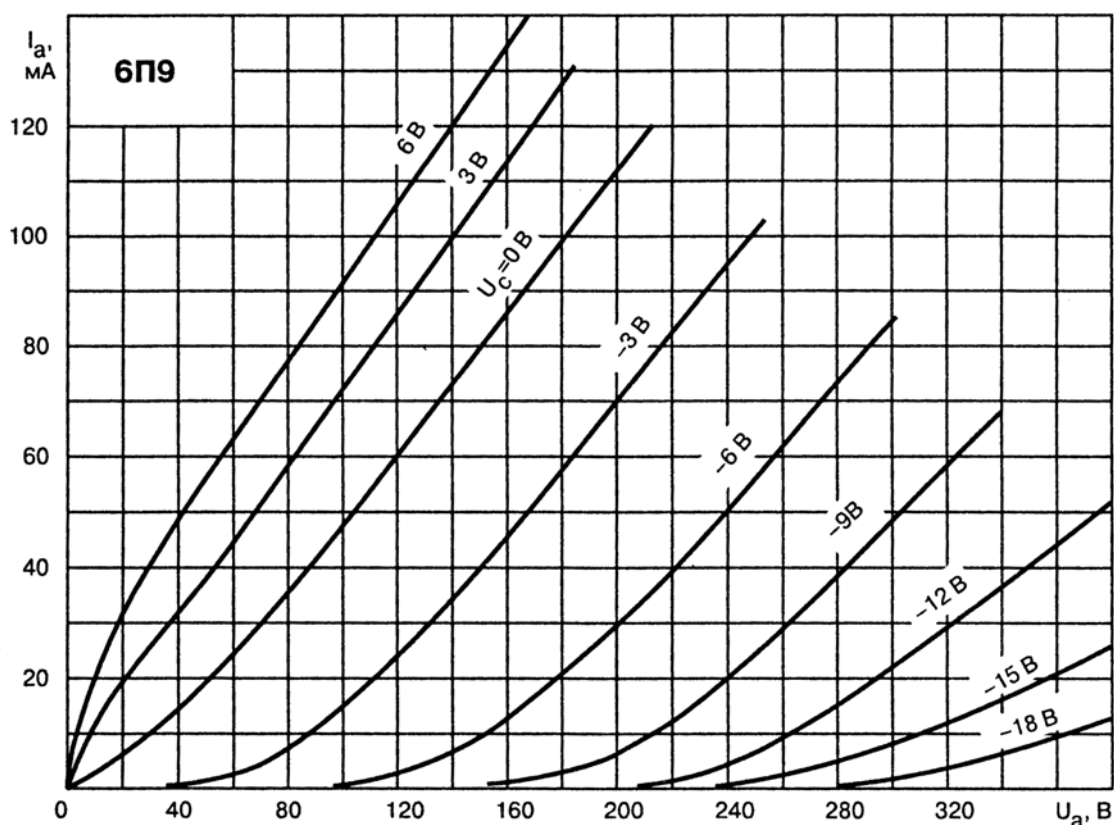


Рис. 2.42. Типовые вольт-амперные характеристики 6П9 в триодном включении

Пентодное (штатное) включение лампы 6П9

Достоинства:

- высокая линейность,

- большой коэффициент усиления, позволяющий реализовать однокаскадный усилитель напряжения для раскачки выходного триода 300В;
- большая мощность, рассеиваемая на аноде; лампа может использоваться в качестве драйвера;
- низкая цена;
- высокая механическая прочность.

Недостаток:

- рекомендуется использование только в режиме с фиксированным смещением вследствие большого внутреннего сопротивления.

Примеры реализации пентодного включения лампы 6П9

Входной/драйверный каскад

Вернемся к схеме, показанной на рис. 2.14. Вместо лампы 6Ж4 во входном каскаде можно использовать лампу 6П9, при этом требуется изменить номиналы следующих элементов:

- резистор анодной нагрузки R3 — 9,1 кОм, 15 Вт;
- резистор в цепи анодной развязки R6 — 1 кОм, 2 Вт;
- резистор в цепи катода лампы R2 — 100 Ом, 0,5 Вт;
- конденсатор в цепи катода C1 — 100 мкФ×16 В;
- резистор в цепи экранной сетки R5 — 51 кОм, 2 Вт;
- конденсатор в цепи экранной сетки C4 — 4 мкФ×160 В.

Режимы лампы 6П9 следующие: на аноде лампы около 150 В, на экранной сетке около 145 В, смещение –3 В. Чувствительность усилителя около 0,5 В.

Одноламповый/однокаскадный усилитель

Благодаря высокому усилению 6П9 возможно построение однолампового усилителя, однако оптимальная величина анодной нагрузки для этой лампы достаточно высока (8...10 кОм), что усложняет конструкцию выходного трансформатора. Оптимальный вариант — реализация однокаскадного усилителя на двух параллельных лампах 6П9, например, по схеме, представленной на рис. 2.43 [7].

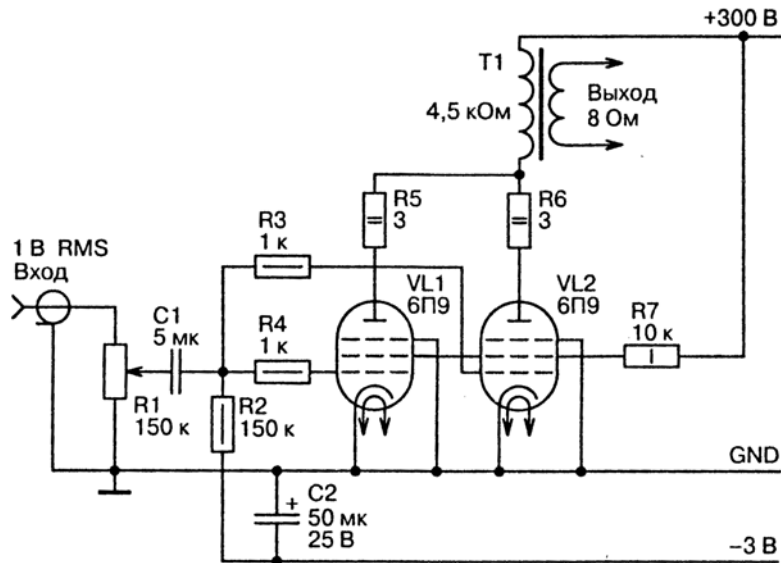


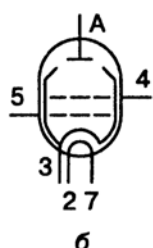
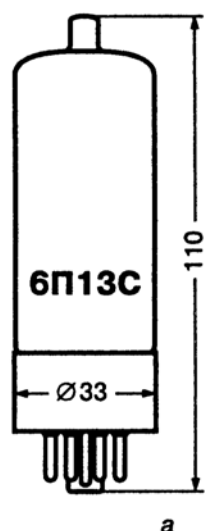
Рис. 2.43. Схема однокаскадного усилителя на лампах 6П9

6П13С

Выходной лучевой тетрод

Общие характеристики

Лампа предназначена для работы в схемах строчной развертки телевизионных приемников.



Назначение выводов:

- 1, 4, 8 — не используются;
- 2 и 7 — подогреватель (накал);
- 3 — катод и лучеобразующие пластины;
- 5 — первая сетка;
- 6 — вторая сетка;
- A — анод (верхний колпачок на баллоне)

Рис. 2.44. Лампа 6П13С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа предназначена для работы только в вертикальном положении. Срок службы лампы не менее 750 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 5.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	18,5;
выходная.....	6,5;
проходная.....	0,5.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, А.....	1,3;

напряжение на аноде, В	200;
напряжение на второй сетке, В	200;
ток в цепи анода, мА	60;
ток в цепи второй сетки, не более, мА	8;
крутизна характеристики, мА/В	$9,5 \pm 3$;
внутреннее сопротивление, кОм	25.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В	6,9;
наименьшее напряжение накала, В	5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В	450;
наибольшее напряжение на второй сетке, В	450;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	14;
наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт	4;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В	100.

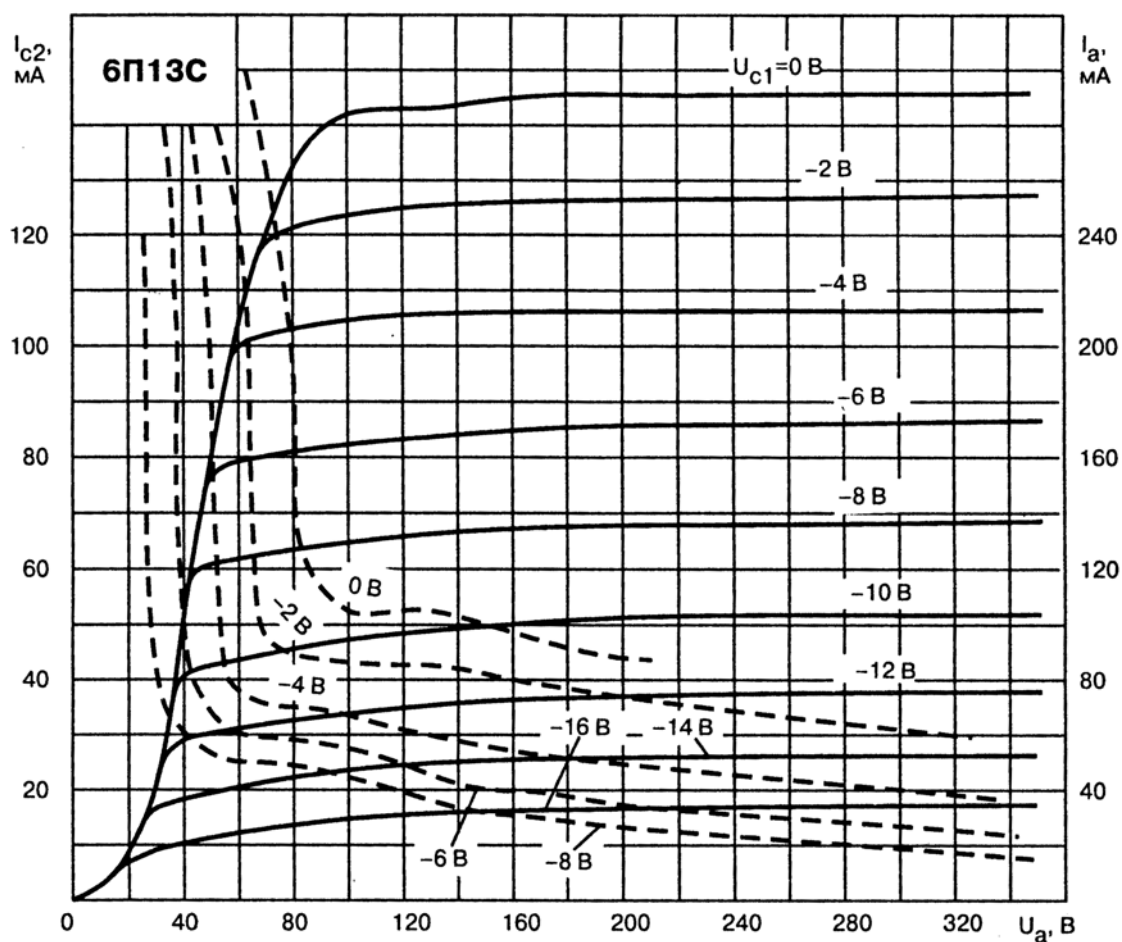


Рис. 2.45. Типовые вольтамперные характеристики 6П13С при напряжении на второй сетке 150 В

Лампа 6П13С близка по своим электрическим параметрам к 6П7С и аналогична ей по цоколевке.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура (в триодном и тетродном включениях);
- высокое допустимое напряжение на второй сетке, равное допустимому напряжению на аноде;
- достаточно высокая крутизна;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостаток:

- невысокая выходная мощность при работе в каскадах класса *A1*.

Схемотехника

Пример однотактного усилителя

В однотактном усилителе (разработчик — А. Манаков), схема которого представлена на рис. 2.46, выходной каскад выполнен на лампе 6П13С в триодном включении с фиксированным смещением. В качестве выходного трансформатора используется ТВЗ-1-9 от лампового телевизора. Схема несложная, не содержит дорогих и дефицитных деталей, что делает ее привлекательной для начинающих радиолюбителей. Впоследствии звучание усилителя можно улучшить, применив более качественный выходной трансформатор. Настройка усилителя (при условии исправности всех его элементов) сводится к установке тока анода в пределах 50...55 мА, контролируемого по падению напряжения на катодном резисторе (1 Ом).

Примечание. Не рекомендуется использовать лампы, бывшие в употреблении.

Пример двухтактного усилителя

Возвратимся к схеме двухтактного усилителя, приведенной на рис. 2.26. Выходной каскад этого усилителя выполнен на лампах 6П13С. Их режимы отличаются от режима выходной лампы одноконтного собрата (см. рис. 2.46) большим током анода (60...70 мА), т. к. в двухтактных каскадах отсутствует (теоретически) подмагничивание трансформатора постоянным током, подвигающее сердечник к насыщению.

Данная схема также вполне доступна для повторения.

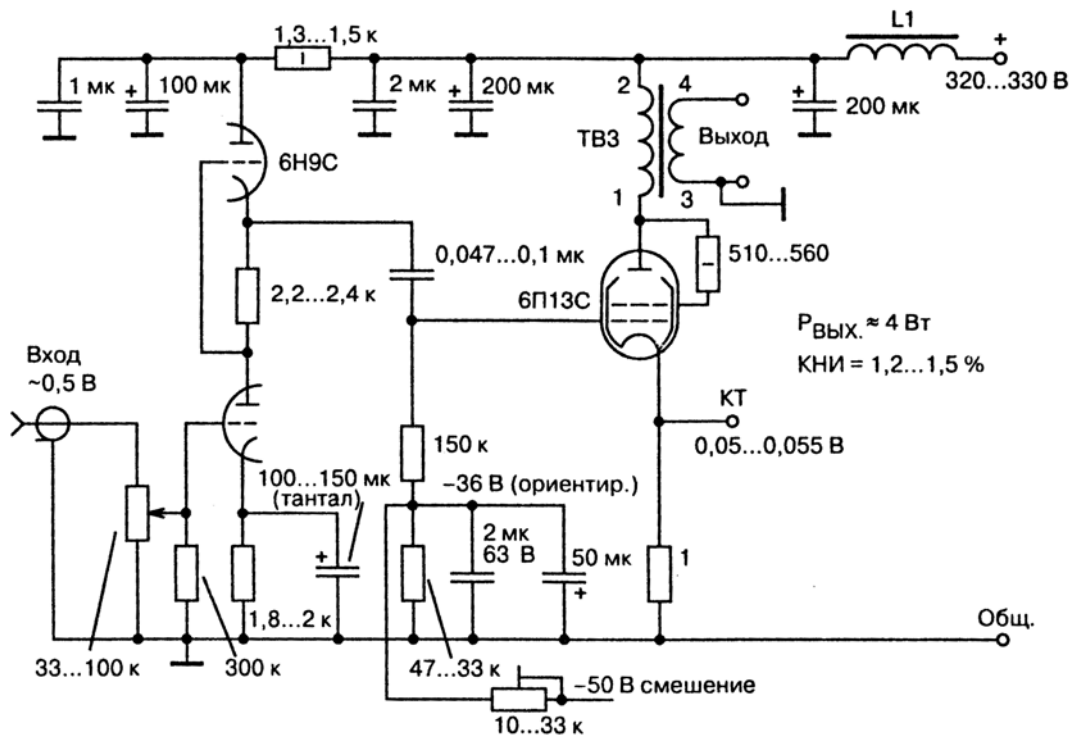


Рис. 2.46. Одноконтный усилитель на лампе 6П13С

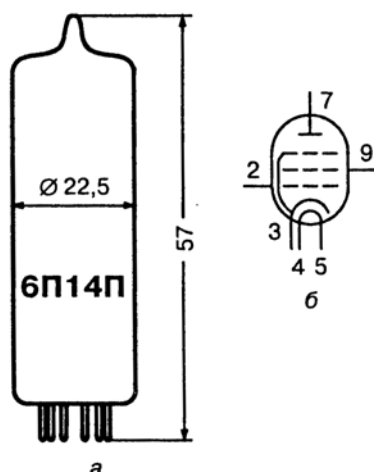
6П14П 6П18П 6П43П

Выходные пентоды

Общие характеристики

Лампы предназначены для усиления мощности низкой частоты.

Примечание. Все приведенные параметры, графики и т. п. относятся к лампе 6П14П, если не оговорено иное.



Назначение выводов:

- 1, 6, 8 — не используются;
- 4 и 5 — подогреватель (накал);
- 2 — первая сетка;
- 3 — катод и третья сетка;
- 7 — анод;
- 9 — вторая сетка

Рис. 2.47. Лампа 6П14П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампы предназначены для работы в вертикальном положении. Срок службы ламп не менее 1000 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Основные параметры ламп приведены в табл. 2.3.

Параметр	6П14П	6П18П	6П43П
Междуэлектродные емкости, пФ			
входная	11,0	11,5	–
выходная	7,0	6,0	–
проходная	0,2	0,2	–
Номинальные электрические данные			
напряжение накала, В	6,3	6,3	6,3
ток в цепи накала, А	0,76	0,76	0,63
напряжение на аноде, В	250	170	185
напряжение на второй сетке, В	250	170	185
ток в цепи анода, мА	48	53	45
ток в цепи второй сетки, мА	7,0	8,0	–
крутизна характеристики, мА/В	11,3	11,0	7,5
внутреннее сопротивление, кОм	30	–	–
Предельно допустимые электрические параметры			
наибольшее напряжение накала, В	6,9	7,0	–
наименьшее напряжение накала, В	5,7	5,7	–
наибольшее напряжение на аноде, В	300	250	300
наибольшее напряжение на второй сетке, В	300	250	250
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	12	12	12
наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт	2,0	2,5	2,0
наибольший ток в цепи катода, мА	66	75	–
наибольшее постоянное напряжение между катодом и подогревателем, В	100	100	–
наибольшее сопротивление в цепи первой сетки, МОм	1,0	1,0	–

Примечание. Прочерк «–» означает отсутствие данных.

Лампа 6П14П имеет полные зарубежные аналоги — EL84 и 6BQ5; аналоги 6П18П — 6DY5 и EL82; лампе 6П43П близка EL86.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура (в триодном и пентодном включениях), т. к. была разработана для звукового применения. Отметим, что наилучшей звуковой сигнатурой из данного се-

мейства ламп обладают не 6П14П, а 6П18П и, особенно, 6П43П;

- высокое допустимое напряжение на второй сетке, равное допустимому напряжению на аноде.
- достаточно высокая крутизна;
- невысокое (для пентода) внутреннее сопротивление и, соответственно, малая величина оптимальной анодной нагрузки (3...3,6 кОм);
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостаток:

- работает только при автосмещении, при фиксированном смещении уходит в саморазогрев.

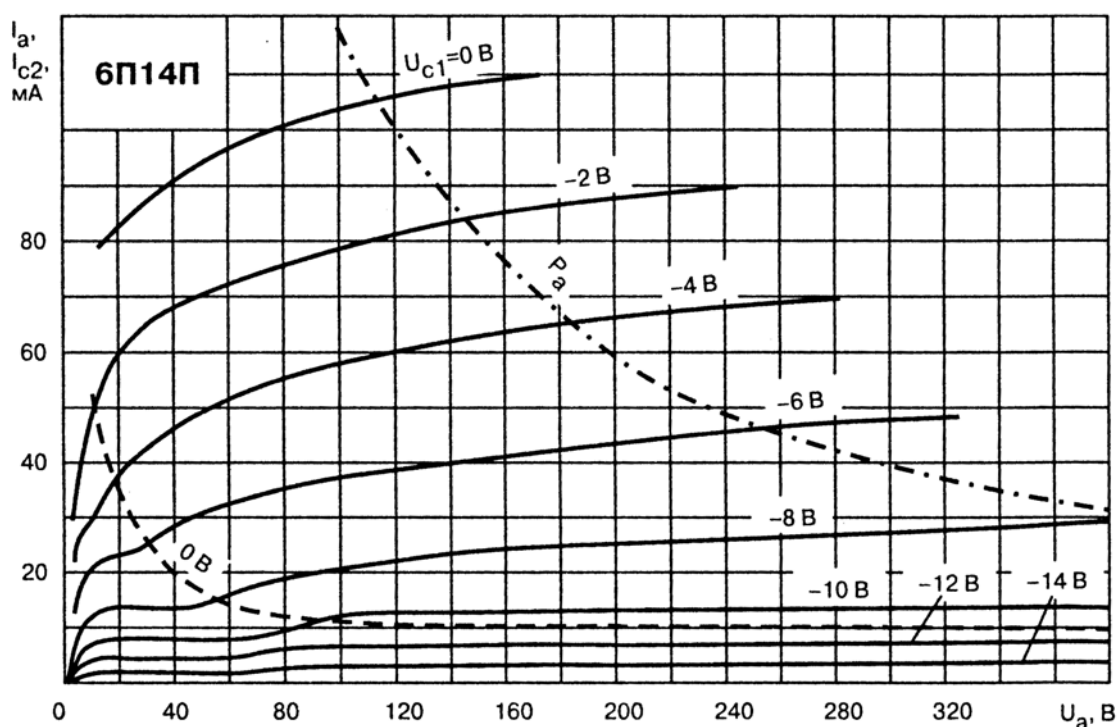


Рис. 2.48. Типовые вольт-амперные характеристики 6П14П при напряжении на второй сетке 250 В

Схемотехника

Пример однотактного усилителя

На рис. 2.49 приведена схема однотактного усилителя, выходной каскад которого реализован на лампе 6П43П (6П18П) в триодном включении (разработчик — А. Манаков).

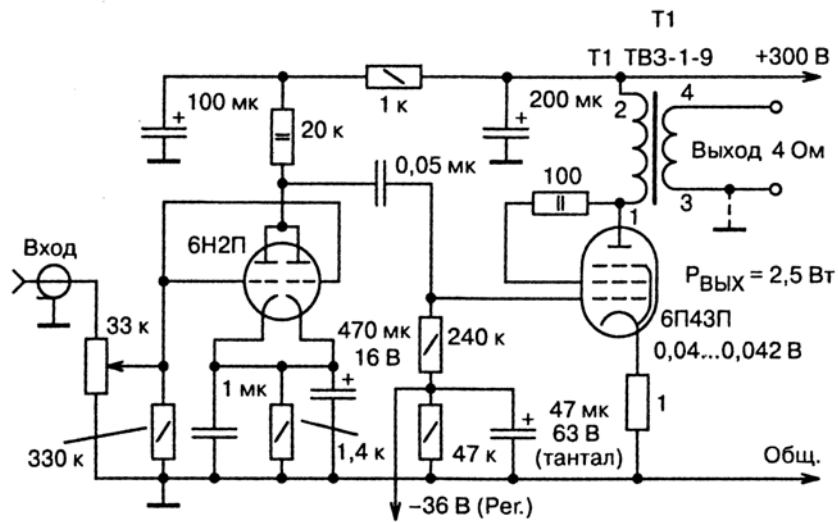


Рис. 2.49. Однотактный усилитель на лампе 6П43П

Настройка каскада сводится к установке напряжения смещения, при котором анодный ток составляет 40...42 мА (контролируется по падению напряжения на катодном резисторе сопротивлением 1 Ом).

Схема идеально подходит желающим познакомиться с ламповыми усилителями — содержит всего два каскада, а детали можно извлечь из старого черно-белого телевизора, пылящегося в сарае. Тем не менее, звучание этой конструкции дает начальное представление о так называемом «ламповом звуке».

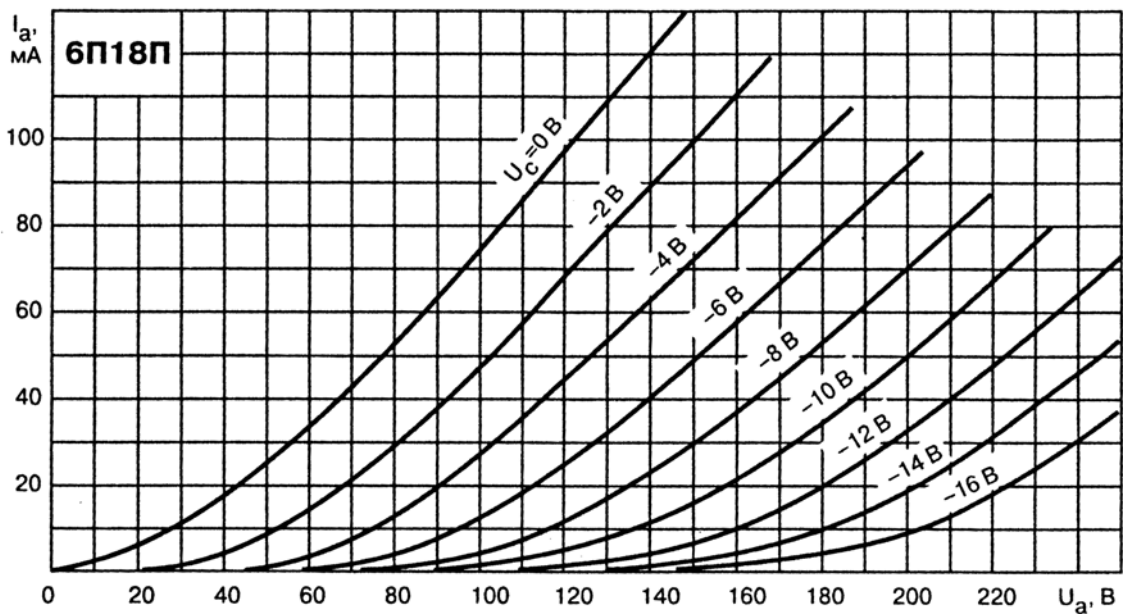


Рис. 2.50. Типовые вольт-амперные характеристики 6П18П в триодном включении

Пример двухтактного выходного каскада

На рис. 2.51 представлен пример построения двухтактного выходного каскада на лампах 6П14П, характерный для схемотехники 60-х годов прошлого столетия.

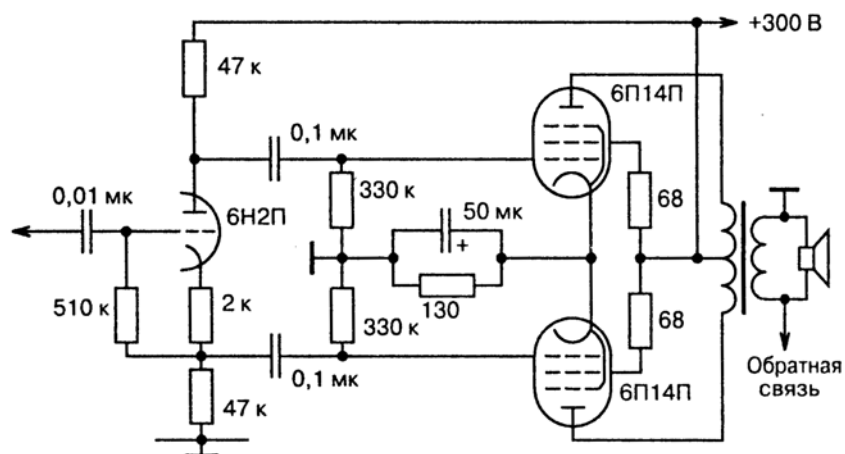


Рис. 2.51. Схема двухтактного каскада на лампах 6П14П.

Достоинства этой схемы:

- высокие объективные характеристики, соответствующие стандарту Hi-Fi (DIN45500);
- значительная выходная мощность (здесь следует учитывать, что акустические системы тех лет зачастую имели открытое акустическое оформление, а динамические головки, применяемые в них, были высокочувствительными);
- технологичность: минимум настроек (достаточно отбора ламп в пары по величине тока анода), хорошие массогабаритные показатели, невысокая себестоимость.

Казалось бы, схема должна быть рекомендована для повторения, но не будем спешить.

Недостатки:

- соответствие стандарту Hi-Fi достигается двумя путями: компенсацией четных гармоник (за счет использования двухтактной схемы) и снижения общего коэффициента нелинейных искажений (вследствие применения общей отрицательной обратной связи — ООС), т. е. методами, подвергаемыми в последнее время серьезной критике. Во-первых, четные гармоники (до 1...2,5 %) не воспринимаются слушателем! Достигнуть коэффициента четных гармоник в 1...2,5 % вполне реально и в однотактной схеме. Во-вторых, использование ООС приво-

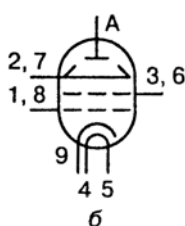
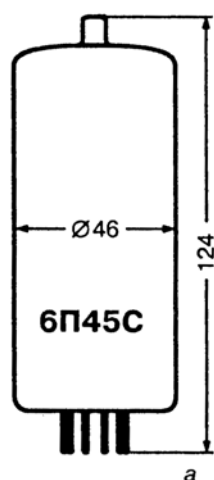
дит к появлению **интермодуляционных** искажений (интермодуляций), обусловленных взаимодействием гармоник разных порядков;

- большая выходная мощность усилителя достигается использованием 6П14П в штатном (пентодном) включении, а пентоды отличаются преобладанием в спектре нечетных гармоник, к которым человеческое ухо наиболее восприимчиво.

Кроме того, для восприятия важен т. н. «спектральный хвост» — соотношение между гармониками. Идеальным является быстрозатухающий «спектральный хвост», т. е. гармонический ряд, в котором вторая гармоника намного превышает третью, третья — четвертую и т. д. Отсутствие четных гармоник не позволяет двухтактным схемам обеспечить подобный гармонический ряд, что и является причиной неприятия звучания двухтактных усилителей рядом экспертов.

Общие характеристики

Лампа предназначена для работы в схемах строчной развертки телевизионных приемников.



Назначение выводов:

- 1 и 8 — первая сетка;
- 2 и 7 — лучеобразующие пластины;
- 3 и 6 — вторая сетка;
- 4 и 5 — подогреватель (накал);
- 9 — катод;
- А — анод (верхний колпачок на баллоне)

Рис. 2.52. Лампа 6П45С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа предназначена для работы в вертикальном положении. Срок службы лампы не менее 5000 часов. Цоколь специальный «MAGNOVAL». Штырьков — 9.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	55;
выходная.....	20;
проходная.....	1,5.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, А.....	2,5 ± 0,2;
внутреннее сопротивление, кОм.....	2,5.

Предельно допустимые электрические параметры:

- наибольшее напряжение накала, В 6,9;
- наименьшее напряжение накала, В..... 5,7;
- наибольшее напряжение на аноде, В 400;
- наибольшее напряжение на второй сетке, В 300;
- ток катода (средний), мА..... 500;
- наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт..... 35;
- наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт..... 5,5;
- наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В ±100;
- наибольшее сопротивление в цепи сетки
при фиксированном смещении, МОм 0,5.

Лампа 6П45С имеет близкие зарубежные аналоги — EL509, 6КГ6.

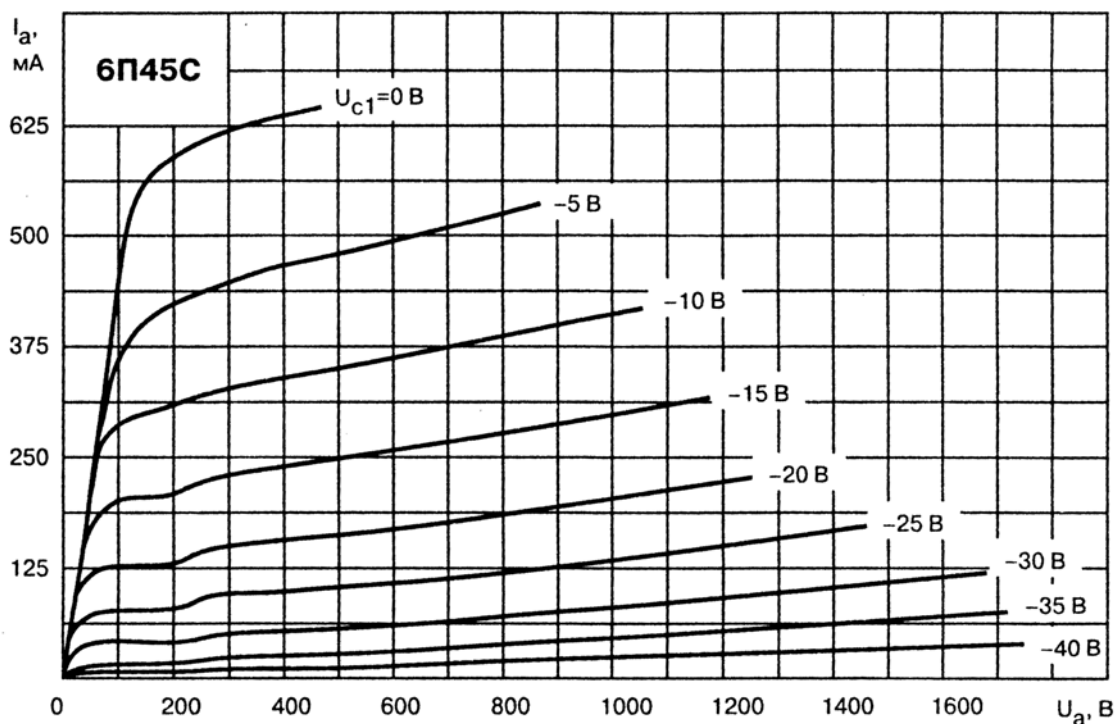


Рис. 2.53. Типовые вольт-амперные характеристики 6П45С при напряжении на второй сетке 140 В

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура (в триодном и тетродном включениях);
- высокая мощность анода;
- малое внутреннее сопротивление;
- широкое распространение, невысокая цена, выпускается до сих пор, в т. ч. на экспорт с маркировкой EL509.

Недостаток:

- требует большого напряжения раскачки.

Схемотехника

Однотактные усилители

Классический однотактный усилитель

В однотактном усилителе (рис. 2.54) выходной каскад выполнен на лампе 6П45С в триодном включении с фиксированным смещением (разработчик — А. Манаков). Выходная мощность достигает 12 Вт (очень большая величина для однотактного усилителя). Псевдотриод 6П45С (рис. 2.55) обладает низким внутренним сопротивлением (350 Ом), что существенно снижает требования к индуктивности первичной обмотки выходного трансформатора (достаточно $R_a = 1$ кОм). Режимы выходной лампы: $U_a = 250...260$ В, $I_a = 160...170$ мА, $U_c = -50$ В. Напряжение питания усилителя — 280 В.

Примечание. Не рекомендуется использовать лампы, бывшие в употреблении. 5 ножка лампы 6Э5П через резистор 33—39 кОм, 2 Вт должна соединяться с левым выводом фильтрующего резистора (1...1,3 кОм, 1 Вт)!

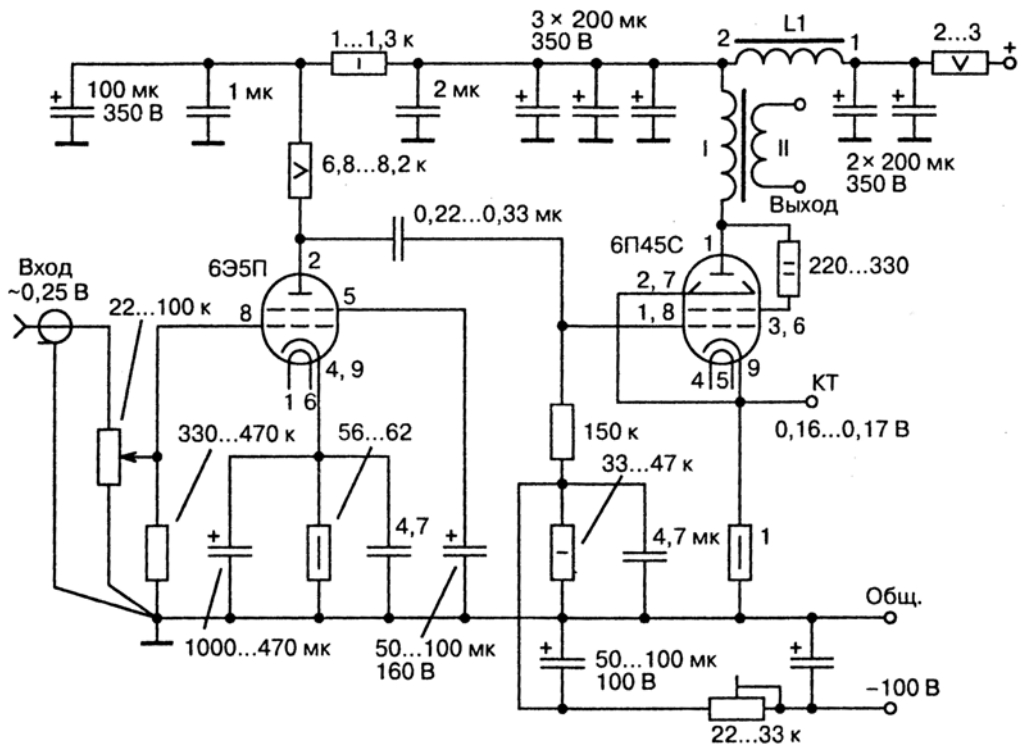


Рис. 2.54. Классический однотактный усилитель на лампе 6П45С

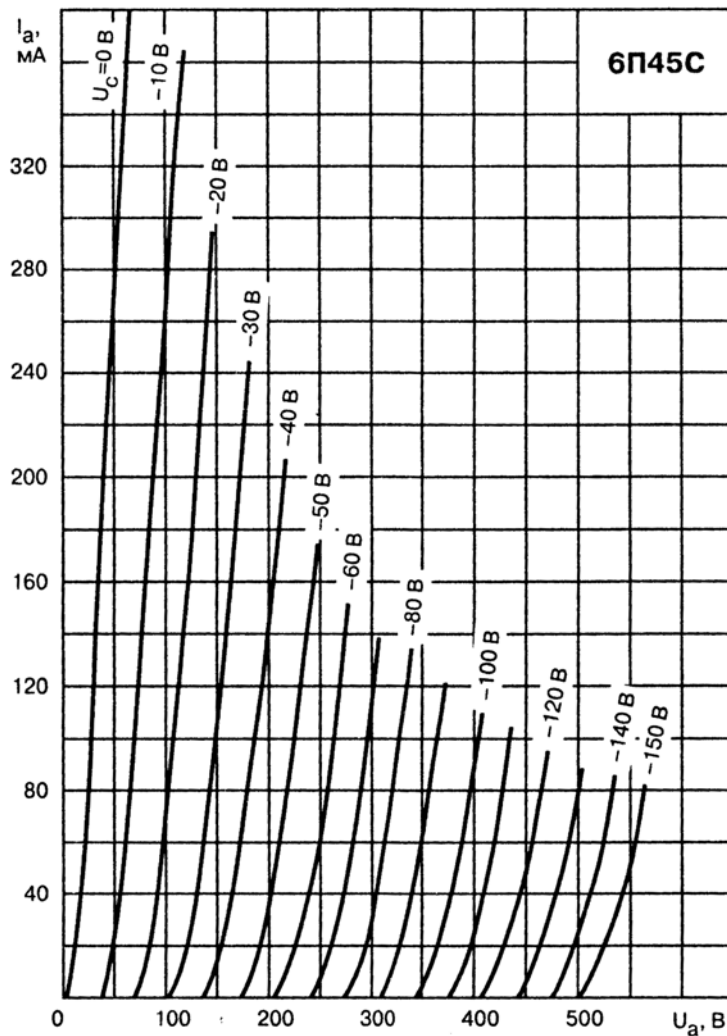


Рис. 2.55. Анодные характеристики лампы 6П45С в триодном включении

Однотактный усилитель с нестандартным включением лампы 6П45С

Особенность усилителя (разработчик — Б. Данеляк — Bob Danielak), схема которого приведена на рис. 2.56, — раскачка лампы EL509 (6KG6) по второй сетке. Подобное включение также превращает тетрод в псевдотриод, анодные характеристики которого приведены на рис. 2.57.

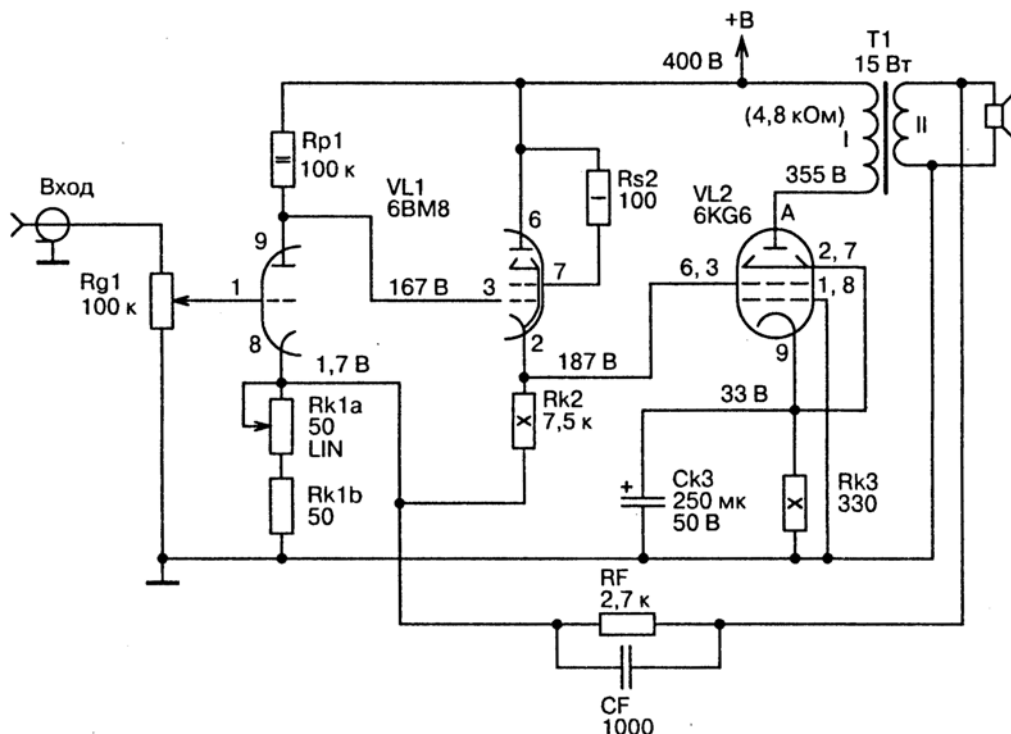


Рис. 2.56. Однотактный усилитель с нестандартным включением лампы EL509/6KG6

Сравнение анодных характеристик, представленных на рис. 2.55 и 2.57 показывает, что классический псевдотриод обладает лучшими параметрами, в частности, более низким внутренним сопротивлением (350 Ом против 2000 Ом). Видимо, при разработке схемы, показанной на рис. 2.56, был сделан упор на оригинальность, что подтверждается непосредственной связью всех каскадов, а также наличием местных и общих обратных связей.

Существуют и другие оригинальные включения тетрода EL509/6KG6, например, с раскачкой одновременно по первой и второй сеткам. Анодные характеристики лампы в таком включении показаны на рис. 2.58.

Внимание! Анодные характеристики EL509/6KG6 могут отличаться от характеристик лампы 6П45С.

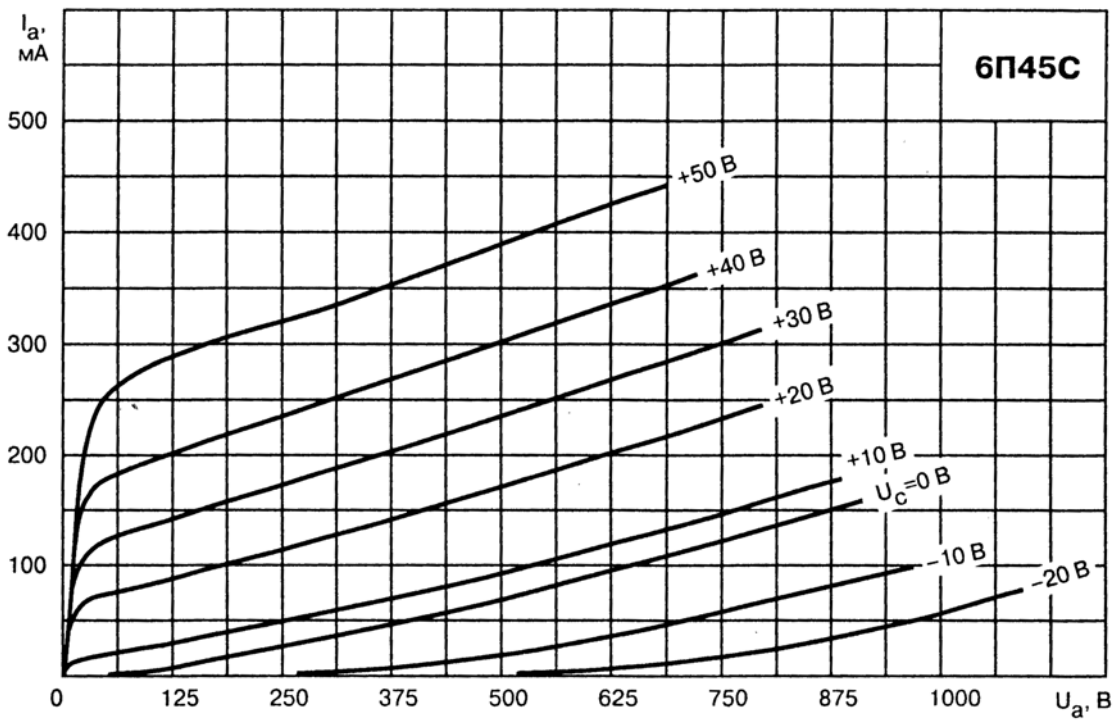


Рис. 2.57. Анодные характеристики лампы EL509/6KG6 с раскачкой по второй сетке

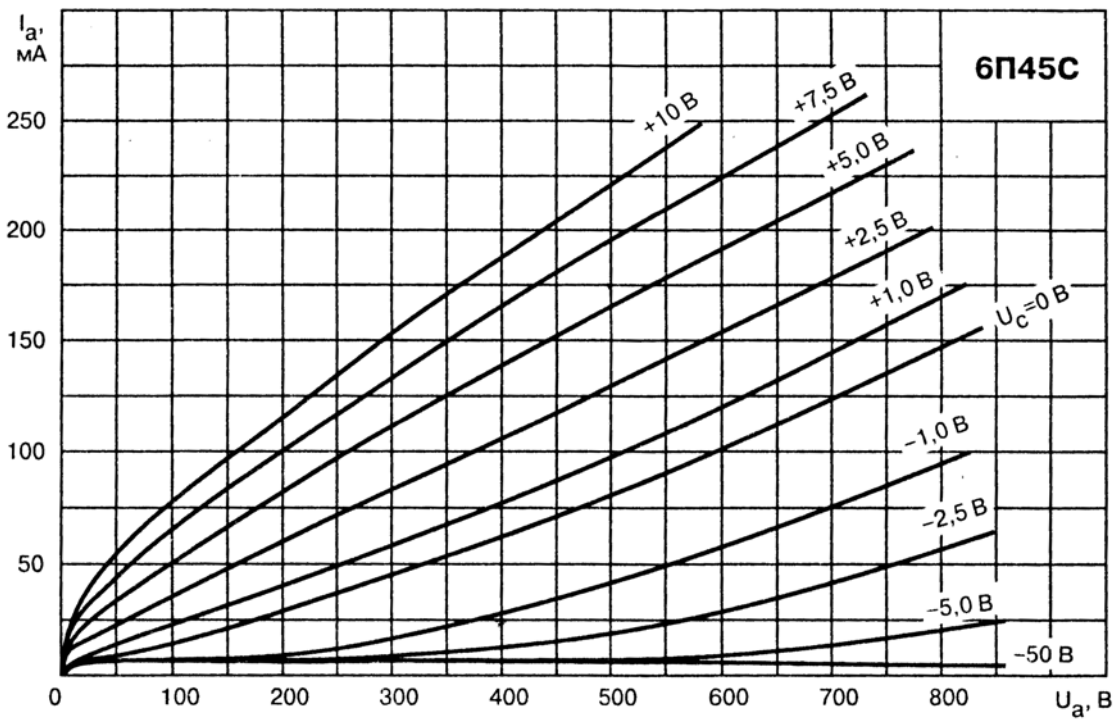


Рис. 2.58. Анодные характеристики лампы EL509/6KG6 при раскачке по первой и второй сеткам одновременно

Двухтактный усилитель

Усилитель (разработчик — А. Манаков), схема которого приведена на рис. 2.59, выполнен по схеме Вильямсона: первый каскад на лампе 6НЗП является усилителем сигнала, второй — фазоинвертором, третий — дифференциальным драйвером на лампе 6Н6П. Выходной каскад двухтактный на лампах 6П45С.

Предварительные и драйверный каскады в настройке не нуждаются, а выходной каскад настраивается по напряжению в контрольных точках (на катодах ламп). Лампы 6П45С желательно подобрать в пары по току анода.

Выходная мощность усилителя достигает 30 Вт при уровне входного сигнала около 0,35 В.

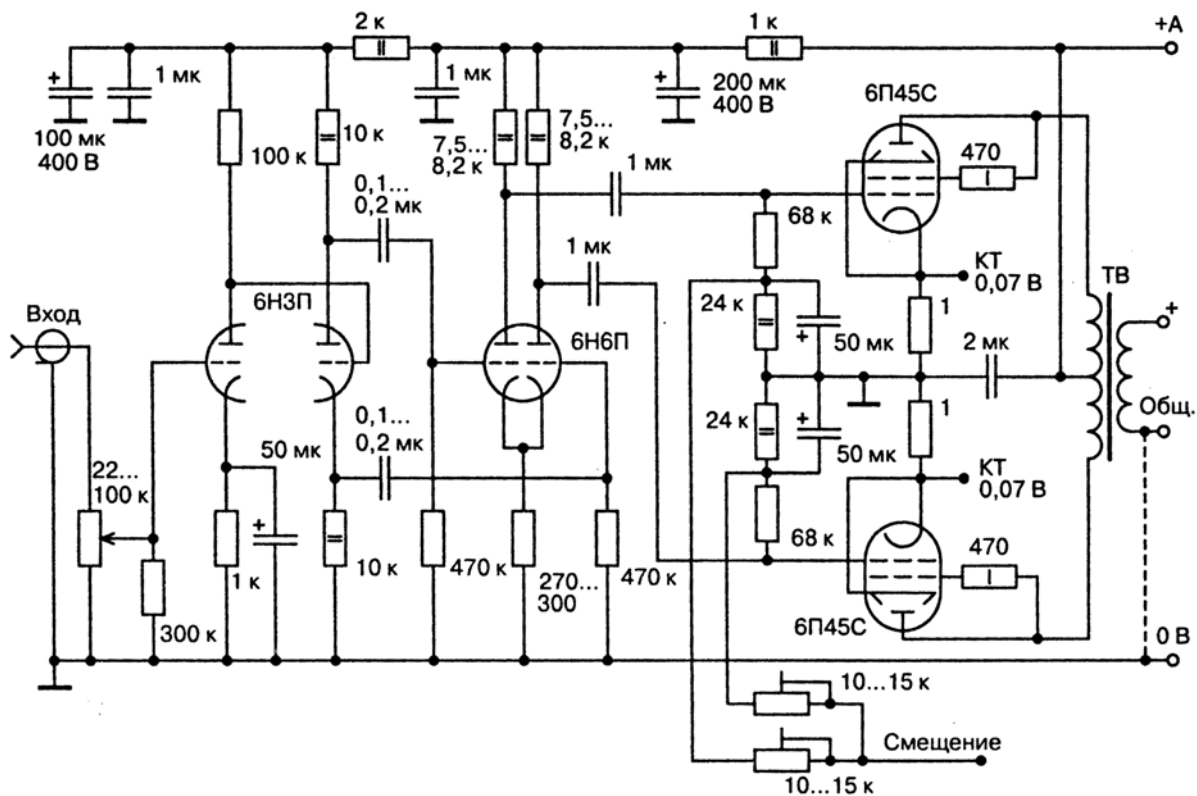


Рис. 2.59. Двухтактный усилитель на лампах 6П45С

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления напряжения высокой частоты.



Рис. 2.60. Лампа 6С3П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости (измерены при внешнем экране), пФ:
входная..... $6,7 \pm 1,1$;
выходная..... $1,65 \pm 0,2$;
проходная..... 2,4.

Номинальные электрические параметры (для каждого триода):
напряжение накала, В..... 6,3;
ток накала, мА..... 300 ± 25 ;
напряжение на аноде, В..... 150;
ток в цепи анода, мА..... 16 ± 4 ;
крутизна характеристики, мА/В..... $19,5 \pm 4,5$;
коэффициент усиления..... 50 ± 15 ;
эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов, Ом..... 200.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В 7,0;
наименьшее напряжение накала, В 5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В 160;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 3,0;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В 100;
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм 1,0.

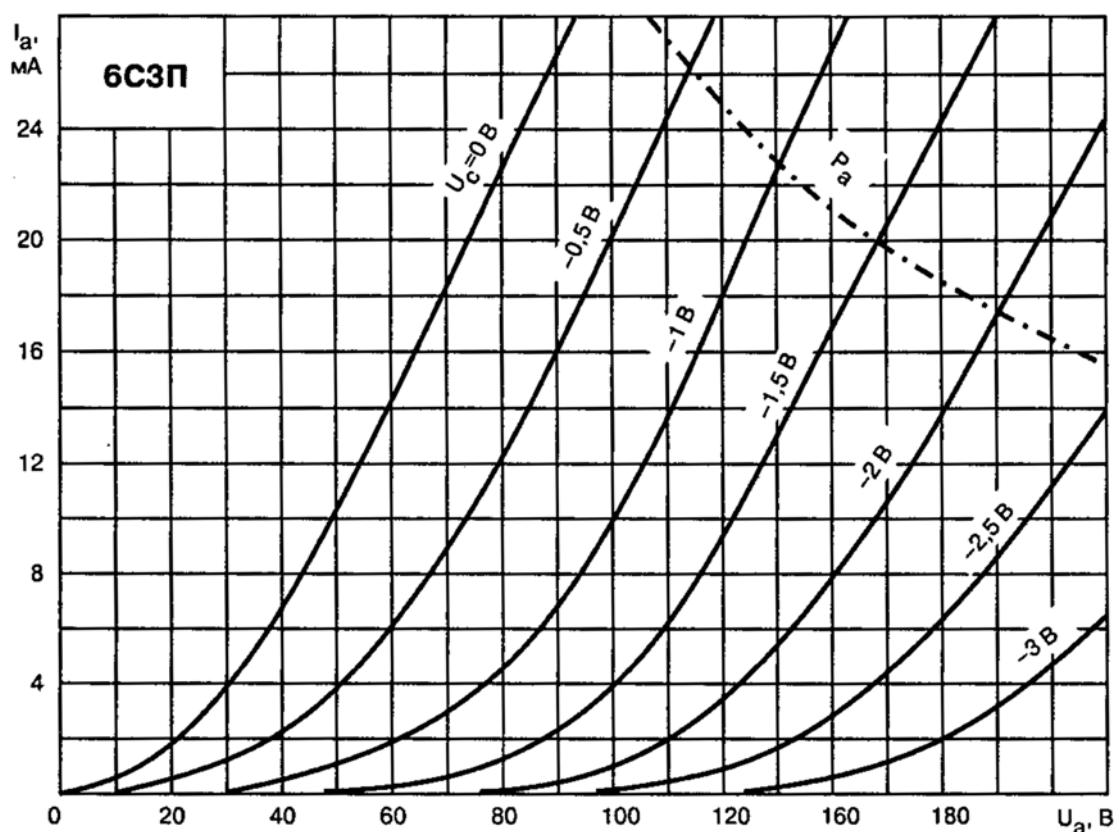


Рис. 2.61. Типовые вольт-амперные характеристики 6С3П

Лампа 6С3П не имеет прямых зарубежных аналогов. Отечественный аналог — 6С4П.

Внимание! Цоколевки 6С3П и 6С4П имеют некоторые отличия, прямая замена возможна, если используются только следующие контакты панелек — 2, 3, 4, 5, 9.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- высокая крутизна характеристики;

- высокий коэффициент усиления;
- низкое внутреннее сопротивление;
- малый уровень шумов;
- лампа недорогая и распространенная.

Недостатки:

- может потребоваться отбор по минимальному микрофонному эффекту;
- в гармоническом спектре слишком велика доля 3-й гармоники, может потребоваться прослушивание для отбора ламп с наилучшей звуковой сигнатурой;
- раннее (начиная с напряжения $-1,1$ В на сетке) появление сеточных токов.

Схемотехника

Винил-корректор

Благодаря таким параметрам, как высокая крутизна (соответственно — малые шумы) и входная емкость, лампа идеально подходит для первого каскада винил-корректора. На рис. 2.62 представлена схема винил-корректора (разработчик — Н. Онуфриев). Низкое внутреннее сопротивление ($2,5$ кОм) позволяет применить в анодной нагрузке резистор небольшого номинала. Ввиду достаточного усиления лампы, автор схемы отказался от шунтирования катодного резистора электролитическим конденсатором, негативно влияющим на звучание.

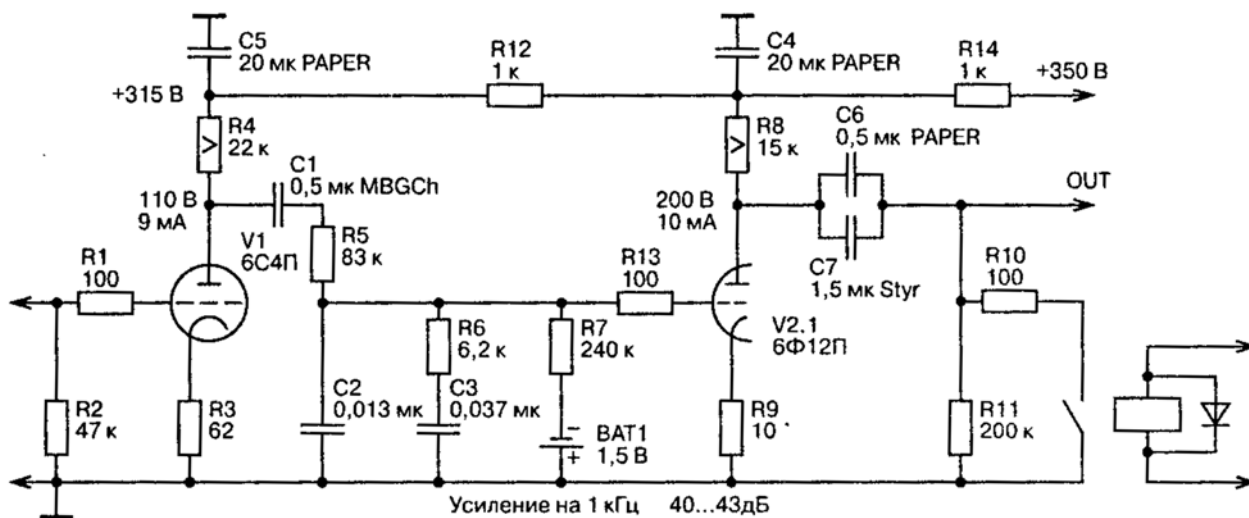


Рис. 2.62. Винил-корректор

Подробное описание данной конструкции можно посмотреть на сайте www.klausmobile.narod.ru

Однотактный усилитель

Достоинства лампы 6С3П можно в полной мере реализовать, применив ее в качестве входной/драйверной для раскачки мощных выходных триодов, а недостаток усиления устранить за счет использования межкаскадного трансформатора с соотношением витков первичной и вторичной обмоток 1:2 (рис. 2.63, разработчик — А. Манаков).

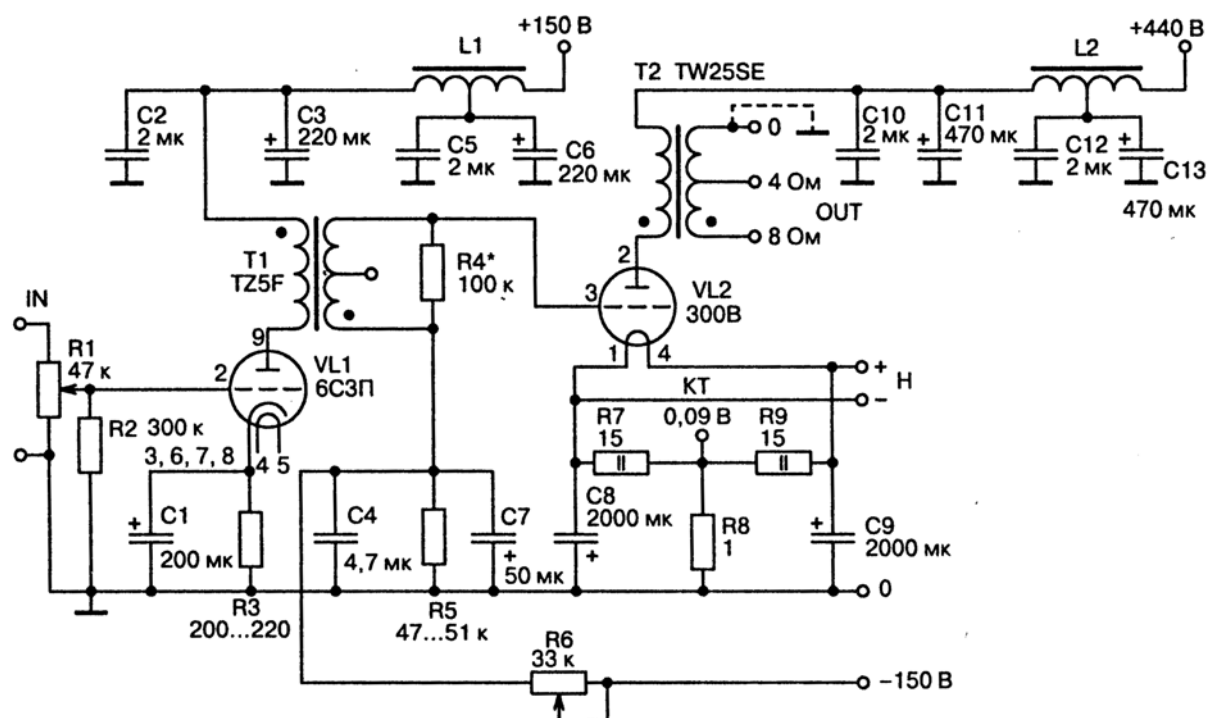


Рис. 2.63. Высококачественный однотактный усилитель

Данную схему можно рекомендовать опытным радиолюбителям.

Информация по трансформаторам, используемым в схеме, находится на сайте фирмы «Аудиоинструмент» по адресу www.audioinstr.h1.ru; E-mail: audioinstrument@mail.ru.

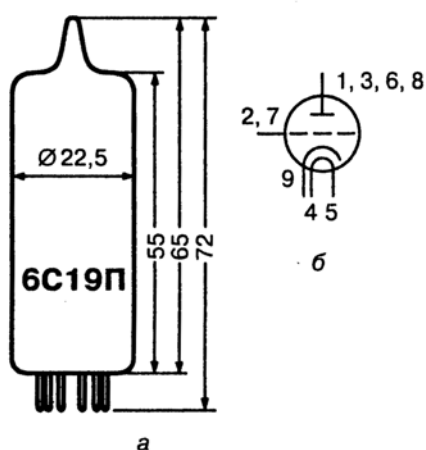
Следует отметить хорошее качество и доступные ценымоточных изделий данной фирмы.

6С19П

Триод

Общие характеристики

Лампа предназначена для работы в качестве регулирующей в электронных стабилизаторах напряжения.



Назначение выводов:

1, 3, 6, 8 — анод;
2, 7 — сетка;
4 и 5 — подогреватель (накал);
9 — катод

Рис. 2.64. Лампа 6С19П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	6,5;
выходная.....	2,5;
проходная.....	8,0.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	1000 ± 70;
напряжение на аноде, В.....	110;
ток в цепи анода, мА.....	95 ± 15;
крутизна характеристики, мА/В.....	7,5 ± 1,5;
внутреннее сопротивление, кОм.....	0,3.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В 6,9;
наименьшее напряжение накала, В..... 5,7;
наибольшее напряжение на аноде (при мощности, рассеиваемой на аноде не более 7 Вт), В 350;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт..... 11;
наибольший ток в цепи анода, мА..... 140;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В 250;
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм 0,5.

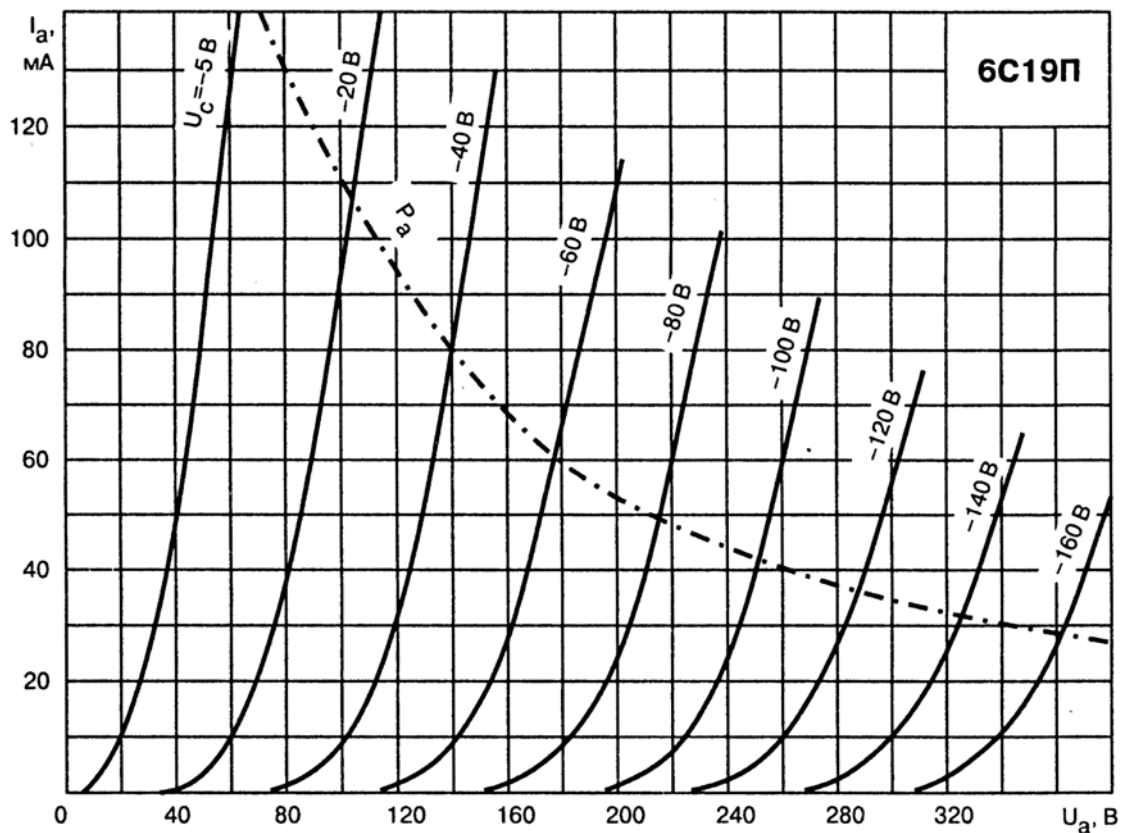


Рис. 2.65. Типовые вольт-амперные характеристики 6С19П

Лампа 6С19П не имеет прямых (отечественных и зарубежных) аналогов.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- очень низкое внутреннее сопротивление;
- невысокая цена и широкое распространение;
- высокая линейность ВАХ.

Недостатки:

- сложность раскладки, малая (для выходного каскада) мощность;
- низкий коэффициент усиления.

Схемотехника

Драйверный каскад

Драйверный каскад (рис. 2.66) построен на лампе 6С19П, т. к. для раскладки транзисторной части гибридного усилителя требуются значительная мощность и амплитуда выходного сигнала, малое выходное сопротивление (разработчик — А. Манаков).

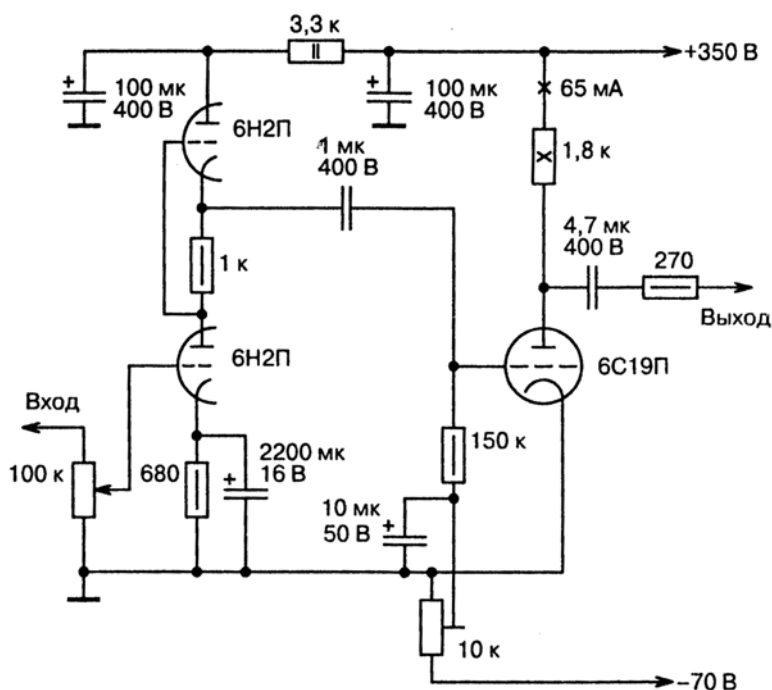


Рис. 2.66. Схема входного и драйверного каскадов гибридного усилителя

В схеме, представленной на рис. 2.67, основной недостаток ламп 6С19П — малая мощность — устраняется их параллельным включением, мощность при этом удваивается (разработчик — А. Манаков). Увлекаться запараллеливанием большого числа ламп не следует, т. к., во-первых, усложняется налаживание усилителя, а во-вторых, существенно возросший суммарный ток анода потребует усложнения конструкции выходного трансформатора.

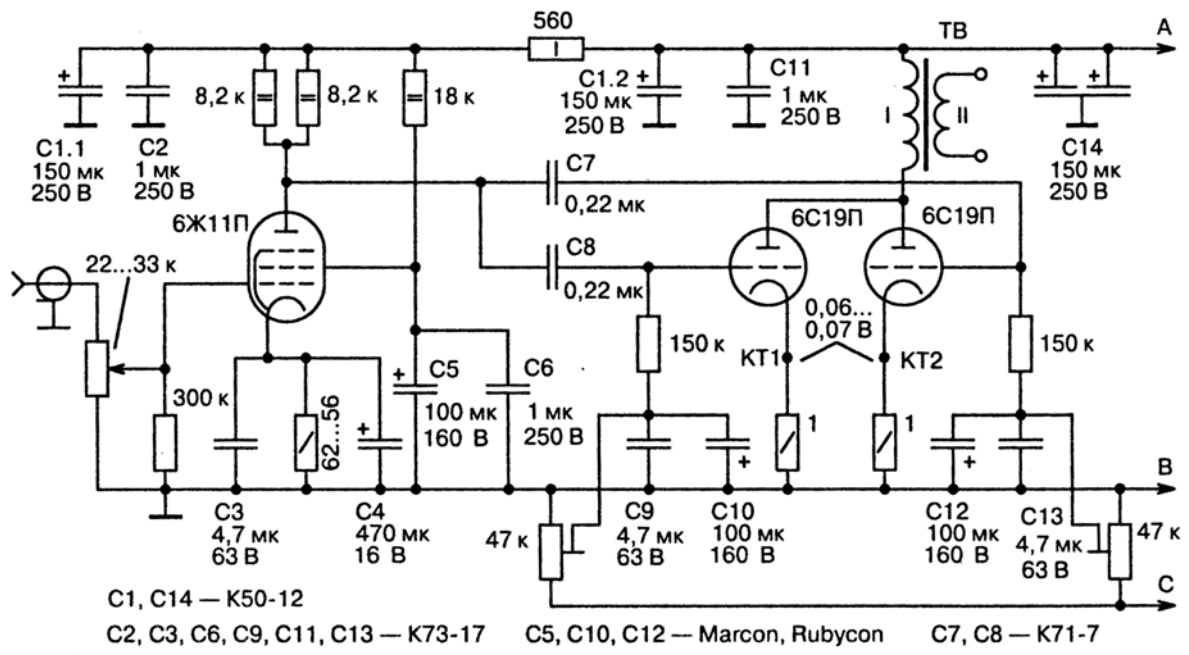
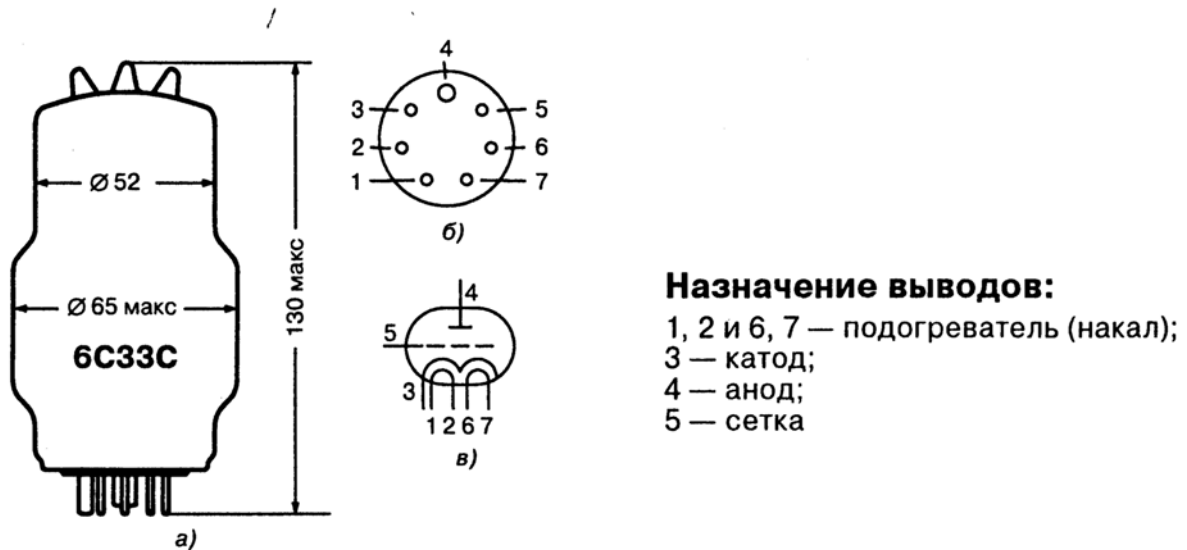


Рис. 2.67. Однотактный усилитель

Общие характеристики

Лампа предназначена для работы в качестве регулирующей в электронных стабилизаторах напряжения.



Назначение выводов:

- 1, 2 и 6, 7 — подогреватель (накал);
- 3 — катод;
- 4 — анод;
- 5 — сетка

Рис. 2.68. Лампа 6С33С: а — основные размеры; б — вид со стороны выводов; в — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении (предпочтительно — вертикальное). Срок службы лампы не менее 750 часов. Цоколь 7-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	30 ±7;
выходная.....	9 ±1;
проходная.....	31 ±7.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3 или 12,6;
ток накала, А.....	6,6 ±0,6 или 3,3 ±0,3;

напряжение на аноде, В.....	120;
ток в цепи анода, мА.....	550 ±80;
крутизна характеристики, мА/В.....	40 ±10;
внутреннее сопротивление, Ом.....	80.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В.....	6,9 или 13,9;
наименьшее напряжение накала, В.....	5,7 или 11,3;
наибольшее напряжение на аноде (при мощности, рассеиваемой на аноде не более 30 Вт), В.....	250;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде (при работе с двумя катодами), Вт.....	60;
наибольший ток в цепи анода (при работе с двумя катодами), мА.....	600;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В.....	300;
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм.....	0,2.

Лампа 6С33С имеет прямой аналог — 6С18С.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- очень большая выходная мощность;
- очень низкое внутреннее сопротивление;
- высокая крутизна;
- возможность выбора напряжения накала: 6,3 В или 12,6 В;
- низкая цена, широкая распространенность.

Недостаток:

- сложность раскочки.

Внимание! У ламп 6С33С часто встречается дефект — отгорание внутреннего соединения одного (реже — двух) из накалов с выводом. Желательно приобретать лампы со штампом военной приемки либо с гарантией.

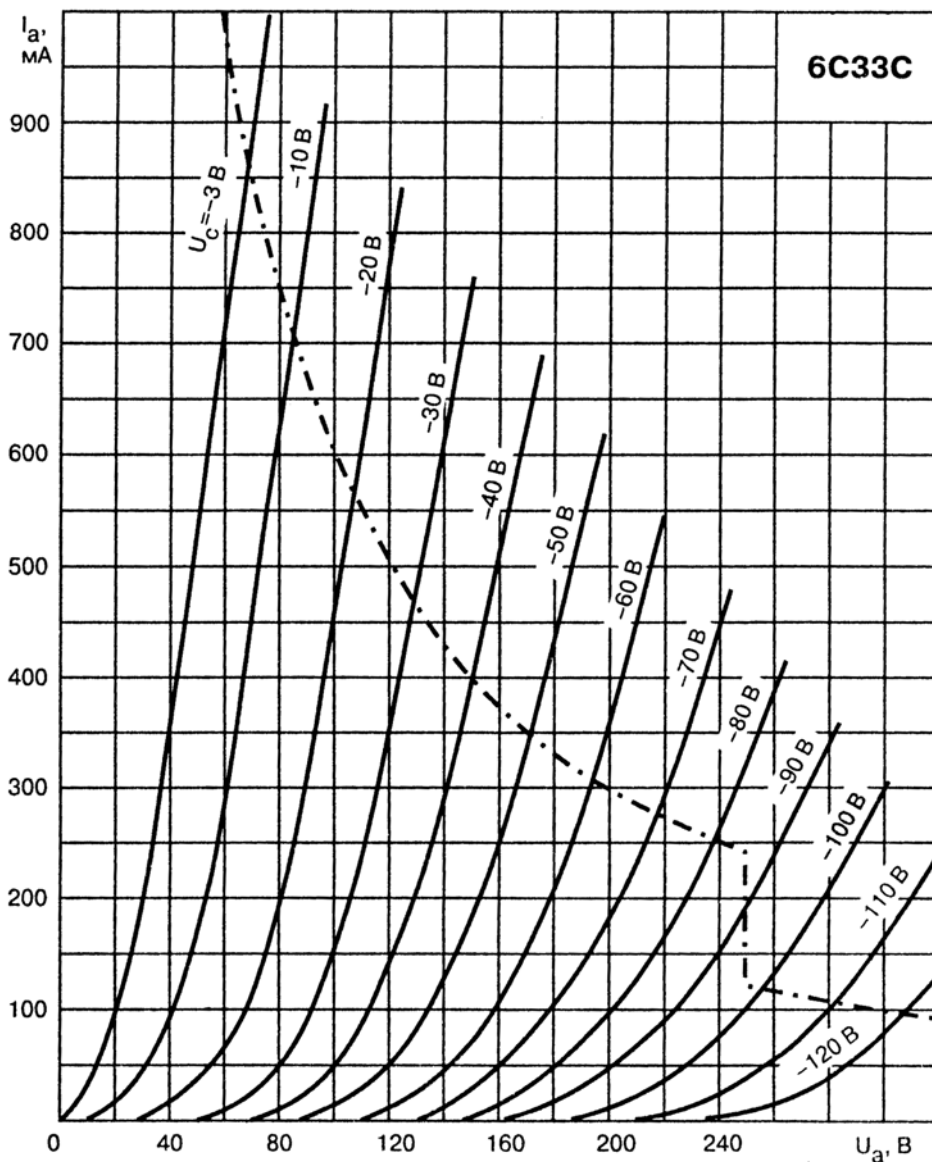


Рис. 2.69. Типовые вольт-амперные характеристики 6С33С

Схемотехника

Однотактный усилитель

На рис. 2.70 представлена схема однотактного усилителя на триоде 6С33С, разработанная А. Манаковым.

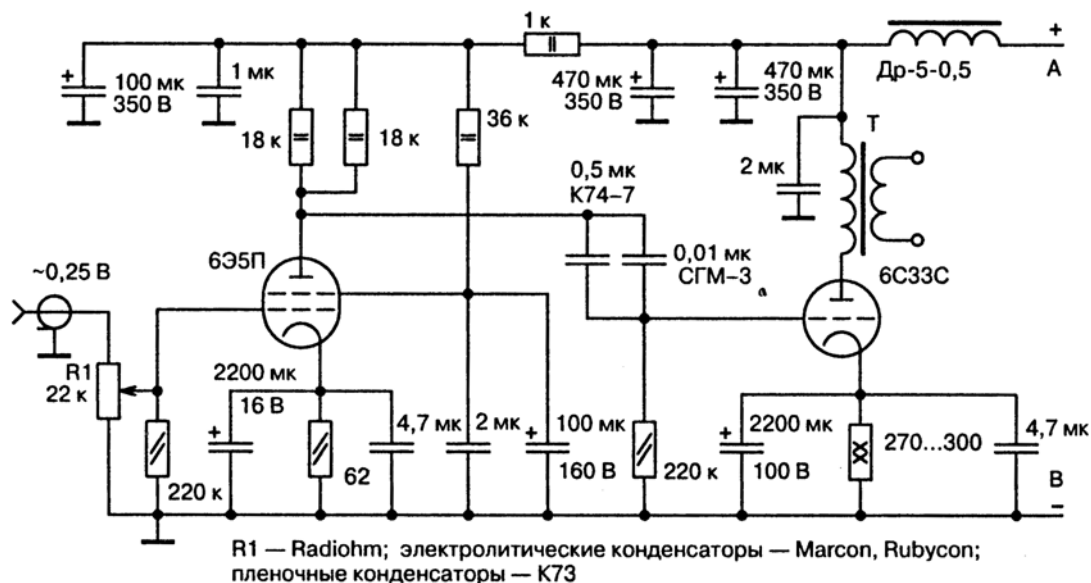


Рис. 2.70. Схема однотактного усилителя на лампе 6C33C

Лампе 6C33C свойственна температурная и временная нестабильность. Чтобы не допустить саморазогрева, необходимо использовать автосмещение.

Двухтактный усилитель

Особенность схемотехники С. Сакумы — построение всех каскадов по трансформаторной схеме. Выходной каскад усилителя (рис. 2.71) на лампах 6C33C построен по двухтактной схеме. Видимо, разработчик стремился получить максимально возможную выходную мощность, что объясняет работу каскада в классе *AB*.

Бестрансформаторный усилитель

Схема, показанная на рис. 2.72, — пример типичного построения OTL: выходной SEPP-каскад, класс усиления *AB*, обратная связь (разработчик — А. Чиуффоли). Отметим, что, исключив выходной трансформатор, разработчики подобных конструкций вынуждены идти на усложнение (и существенное удорожание!) блока питания, т. к. в SEPP-каскаде используется двуполярное питание и большое число ламп. В приведенной схеме, например, накальный трансформатор имеет мощность 0,2 кВт, анодный — 0,9 кВт! Двуполярное питание, кроме того, требует удвоенного количества конденса-

торов фильтра. Помимо удорожания блока питания увеличиваются масса и габариты шасси (корпуса). В итоге лишь дополнительные затраты на элементы блока питания и корпус могут превысить стоимость приличного выходного трансформатора! Качество звучания усилителя, охваченного глубокой общей ООС и с высоким выходным сопротивлением, однозначно уступает собратьям с трансформаторным выходом, лишенным подобных недостатков. Создается ощущение, что ОТЛ-идеология служит не для достижения качественного звукоусиления, а в целях демонстрации изящных схемотехнических решений.

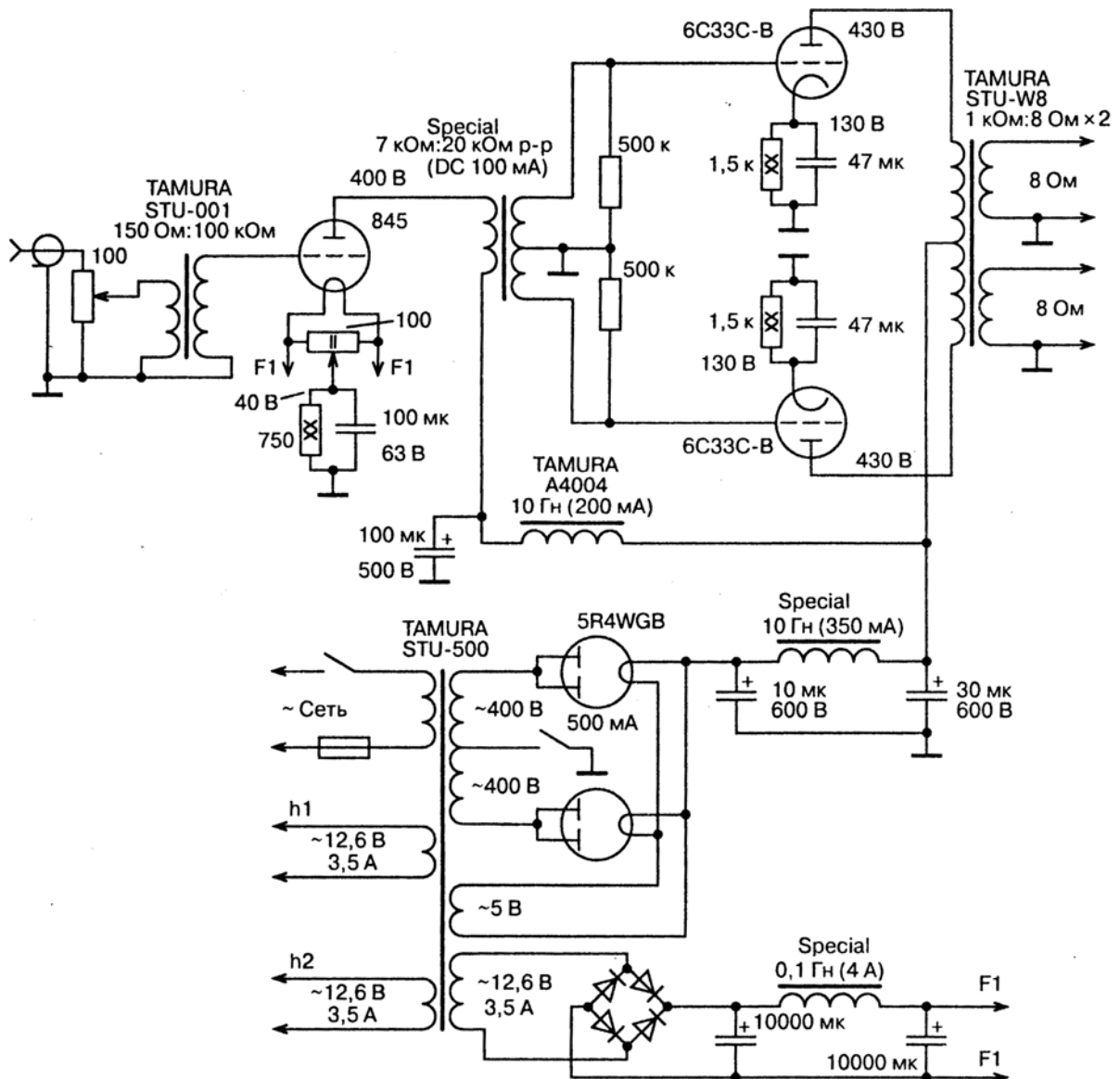


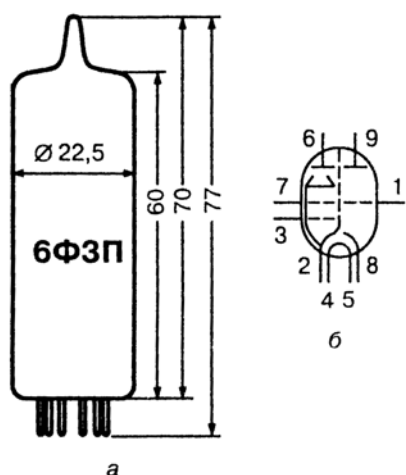
Рис. 2.71. Двухтактный усилитель на лампах 6С33С

6Ф3П

Триод-пентод

Общие характеристики

Лампа предназначена для работы в усилителях низкой частоты и блоках кадровой развертки телевизионных приемников.



Назначение выводов:

- 1 — сетка триода;
- 2 — катод пентода, лучеобразующая пластина и экран;
- 3 — первая сетка пентода;
- 4 и 5 — подогреватель (накал);
- 6 — анод пентода;
- 7 — вторая сетка пентода;
- 8 — катод триода;
- 9 — анод триода

Рис. 2.73. Лампа 6Ф3П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная триода	2,2;
выходная триода.....	0,4;
проходная триода	3,7;
входная пентода	9,3;
выходная пентода.....	8,5;
проходная пентода.....	0,3.

Номинальные электрические параметры:

<i>напряжение накала, В</i>	6,3;
<i>ток накала, мА</i>	850 ±80;
<i>напряжение на аноде триода, В</i>	170;
<i>ток в цепи анода триода, мА</i>	2,5 ±1,2;
<i>крутизна характеристики триода, мА/В</i>	2,5;
<i>коэффициент усиления триода</i>	75;
<i>внутреннее сопротивление триода, кОм</i>	30.
<i>напряжение на аноде пентода, В</i>	170;
<i>напряжение на второй сетке пентода, В</i>	170;
<i>ток в цепи анода пентода, мА</i>	41 ±13;
<i>крутизна характеристики пентода, мА/В</i>	7 ±2;
<i>внутреннее сопротивление пентода, кОм</i>	15.

Предельно допустимые электрические параметры:

<i>наибольшее напряжение накала, В</i>	6,9;
<i>наименьшее напряжение накала, В</i>	5,7;
<i>наибольшее напряжение на аноде триода, В</i>	250;
<i>наибольшее напряжение на аноде пентода, В</i>	275;
<i>наибольшее напряжение на второй сетке пентода, В</i>	250;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде триода, Вт</i>	1,0;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде пентода, Вт</i>	8,0;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке пентода, Вт</i>	2,5;
<i>наибольший ток в цепи катода триода, мА</i>	15;
<i>наибольший ток в цепи катода пентода, мА</i>	60;

Наибольшее сопротивление в цепи первой сетки пентода:

<i>при автоматическом смещении, МОм</i>	1,0;
<i>при фиксированном смещении, МОм</i>	0,5;

Наибольшее сопротивление в цепи первой сетки триода:

<i>при автоматическом смещении, МОм</i>	3,0;
<i>при фиксированном смещении, МОм</i>	1,0.

Лампа 6Ф3П имеет прямые зарубежные аналоги — 6ВМ8, ECL82.

Достаточно близким аналогом (в звуковом применении) можно считать лампы 6Ф5П, 6GV8, ECL85, ECL86.

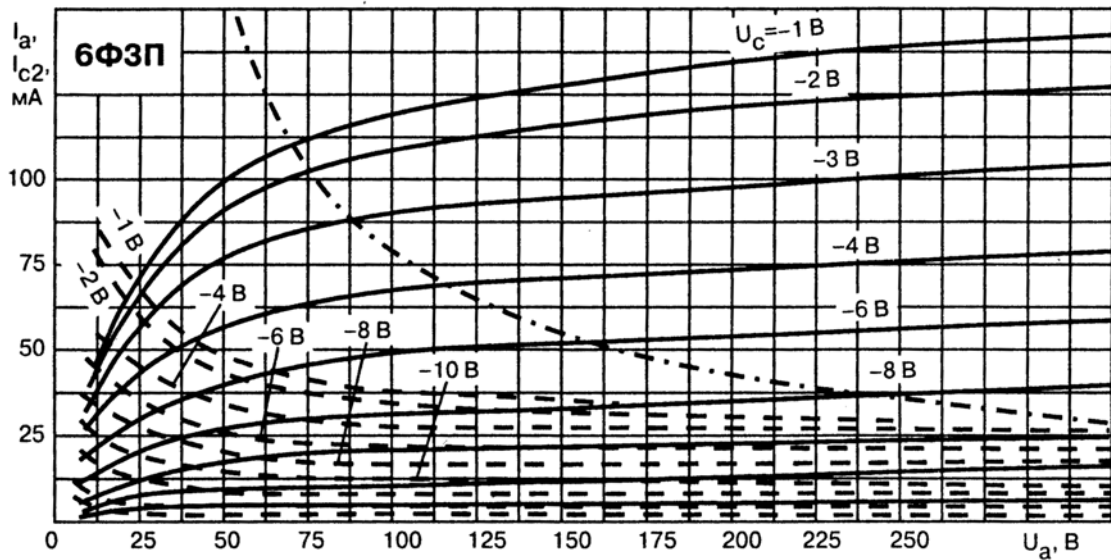


Рис. 2.74. Типовые вольт-амперные характеристики пентода 6Ф3П при напряжении на второй сетке 150 В

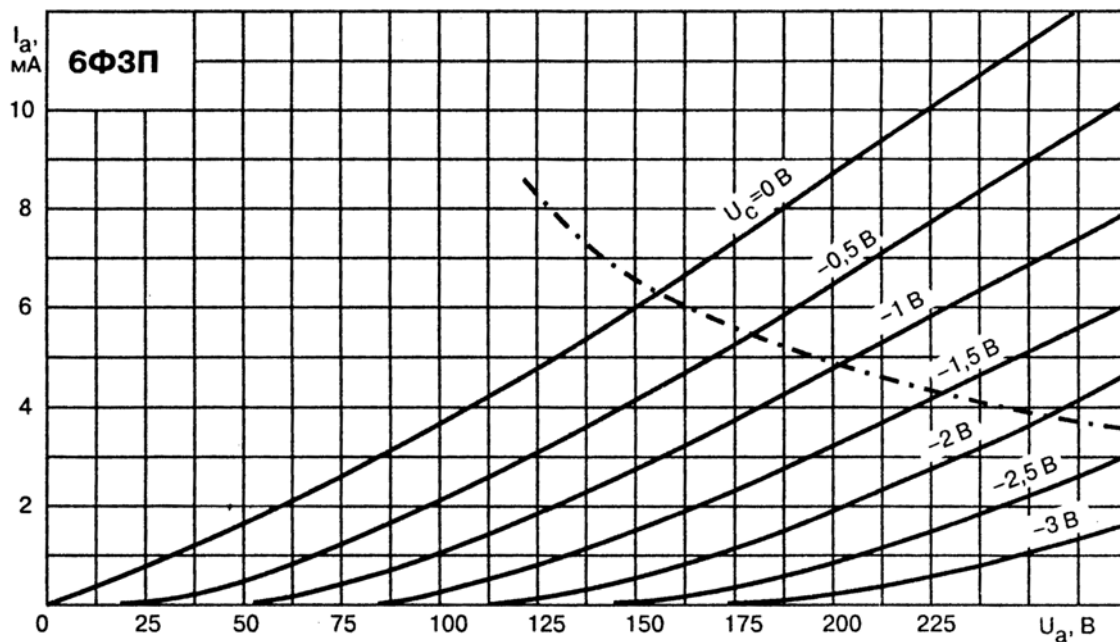


Рис. 2.75. Типовые вольт-амперные характеристики триода 6Ф3П

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- высокое усиление триода;
- довольно мощный пентод;
- низкая цена, широкая распространенность.

Недостаток:

- большое внутреннее сопротивление триода.

Схемотехника

Однотактный усилитель на одном баллоне

Благодаря перечисленным достоинствам лампы становится возможной реализация однотактного усилителя на одном баллоне.

Усилитель, схема которого разработана А. Манакowym и показана на рис. 2.76, — пожалуй, идеальный вариант для начинающих. Все детали можно извлечь из старого лампового телевизора. Настройка сводится лишь к установке тока анода 45 мА (контролируется по падению напряжения в 45 мВ на катодном резисторе).

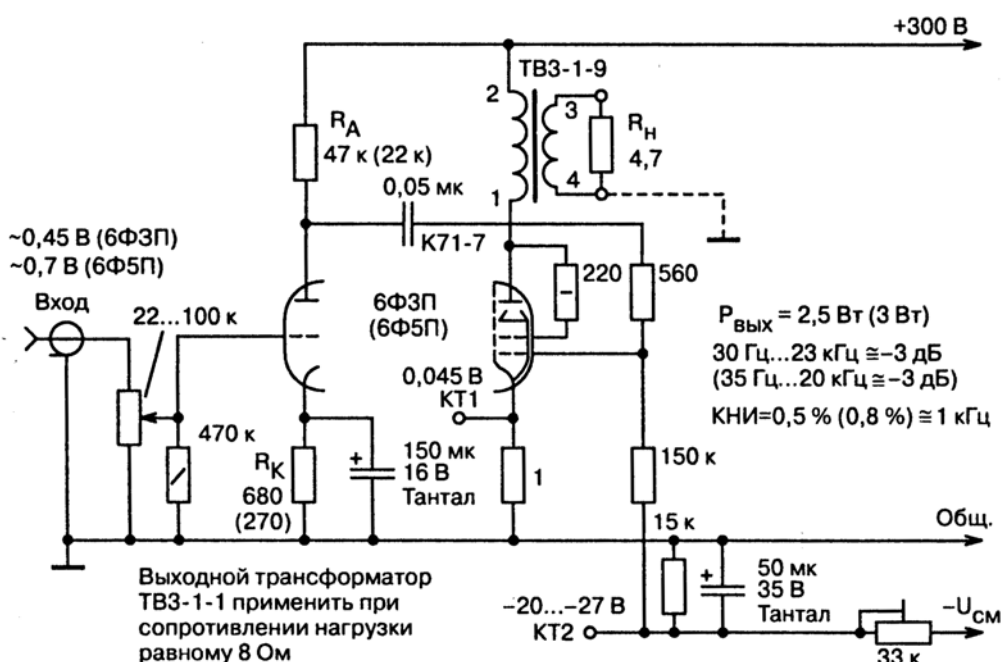


Рис. 2.76. Однотактный усилитель на одном баллоне 6Ф3П

Если реализация фиксированного смещения вызовет затруднения, то можно использовать автоматическое: заменить катодный резистор резистором сопротивлением 500 Ом (2 Вт), зашунтировать его конденсатором 100 мкФ, нижний по схеме вывод сеточного резистора (150 кОм) соединить с общим проводом. Автоматическое смещение также рекомендуется применять при использовании старых, бывших в употреблении, ламп.

Винил-корректор

В схеме винил-корректора (рис. 2.77, разработчик — К. Рочельт) [1] пентодная часть лампы ECL86 используется в штатном включении для достижения максимального усиления.

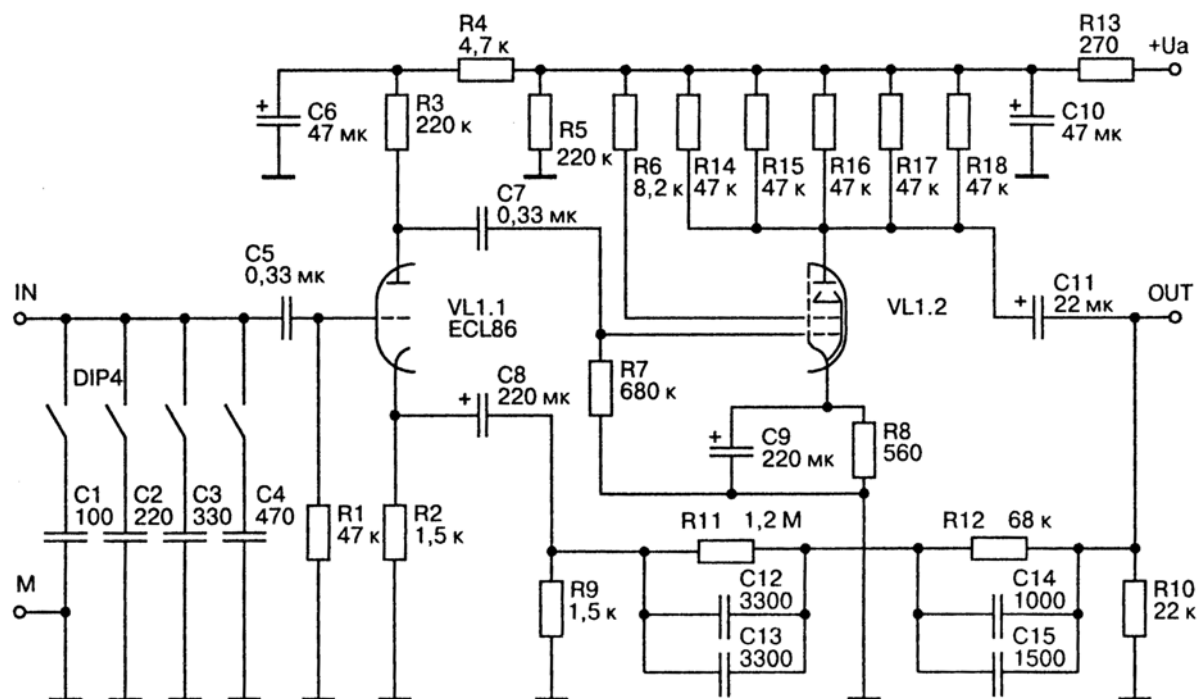


Рис. 2.77. Винил-корректор на одном баллоне

Несмотря на формально высокие параметры, звучание подобных схем оставляет желать лучшего, т. к. для спектра пентода характерно преобладание нечетных гармоник. Еще один серьезный недостаток — частотная коррекция в цепи общей ООС: кроме ее негативного воздействия на звучание могут возникнуть проблемы, связанные с отклонением амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) схемы от стандартной (ввиду необходимости подбора номиналов 7 (!) элементов — R11, R12, C12, C13, C14, C15, R9).

Входные и драйверные каскады

Наличие в одном баллоне лампы 6Ф3П триода и пентода позволяет легко реализовать два каскада предварительного усиления для раскачки мощных выходных ламп — входной и драйверный.

Схема Лофтина—Уайта, драйвер на катодном повторителе

Вернемся к схеме, показанной на рис. 2.56. Триодная и пентодная части лампы 6Ф3П (6ВМ8) включены по схеме Лофтин—Уайта (с непосредственной связью между каскадами). Пентод (в триодном включении) работает катодным повторителем, что обеспечивает низкое выходное сопротивление драйверного каскада.

Трансформаторный драйверный каскад

Аналогичная задача (раскачка выходной лампы) может быть решена с помощью трансформаторной схемы построения драйверного каскада (рис. 2.78, разработчик — Б. Данеляк). При указанном коэффициенте трансформации выходное сопротивление каскада снижается в 100 раз без применения ООС (в отличие от катодного повторителя). Однако за отсутствие ООС приходится платить 10-кратным снижением коэффициента передачи.

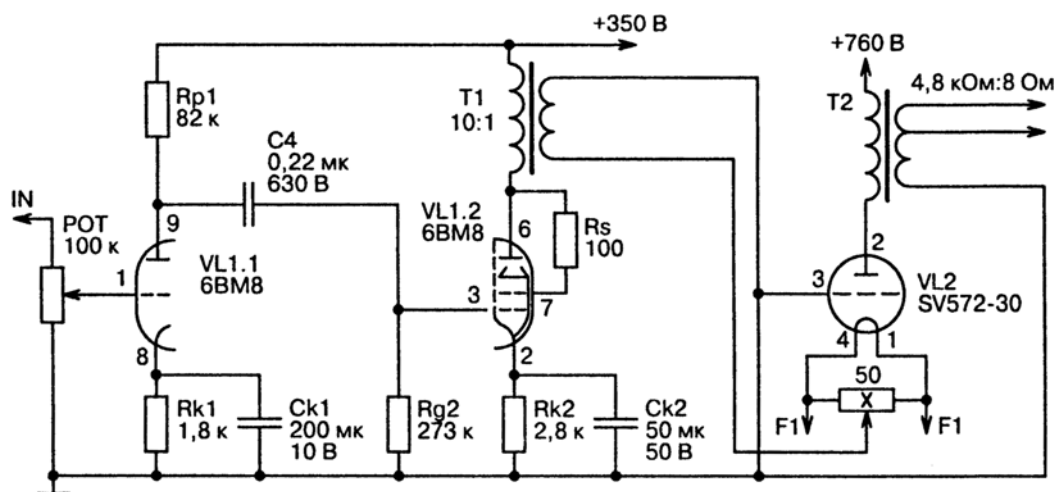


Рис. 2.78. Входной и драйверный трансформаторный каскады на лампе 6Ф3П

Драйверный каскад по дроссельной схеме

В драйверном каскаде, схема которого показана на рис. 2.79 (разработчик — Б. Данеляк), используется дроссельная анодная нагрузка, позволяющая получить очень высокую амплитуду выходного сигнала, т. к. выходная лампа имеет коэффициент усиления в 10 раз меньший, чем в предыдущей схеме.

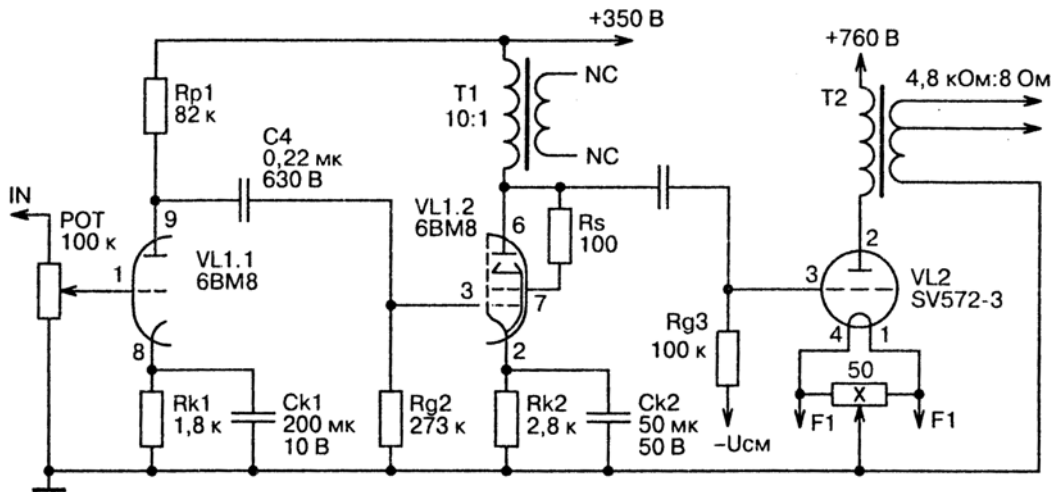


Рис. 2.79. Входной и драйверный дроссельные каскады на лампе 6Ф3П

Лампа SV572-3 является **левой** и работает без токов сетки (класс *A1*) в отличие от **правой** лампы SV572-30; поэтому снижать выходное сопротивление драйверного каскада для раскачки SV572-3 не имеет смысла.

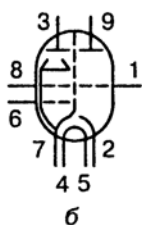
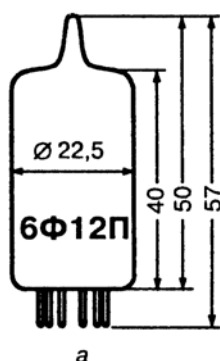
Примечание. У **левой** лампы анодно-сеточные характеристики (в основном) лежат в области отрицательных значений напряжения на сетке, у **правой** лампы — в области положительных.

6Ф12П

Широкополосный триод-пентод

Общие характеристики

Лампа предназначена для работы в частотопреобразовательных каскадах и усилителях напряжения высокой и низкой частоты.



Назначение выводов:

- 1 — сетка триода;
- 2 — катод триода;
- 3 — анод пентода;
- 4 и 5 — подогреватель (накал);
- 6 — первая сетка пентода;
- 7 — катод пентода, экран, третья сетка;
- 8 — вторая сетка пентода;
- 9 — анод триода

Рис. 2.80. Лампа 6Ф12П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная триода	4,6 ±1,4;
выходная триода.....	0,26 ±0,08;
проходная триода	1,6 ±0,4;
входная пентода	6,6 ±1,6;
выходная пентода.....	1,9 ±0,5;
проходная пентода, не более	0,02.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	330 ±30;
напряжение на аноде триода, В.....	150;
ток в цепи анода триода, мА.....	12,5 ±3,5;

крутизна характеристики триода, мА/В 19 ± 4 ;
 коэффициент усиления триода 100 (не менее 80);
 напряжение на аноде пентода, В 170;
 ток в цепи анода пентода, мА $10 \pm 2,5$;
 крутизна характеристики пентода, мА/В $15 \pm 3,0$;
 внутреннее сопротивление пентода, кОм 4...5;
 коэффициент усиления пентода 70.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В 7,0;
 наименьшее напряжение накала, В 5,7;
 наибольшее напряжение на аноде триода, В 250;
 наибольшее напряжение на аноде пентода, В 300;
 наибольшее напряжение на второй сетке пентода, В 250;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде триода, Вт 3,5;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде пентода, Вт 5,0;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке пентода, Вт 0,4;
 наибольший ток катода пентода, мА 22;
 наибольший ток катода триода, мА 22.

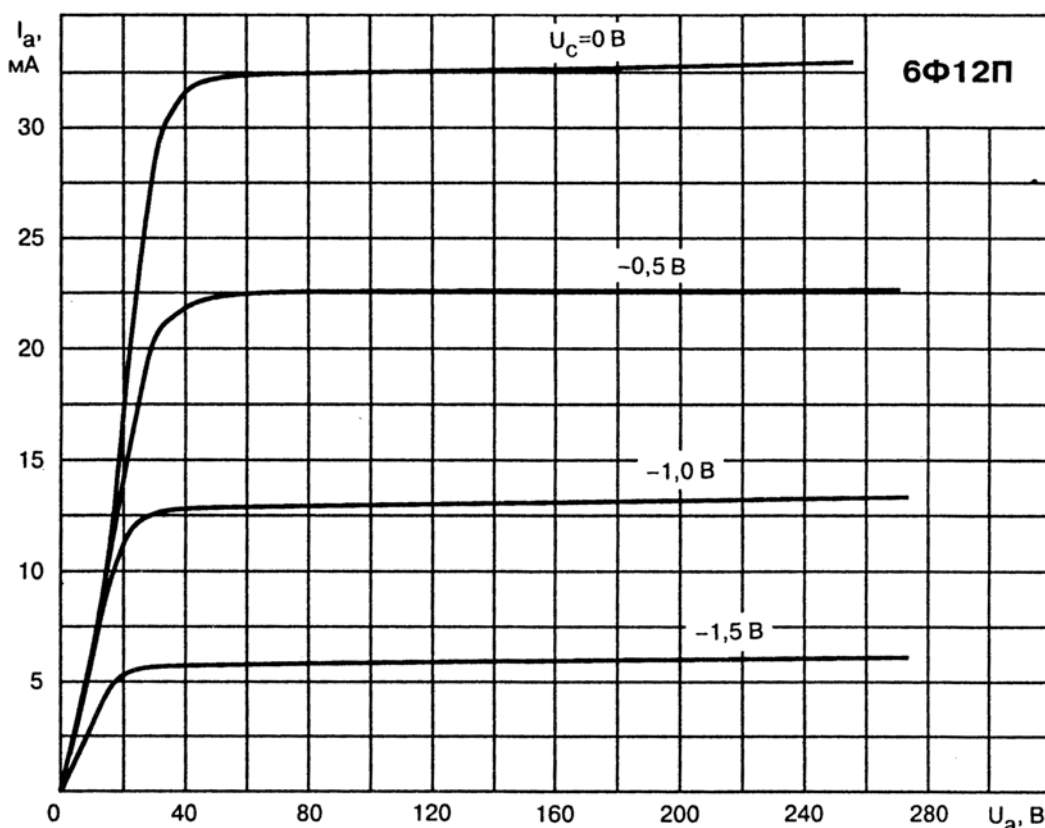


Рис. 2.81. Типовые вольт-амперные характеристики пентода 6Ф12П при напряжении на второй сетке 150 В

Лампа 6Ф12П не имеет прямых аналогов.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- очень высокие усиление, крутизна триода и пентода (в штатном и триодном включениях);
- достаточно низкое внутреннее сопротивление триода и пентода (в триодном включении);
- невысокая цена, широкая распространенность.

Недостатки:

- требуется отбор по минимальному микрофонному эффекту;
- токи сетки возникают при напряжении смещения от -1 В.

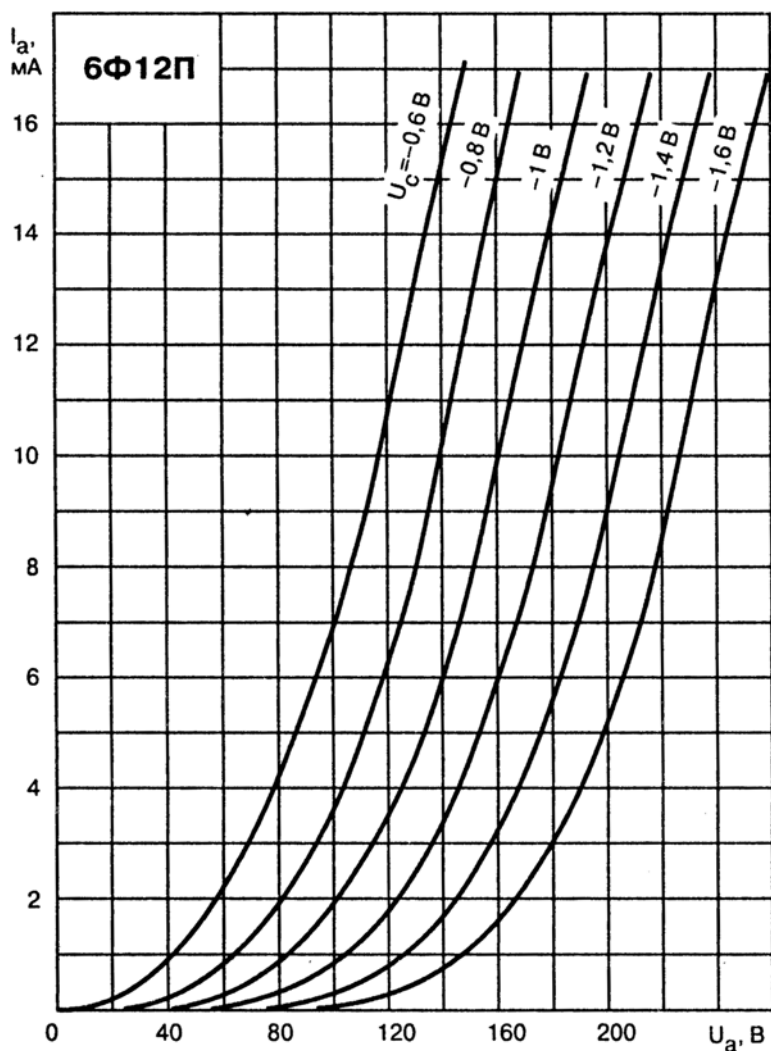


Рис. 2.82. Типовые вольт-амперные характеристики триода 6Ф12П

Схемотехника

Винил-корректор

Вернемся к схеме винил-корректора, показанной на рис. 2.62. Триод лампы 6Ф12П используется во втором каскаде винил-корректора. Особенность включения — батарейное смещение. В принципе, можно было построить корректор на одном баллоне 6Ф12П, т. к. усиление как триода, так и пентода (в штатном и триодном включениях) превышает аналогичный показатель триода 6С4П. Возможно, разработчика остановил более выраженный микрофонный эффект лампы 6Ф12П, т. к. прочие недостатки (раннее появление токов сетки, некоторый дисбаланс между второй и третьей гармониками) присутствуют и у 6С4П. Более подробно конструкция винил-корректора рассмотрена на сайте разработчика по адресу www.klausmobile.narod.ru/projects/pr_03_kk1_r.htm.

Усиленный SRPP (мю-повторитель)

Триод лампы 6Ф12П обладает очень высоким (более 100) коэффициентом усиления. Реализовать его в полной мере можно двумя способами: построением трансформаторного каскада или одного из вариантов СРПП.

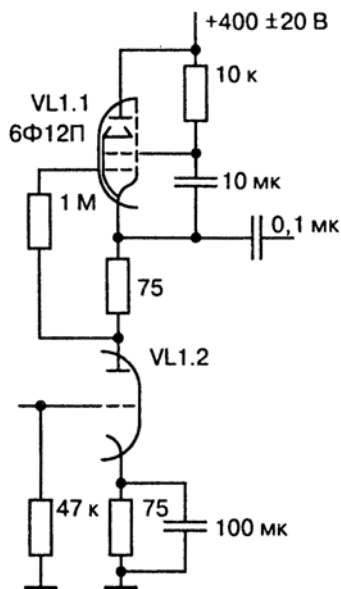


Рис. 2.83. Мю-повторитель на 6Ф12П

Вследствие довольно высокого (6...7 кОм) внутреннего сопротивления лампы потребуются межкаскадный трансформатор с $R_a = 15...20$ кОм, изготовление которого — весьма сложная задача. На рис. 2.83 изображен мю-повторитель, позволяющий не только добиться высокого усиления каскада, но и существенно снизить выходное сопротивление.

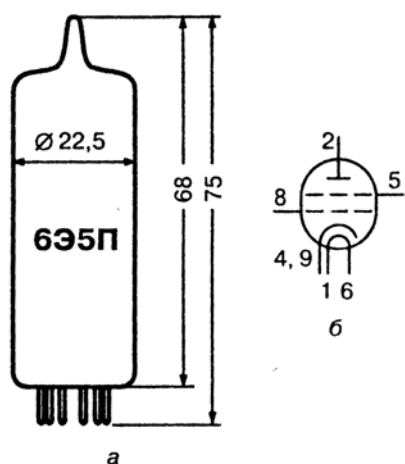
Полезная информация

Весьма перспективным представляется использование пентода лампы (который аналогичен по параметрам лампе 6Ж43П) в триодном включении. Оптимальная рабочая точка выглядит так: $U_a = 220...250$ В, $U_c = -3$ В, $I_a = 30...35$ мА.

Дополнительная информация по лампе 6Ф12П представлена по адресу www.klausmobile.narod.ru/testerfiles/6f12p.htm.

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления напряжения и мощности на частотах до 200 МГц. Может применяться в выходных каскадах низкой частоты.



Назначение выводов:

- 1 и 6 — подогреватель (накал);
- 2 — анод;
- 4, 9 — катод и экран;
- 5 — вторая сетка;
- 8 — первая сетка

Рис. 2.84. Лампа 6Э5П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Лампа в стеклянном пальчиковом оформлении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	15 ±2;
выходная.....	2,55 ±0,3;
проходная.....	0,6.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	600 ±40;
напряжение на аноде, В.....	150;

напряжение на второй сетке, В 150;
 ток в цепи анода, мА 43 ± 10 ;
 ток в цепи второй сетки, не менее, мА 19;
 крутизна характеристики, мА/В $30,5 \pm 6,5$;
 внутреннее сопротивление, кОм 8.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В 7,0;
 наименьшее напряжение накала, В 5,7;
 наибольшее напряжение на аноде, В 250;
 наибольшее напряжение на второй сетке, В 250;
 наибольшее постоянное напряжение
 между катодом и подогревателем, В 100;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 8,3;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт 2,3.

Лампа не имеет прямых отечественных аналогов. Близкой по ВАХ и звуковой сигнатуре является 6Э6П. Цоколевки этих ламп различны. При необходимости можно использовать 6П9, 6Ж11П или 6Ж23П, 6Ж43П (с параллельным включением анодов), в крайнем случае — 6П15П.

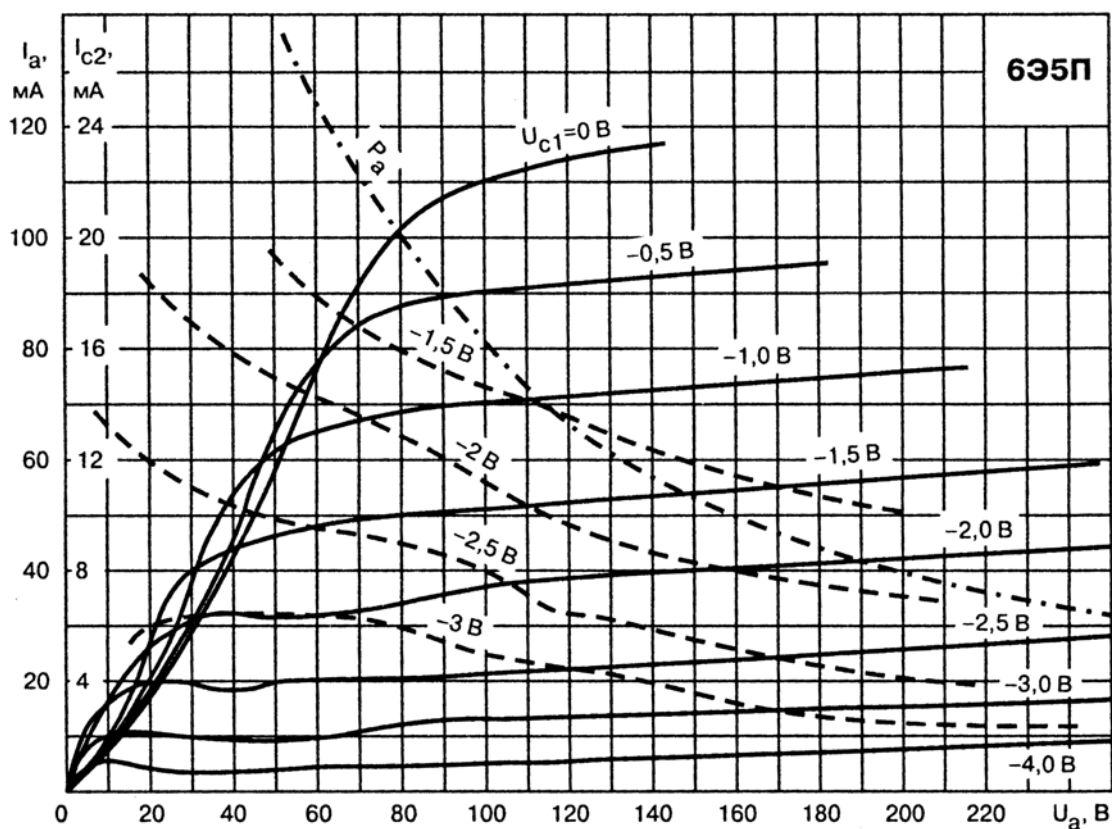


Рис. 2.85. Типовые вольт-амперные характеристики 6Э5П при напряжении на второй сетке 150 В

Тетродное (штатное) включение

На рис. 2.85 показаны анодные характеристики лампы 6Э5П в тетродном включении. Стандартный резистивный каскад на лампе 6Э5П позволяет получить следующие параметры: $K = 200$, $U_{\text{вых}} = 100$ В (среднеквадратичное). Таких значений достаточно для построения двухкаскадного усилителя, т. е. каскад на лампе 6Э5П является одновременно входным и драйверным (для раскачки выходных ламп).

Достоинства:

- высокая линейность, хорошая звуковая сигнатура;
- большой коэффициент усиления, высокая крутизна, позволяющие реализовать двухкаскадный усилитель;
- большая мощность, рассеиваемая на аноде; лампа может использоваться в качестве драйверной и даже выходной;
- очень малое (для тетрода) внутреннее сопротивление;
- низкий уровень шумов;
- низкая цена.

Недостаток:

- пресловутое «пентодное звучание».

Примеры реализации тетродного включения лампы 6Э5П

Входной/драйверный каскад

Вернемся к схеме, приведенной на рис. 2.54. Входной/драйверный каскад построен по схеме с резистивной нагрузкой. Режимы лампы 6Э5П следующие: напряжение на аноде лампы около 100 В, на экранной сетке — около 110 В, смещение $-1,5$ В.

Сопротивление анодной нагрузки следует подобрать в диапазоне 6,8...8,2 кОм по наилучшему звучанию, а резистор в цепи второй сетки — поменять на 36...39 кОм.

Благодаря таким параметрам, как $\mu = 200$, $S = 30$ мА/В, $R_i = 8$ кОм, $R_a = 6,2...8,2$ кОм, лампа может быть с успехом применена даже в первом каскаде винил-корректора (например, в разработках Владимира Ульянова: <http://astral-for.narod.ru/>).

Триодное включение

Лампа 6Э5П в триодном включении обладает хорошей звуковой сигнатурой и приличными объективными характеристиками:

$$\mu = 30...35, S = 30 \text{ мА/В}, R_i = 1,2 \text{ кОм}.$$

Низкое внутреннее сопротивление позволяет реализовать выходной каскад предусилителя ВАХ лампы 6Э5П (в триодном включении) представлены на рис. 2.86 или усилитель для головных телефонов (рис. 2.87 и 2.88, разработчик — А. Манаков).

Особенность последней конструкции (телефонного усилителя) — применение положительной обратной связи (ПОС), улучшающей звучание (в отличие от ООС). Глубина ПОС регулируется подстроечным резистором и подбирается по наилучшему качеству звучания. Напряжение питания усилителя — 250...280 В; ток анода — 35...40 мА. Если неправильно скоммутировать выводы вторичной обмотки, то обратная связь будет отрицательной (ООС). Под правильным включением (ПОС) подразумевается такое, при котором в нижнем (по схеме) положении движка переменного резистора 100 Ом произойдет возбуждение усилителя.

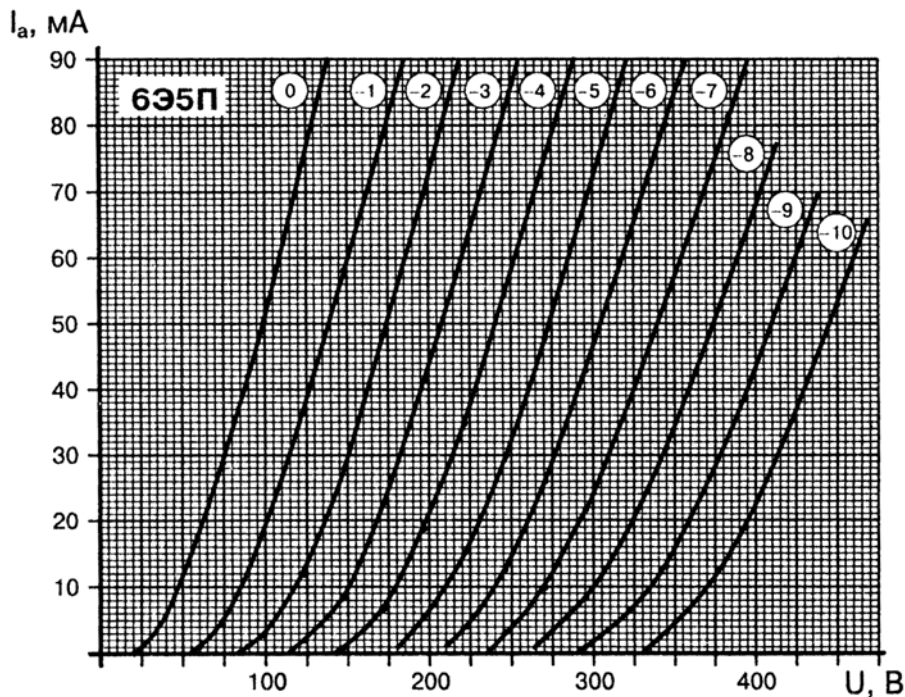


Рис. 2.86. ВАХ лампы 6Э5П в триодном включении

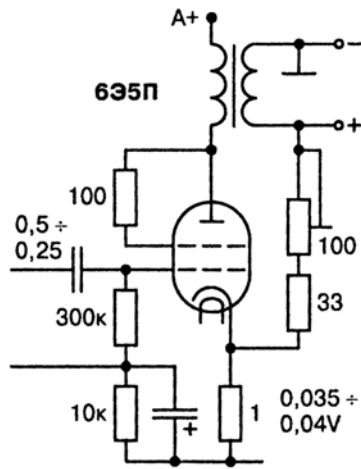


Рис. 2.87. Усилитель для головных телефонов (фиксированное смещение)

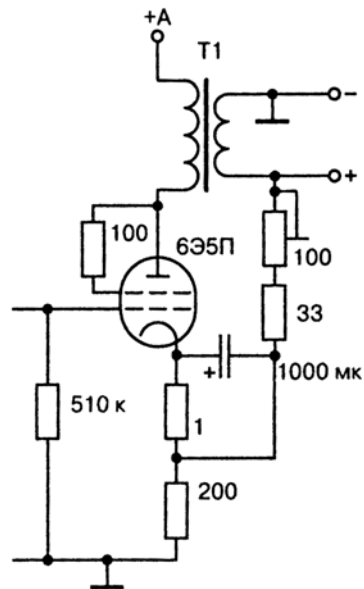


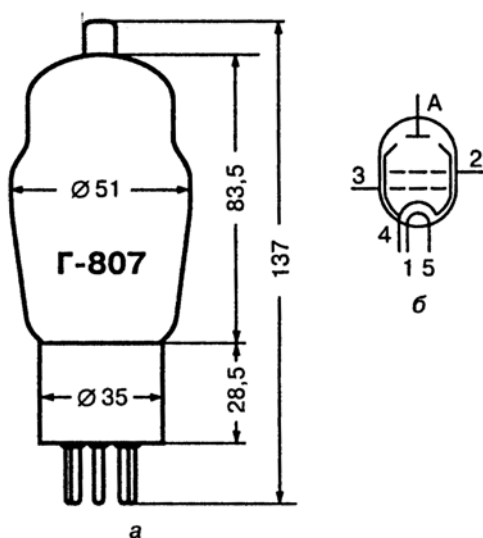
Рис. 2.88. Усилитель для головных телефонов (автосмещение)

Г-807

Генераторный лучевой тетрод

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления и генерирования колебаний высокой частоты. Может быть использована в выходных каскадах усилителей низкой частоты.



Назначение выводов:

- 1 и 5 — подогреватель (накал);
- 2 — вторая сетка;
- 3 — первая сетка;
- 4 — катод и лучеобразующие пластины;
- A — анод (верхний колпачок на баллоне)

Рис. 2.89. Лампа Г-807: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в вертикальном положении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь специальный. Штырьков — 5. Лампа выполнена в соответствии с ГОСТ 8380—57.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	12;
выходная.....	7,0;
проходная.....	0,2.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	900 ±90;
напряжение на аноде, В.....	600;

ток в цепи анода, мА 100;
 ток в цепи второй сетки, мА 20;
 крутизна характеристики, мА/В 10.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В 7,0;
 наименьшее напряжение накала, В 5,7;
 наибольшее напряжение на аноде, В 600;
 наибольшее напряжение на второй сетке, В 300;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 25;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт 3,5;
 наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В 135;
 наибольшее сопротивление в цепи первой сетки, МОм 1,0.

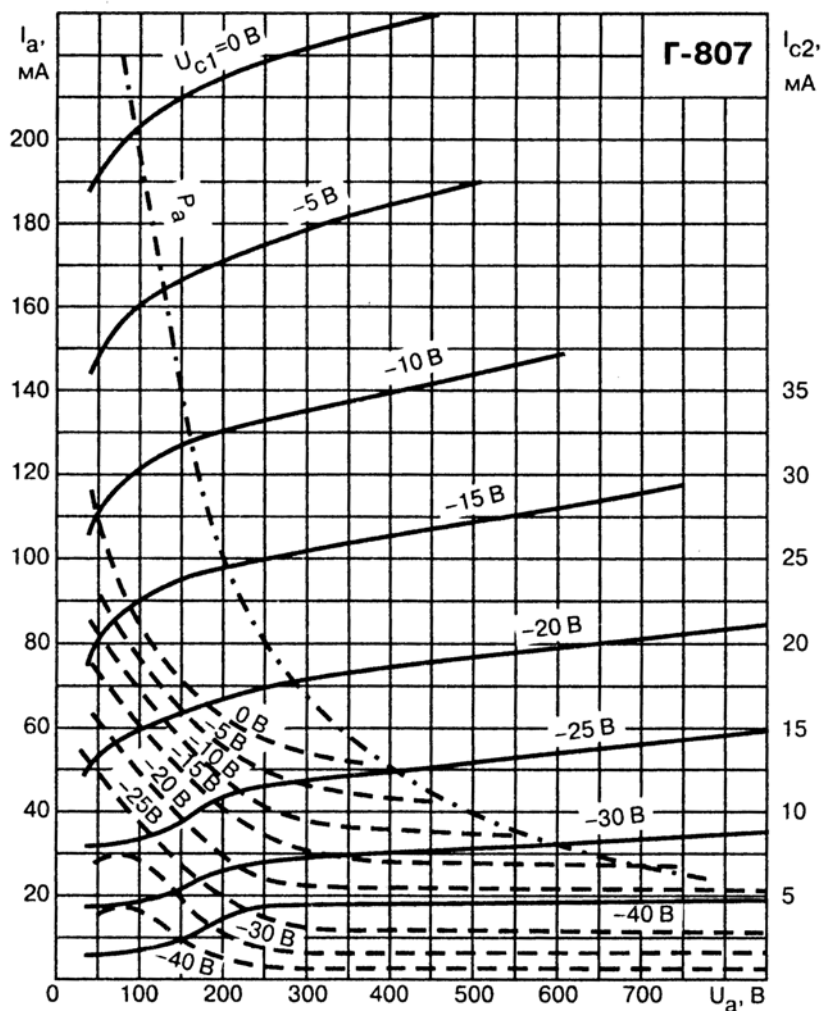


Рис. 2.90. Типовые вольт-амперные характеристики Г-807 при напряжении на второй сетке 300 В

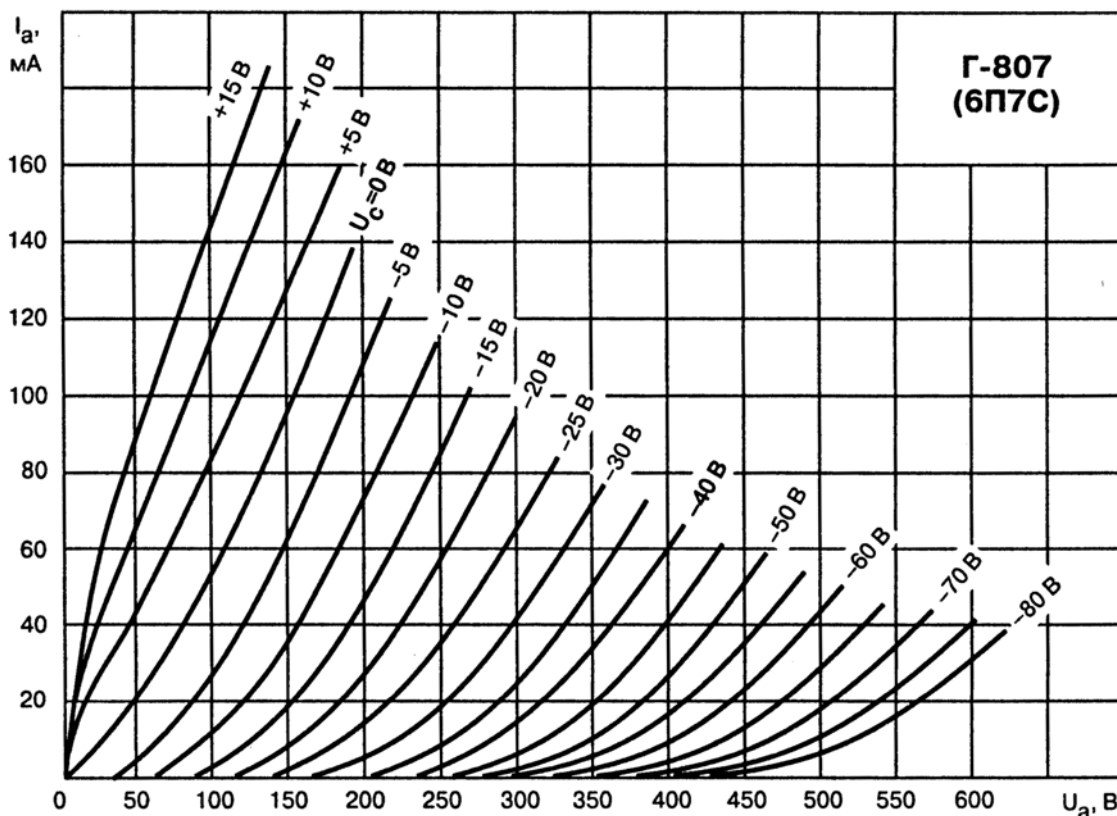


Рис. 2.91. Типовые вольт-амперные характеристики Г-807 в триодном включении [5]

Лампа Г-807 имеет полный зарубежный аналог (точнее прообраз) — 807. Ближайшие аналоги — 6П7С, 6ПЗС (6L6), 6BG6G. Несмотря на близость звуковой сигнатуры и основных параметров, лампа Г-807 имеет ряд отличий от 6П7С, 6ПЗС и заслуживает отдельного рассмотрения.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура (в триодном и тетродном включениях);
- достаточно высокое допустимое напряжение на аноде;
- большое количество устройств, выполненных на этой лампе;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- нестандартный цоколь;
- высокое внутреннее сопротивление в триодном режиме.

Схемотехника

Тетродное включение

Пример однотактного усилителя с выходным каскадом на лампе Г-807

Выходной каскад однотактного усилителя разработки А. Манакова, схема которого приведена на рис. 2.92, выполнен на лампе Г-807 в штатном (тетродном) включении.

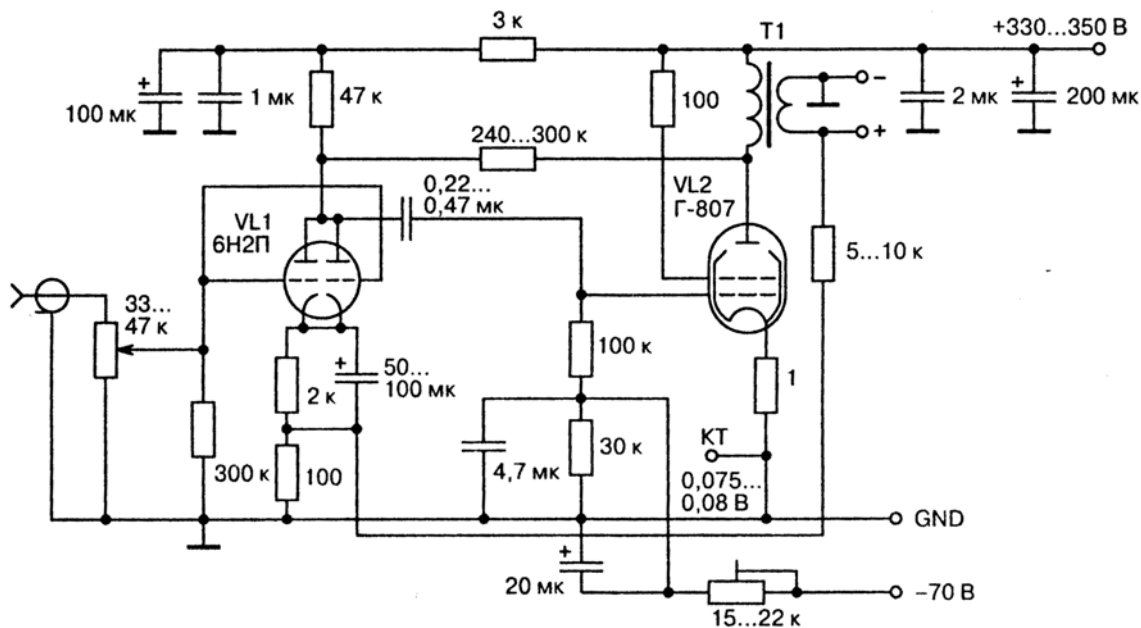


Рис. 2.92. Однотактный усилитель на Г-807

В качестве драйверной использована лампа 6H2П, имеющая высокий коэффициент усиления. Обе половинки соединены параллельно для снижения выходного сопротивления каскада.

Особенность усилителя — наличие двух ООС:

- общей, со вторичной обмотки выходного трансформатора в катод ламп первого каскада, линеаризующей общую АЧХ усилителя и снижающей его выходное сопротивление;
- местной, между анодами драйверной и выходной ламп, для уменьшения резонансов выходного трансформатора, обусловленных высоким сопротивлением выходной лампы при ее штатном включении.

Выходная мощность усилителя 7...8 Вт.

Пожелание: не применяйте лампы, бывшие в употреблении.

Двухтактный оконечный каскад

Проблема большинства одноконтных усилителей — малая выходная мощность, что является одной из основных причин распространения двухтактных конструкций. Современный двухтактный усилитель работает в классе *A* или, в крайнем случае, *AB*.

В 60—70 годах прошлого века считалось допустимым широкое применение двухтактных каскадов, работающих в классе *AB2* (рис. 2.93) и даже *B2* (рис. 2.94)! Разумеется, существенное увеличение мощности достигалось за счет роста уровня нелинейных искажений и сужения частотного диапазона. Однако подобная схемотехника актуальна и сегодня, находя применение в выходных каскадах гитарных усилителей.

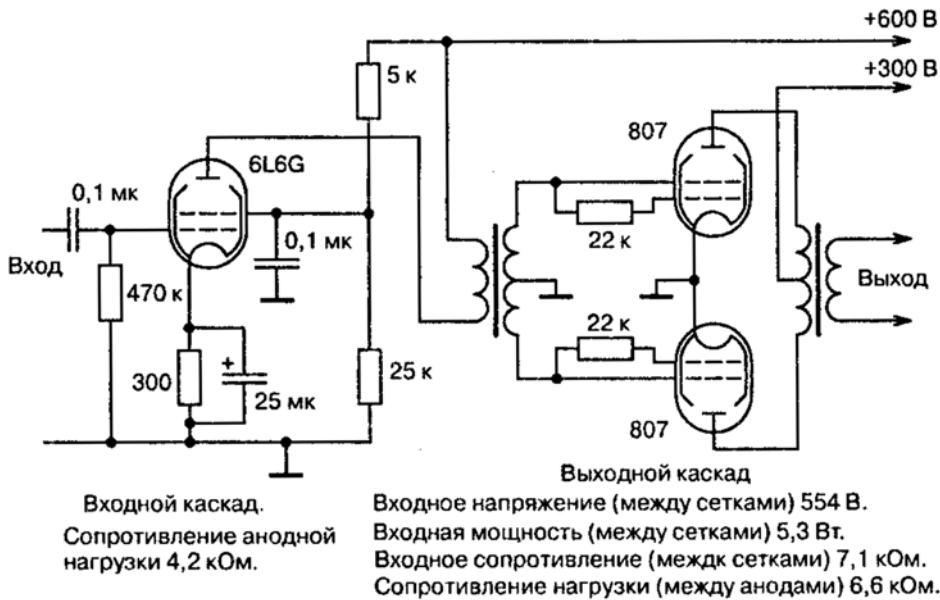


Рис. 2.94. Двухтактный выходной каскад, работающий в классе *B2*; выходная мощность — более 100 Вт

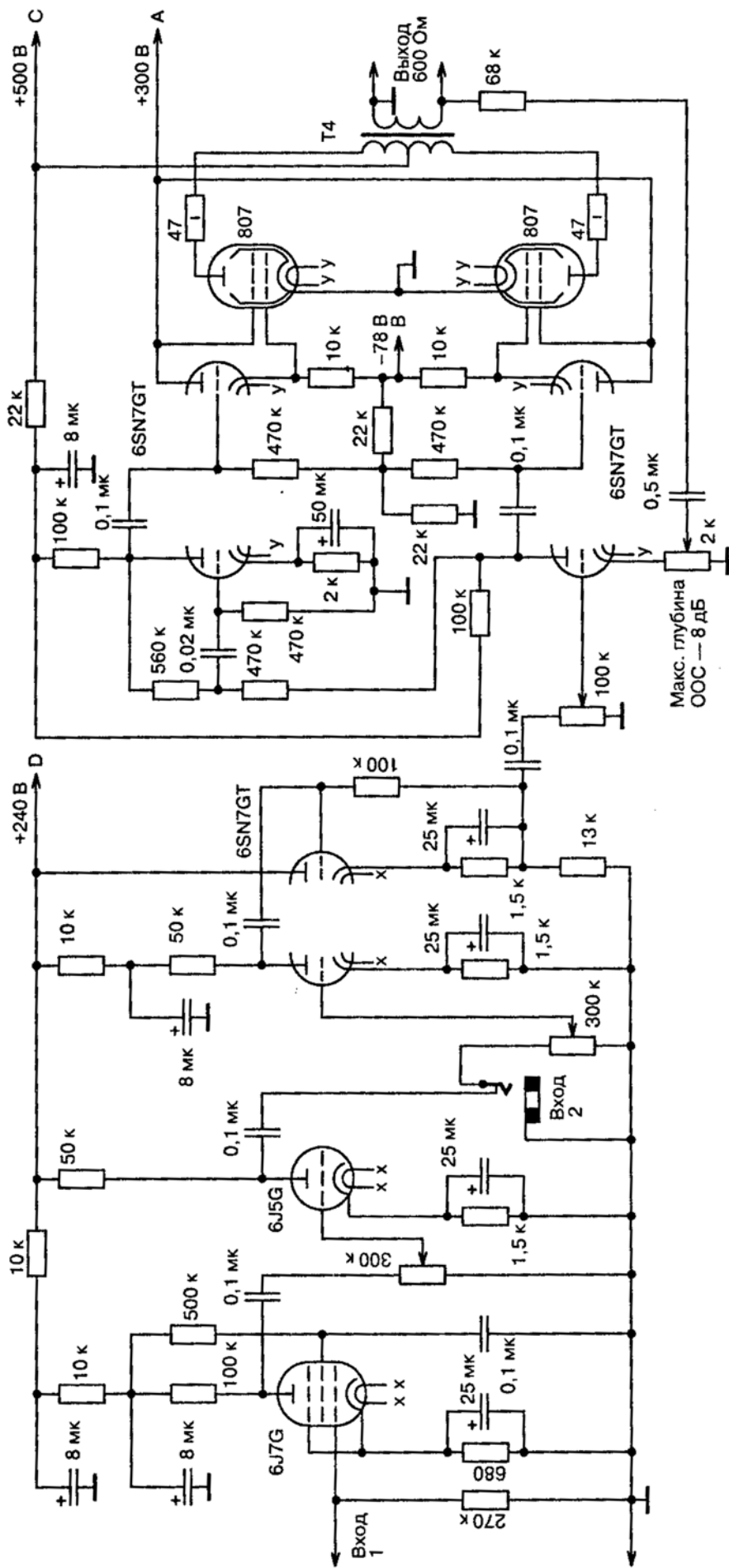


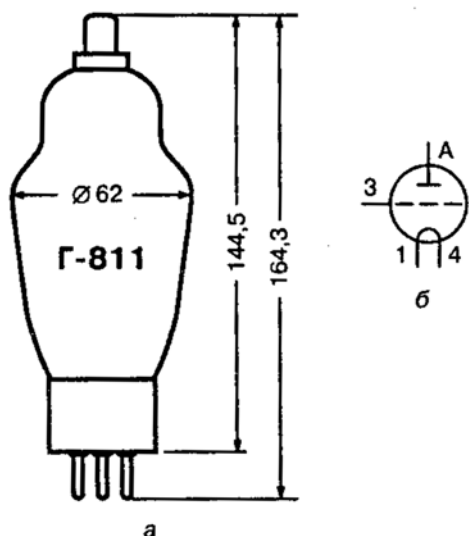
Рис. 2.93. Двухтактный усилитель с каскадом, работающим в классе АВ2; выходная мощность — 75 Вт

Г-811

Генераторный триод с
высоким коэффициентом
усиления

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления и генерирования колебаний высокой частоты. Может быть использована в выходных каскадах усилителей низкой частоты.



Назначение выводов:

1 и 4 — накал, катод;
2 — не используется;
3 — сетка;
А — анод (верхний колпачок на баллоне)

Рис. 2.95. Лампа Г-811: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод вольфрамовый, прямого накала. Лампа работает в вертикальном положении. Цоколь специальный. Штырьков — 4.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная..... 5,9;
выходная..... 0,7;
проходная..... 5,6.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В..... 6,3;

ток накала, A 4;
напряжение на аноде, B 1500;
ток в цепи анода, mA 175;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, $Вт$ 45;
коэффициент усиления..... 160.

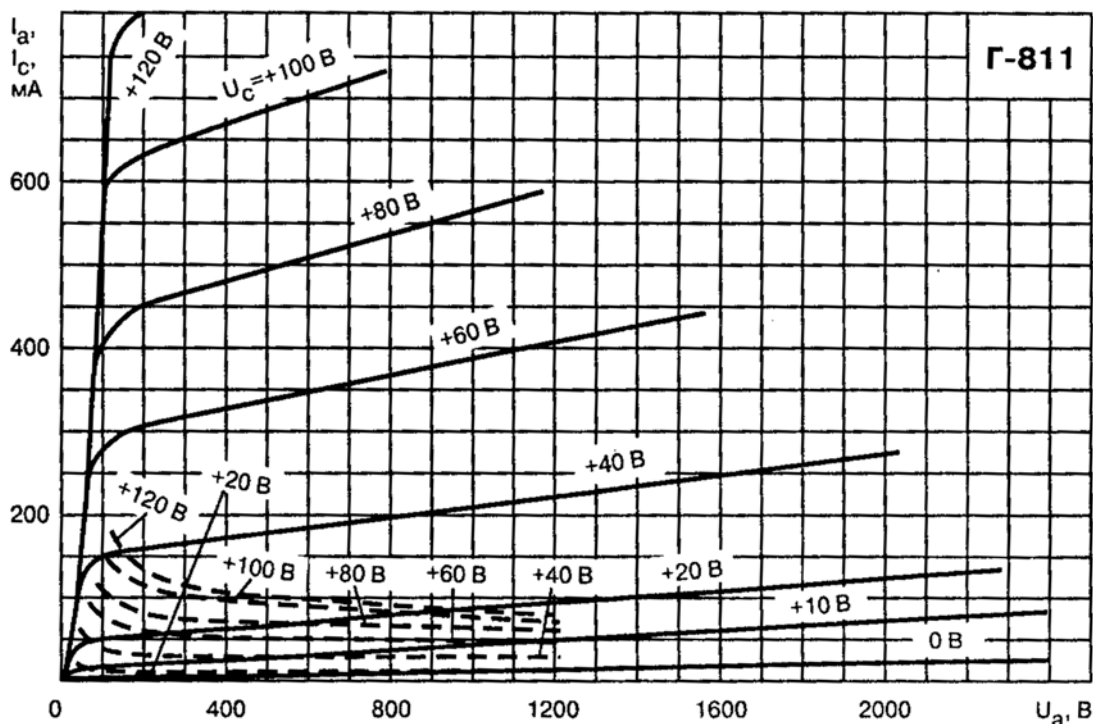


Рис. 2.96. Типовые вольт-амперные характеристики Г-811

Лампа Г-811 имеет полный зарубежный аналог (прообраз) — 811 фирмы RCA. Ближайшие аналоги — SV811-160, SV572-160. Лампа Г-811 принципиально отличается от других мощных триодов. Во-первых, пентодной формой ВАХ; во-вторых, очень высоким коэффициентом усиления — 160! Кроме того, Г-811 — абсолютно правая лампа, способная отдавать большую мощность только в режимах с токами сетки.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- очень высокий коэффициент усиления;
- возможность получения большой мощности (даже в однотоктном включении).

Недостатки:

- нестандартный цоколь;

- большой ток накала (4 А);
- высокое внутреннее сопротивление;
- некоторые разработчики отвергают идею использования режимов с токами сетки.

Схемотехника

Двухтактный оконечный каскад

Фирма RCA рекомендует следующий вариант мощного двухтактного каскада (рис. 2.97).

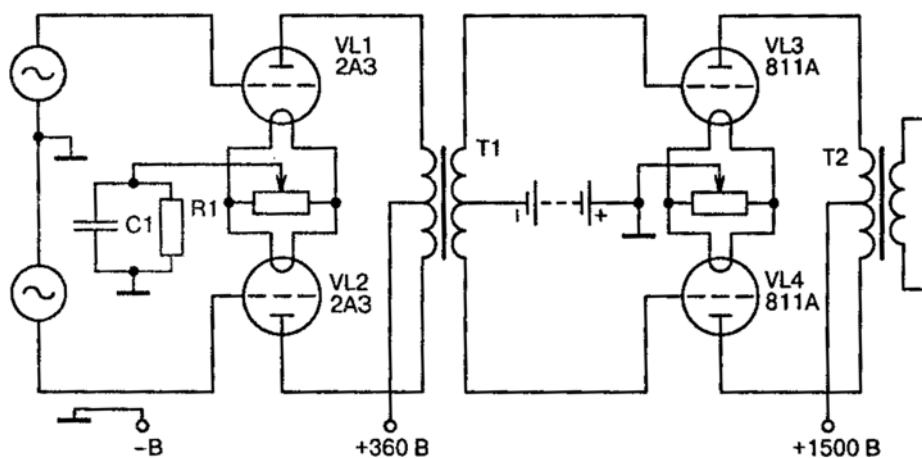


Рис. 2.97. Мощный двухтактный выходной каскад

Класс усиления — *B2*, выходная мощность (при $U_a = 1500$ В, $U_c = -4,5...0$ В, $R_{aa} = 12400$ Ом) — до 250 Вт!!!

Однотактный оконечный каскад

Вопреки негативному отношению к использованию режимов с токами сетки со стороны ряда экспертов, подобные решения применял всемирно известный разработчик Н. Шишидо (рис. 2.98).

Данная схема — образец тщательной проработки не только концепции усилителя, но и мельчайших деталей! Рассмотрим ее подробнее.

- Входной каскад построен по схемотехнике СРПП; напряжение питания каскада невелико, что благоприятно сказывается на уровне шумов; после С-L-С фильтра блока питания напряжение поступает на дополнительный С-R-С фильтр для уменьшения

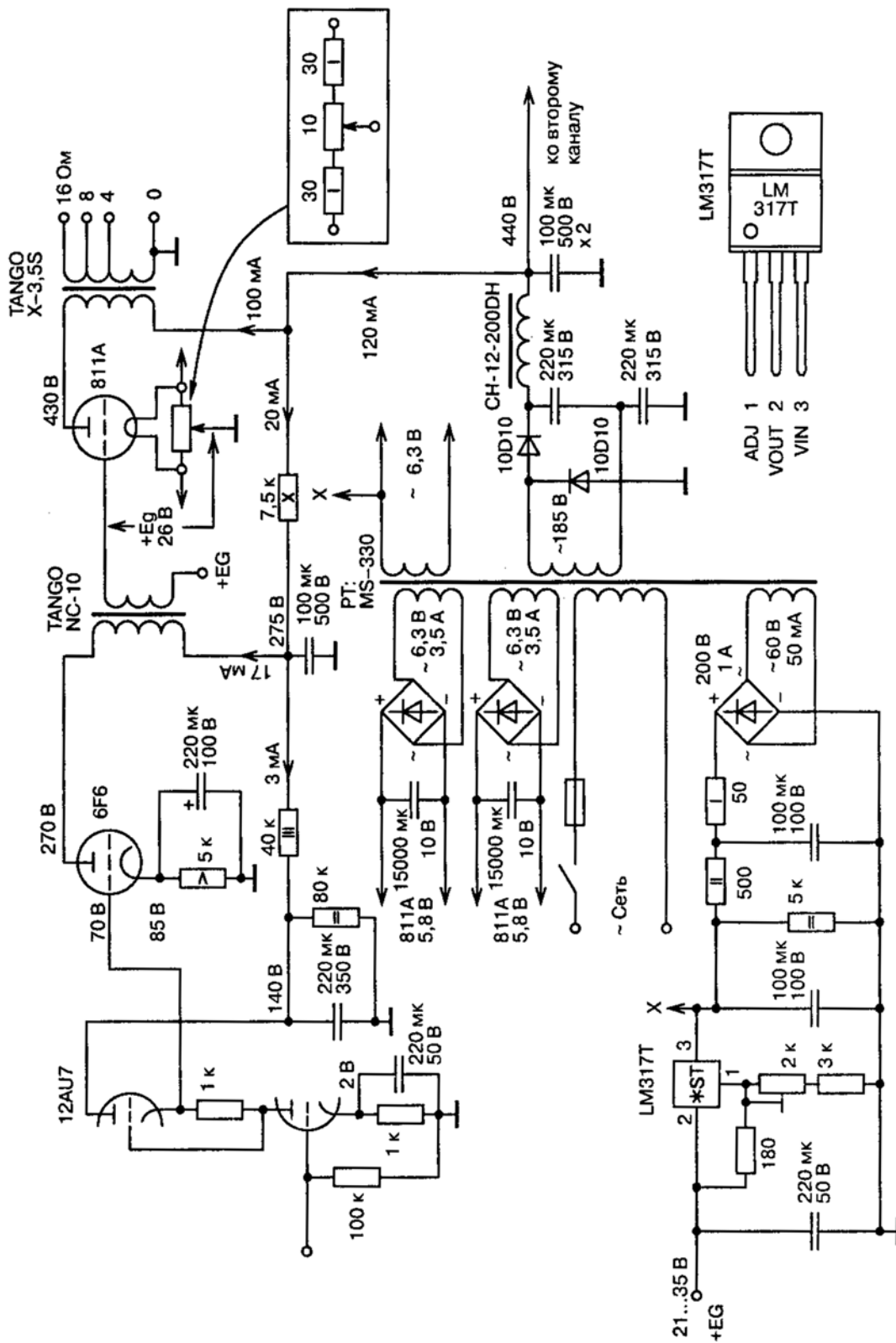


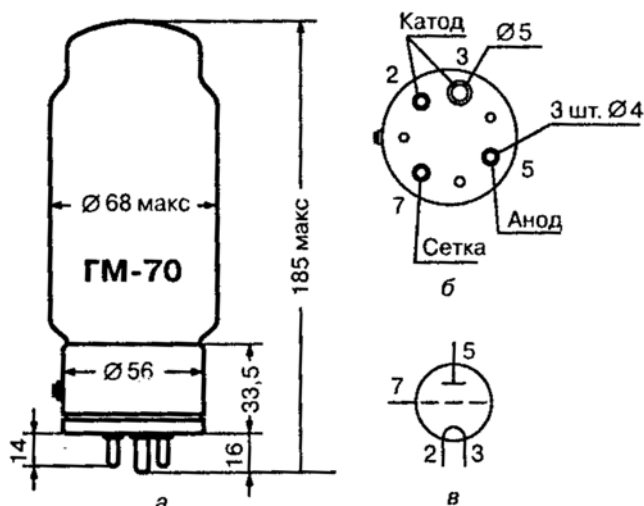
Рис. 2.98. Однотактный усилитель

пульсаций. Вместо 12AU7 можно применить лампы 6Н1П (6Н8С) с некоторой коррекцией режимов входного и драйверного каскадов.

- Связь между входным и драйверным каскадами — непосредственная (по схеме Лофтин—Уайта).
- Драйверный каскад выполнен по трансформаторной схеме. Аналог лампы 6F6 — 6Ф6С.
- Лампа выходного каскада работает в классе A_2 , смещение +26 В.
- Усилитель не охвачен ООС, поэтому внутреннее сопротивление остается достаточно большим: Н. Шишидо включил нагрузку с импедансом 8 Ом между выводами вторичной обмотки, нормированными на 4 и 8 Ом, что соответствует (в пересчете на первичную обмотку) $R_a = 13...14$ кОм и нижней граничной частоте 50...60 Гц (−3 дБ) при 15 Вт выходной мощности.
- Блок питания выполнен по схеме с умножителем напряжения; в качестве силового для первых опытов подойдет трансформатор ТС-180.

Общие характеристики

Лампа предназначена для применения в модуляторах передатчиков, усиления мощности низкой частоты.



Назначение выводов:

- 1, 4, 6 — отсутствуют;
- 2 и 3 — накал, катод;
- 7 — сетка;
- 5 — анод

Рис. 2.99. Лампа ГМ-70: а — основные размеры; б — вид со стороны цоколя; в — схематическое изображение

Катод вольфрамовый, торированный, карбидированный, прямого накала. Лампа работает в вертикальном положении. Цоколь специальный. Штырьков — 4. Срок службы лампы не менее 1000 часов.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	8;
выходная.....	4;
проходная.....	12.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	20;
ток накала, А.....	$3 \pm 0,3$;

напряжение на аноде, В 1500;
 ток эмиссии катода, мА 800;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 125;
 коэффициент усиления 6,7;
 крутизна характеристики, мА/В 6.

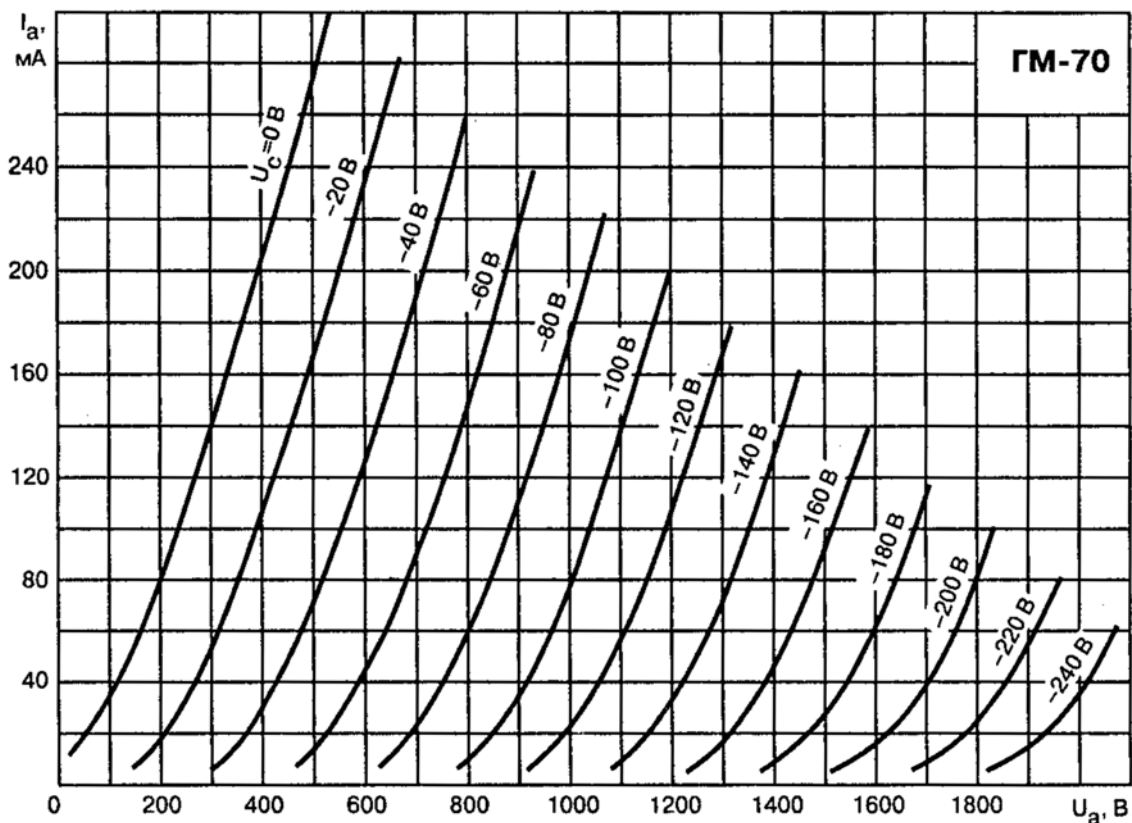


Рис. 2.100. Типовые вольт-амперные характеристики ГМ-70

Лампа ГМ-70 не имеет прямых аналогов. Функционально (мощные выходные триоды прямого накала) к ней близки зарубежные 845 и 211. Реальные ВАХ триода ГМ-70 представлены на рис. 2.100 [10].

Внимание! ВАХ, опубликованные в большинстве справочников, например [1], относятся к первым экспериментальным образцам ГМ-70, и пользоваться ими не следует.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- возможность получения большой мощности (даже в однотактном включении).

Недостатки:

- нестандартный цоколь;
- большой ток (3 А), нестандартное напряжение (20 В) накала. Кроме того, необходимо питать накал переменным током, вследствие сопоставимости напряжения смещения (−50...70 В) и напряжения накала (20 В).

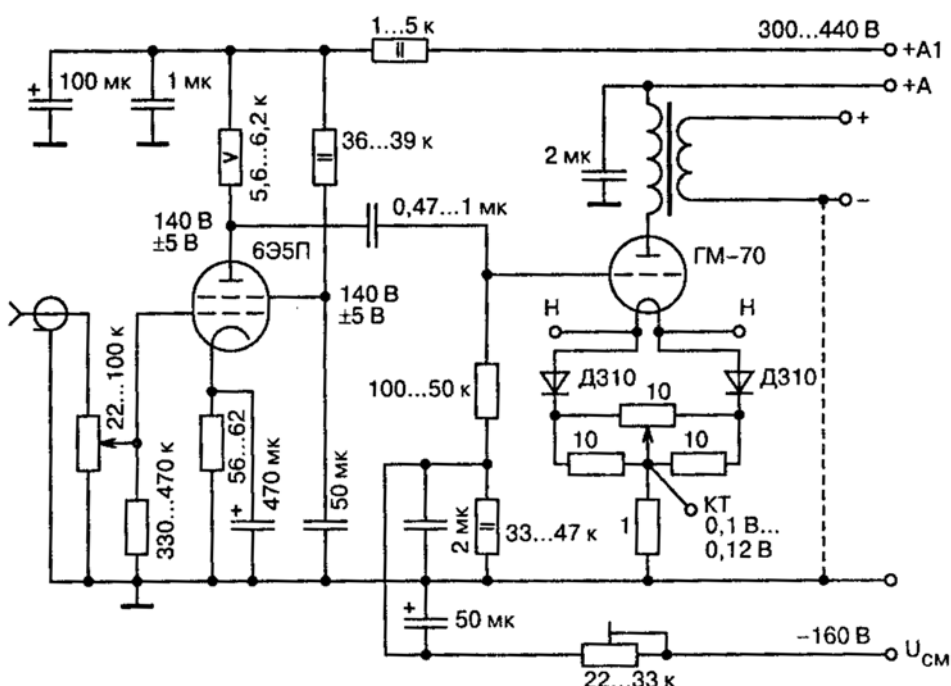


Рис. 2.101. Однотактный усилитель на триоде ГМ-70

Схемотехника

Однотактный оконечный каскад

ГМ-70 позволяет получить более 20 Вт выходной мощности в одно-тактном включении, даже без захода в область сеточных токов. На рис. 2.101 представлена схема однотактного усилителя, разработанного А. Манаковым.

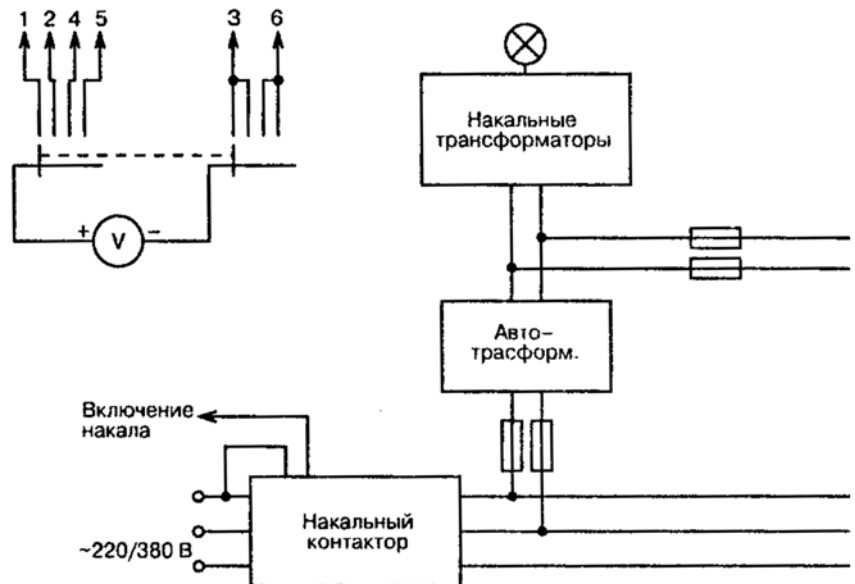
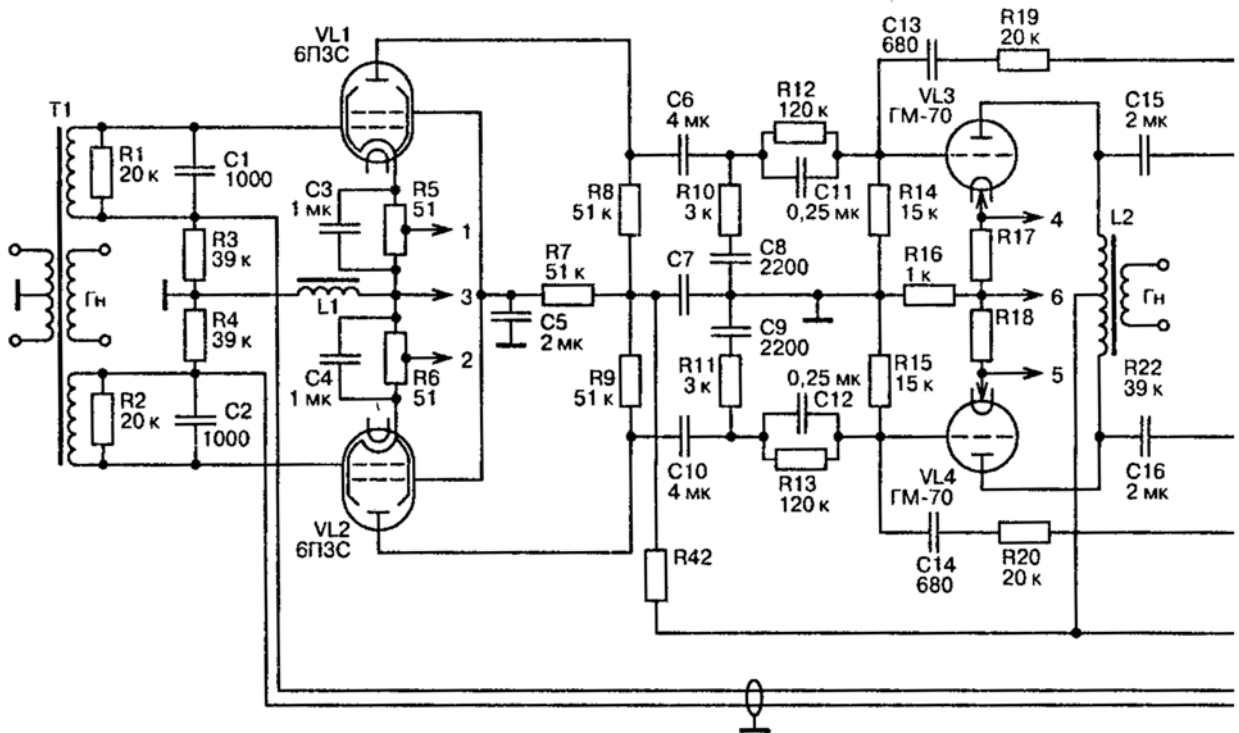
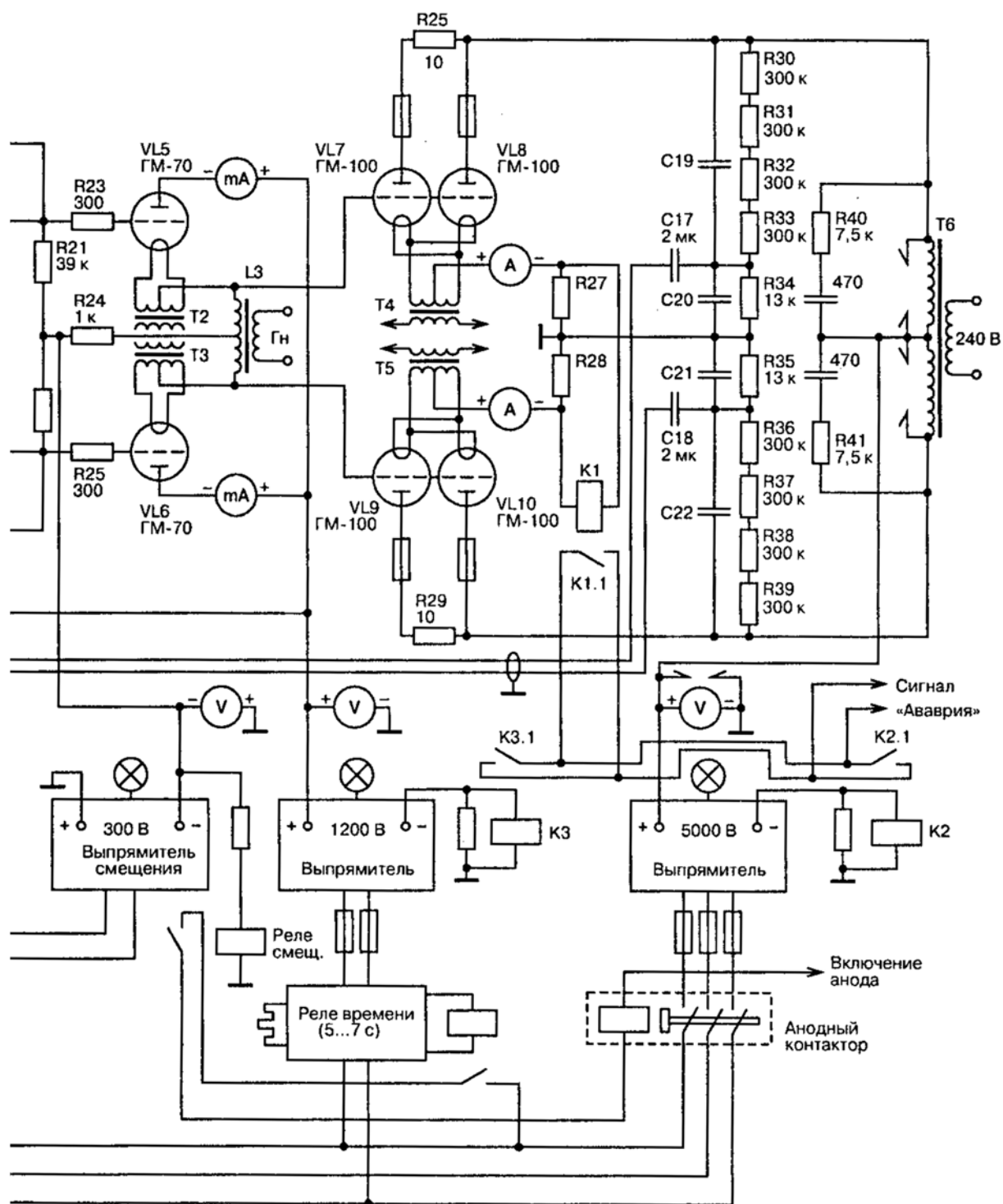


Рис. 2.102. Схема трансляционного усилителя ТУ-5-3



Основная проблема, возникающая при использовании лампы, заключается в высоком уровне шумов, обусловленных питанием накала переменным током. Разумеется, можно поставить ГМ-70 не только в оконечный, но и в драйверный каскад, но этот вариант — для законченных экстремалов!

Оригинальный способ борьбы с шумами применен в схеме, приведенной на рис. 2.101. Включение двух диодов в катодную цепь позволило снизить напряжение шумов до 3 мВ!

Напряжение на аноде ГМ-70 составляет 850 В, ток анода — 120 мА. При повторении схемы необходимо учитывать, что выходной трансформатор должен иметь электрическую прочность до 3 кВ и минимально возможную межобмоточную емкость (в противном случае анодное напряжение будет попадать на выход усилителя!). Схема рекомендуется опытным радиолюбителям.

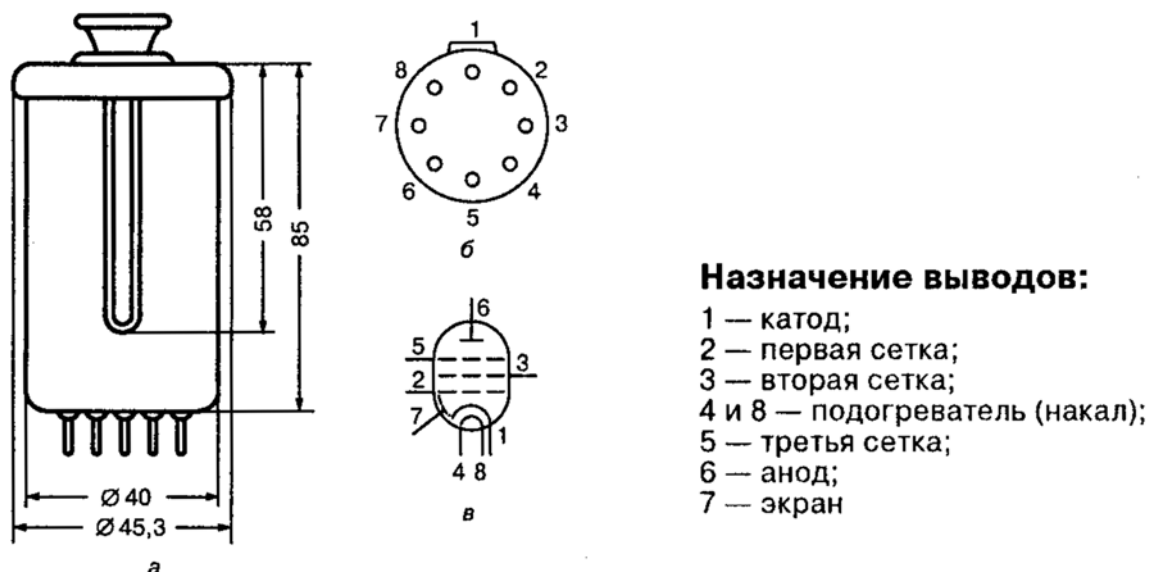
Двухтактные драйверный и оконечный каскады

Стремление разработчиков 60—70 годов прошлого столетия к снижению энергопотребления усилителей порой приводило к парадоксальным результатам. Например, в мощных драйверных и оконечных каскадах широко применялись триоды прямого накала — решение на редкость современное. В конструкции трансляционного усилителя ТУ-5-3 [11], схема которого приведена на рис. 2.102, лампы ГМ-70 используются не только в качестве драйверных, но даже во втором каскаде усиления напряжения.

Нагрузка в обоих случаях — дроссельная, т. к. применение резистивной нагрузки требует увеличения напряжения питания и приводит к повышенному тепловыделению. Анодное напряжение драйверного каскада складывается из напряжения с анодного выпрямителя и напряжения смещения оконечного каскада. Нагрузка выпрямителя смещения анодным током драйвера стабилизирует напряжение смещения оконечного каскада.

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления мощности и генерирования колебаний высокой частоты.



Назначение выводов:

- 1 — катод;
- 2 — первая сетка;
- 3 — вторая сетка;
- 4 и 8 — подогреватель (накал);
- 5 — третья сетка;
- 6 — анод;
- 7 — экран

Рис. 2.103. Лампа ГУ-50: а — основные размеры; б — вид со стороны цоколя; в — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в вертикальном положении. Лампа в стеклянном оформлении. Цоколь специальный. Штырьков — 8. Срок службы лампы не менее 1000 часов.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	14 ±1;
выходная.....	9,15 ±1,15;
проходная, не более.....	0,1.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	12,6;
ток накала, мА.....	655 ±65;

напряжение на аноде, В..... 800;
 напряжение на второй сетке, В..... 250;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт..... 40;
 наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке, Вт..... 5;
 наибольший ток в цепи катода, мА..... 230;
 коэффициент усиления..... 6,7;
 крутизна характеристики, мА/В..... 6.

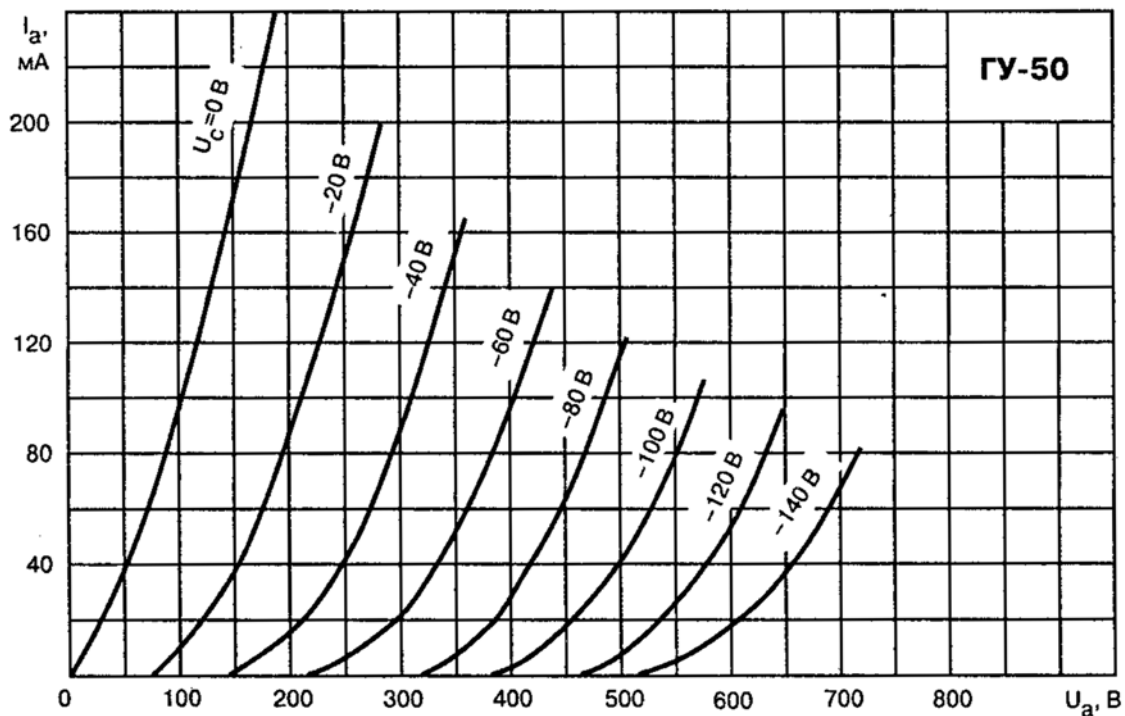


Рис. 2.105. Типовые вольт-амперные характеристики ГУ-50 в триодном включении

ГУ-50 является копией лампы Telefunken LS50. Функционально к ней близка CV1072.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура (некоторые специалисты утверждают обратное);
- большая мощность анода.

Недостатки:

- требует специальной панельки;
- напряжение накала 12,6 В.

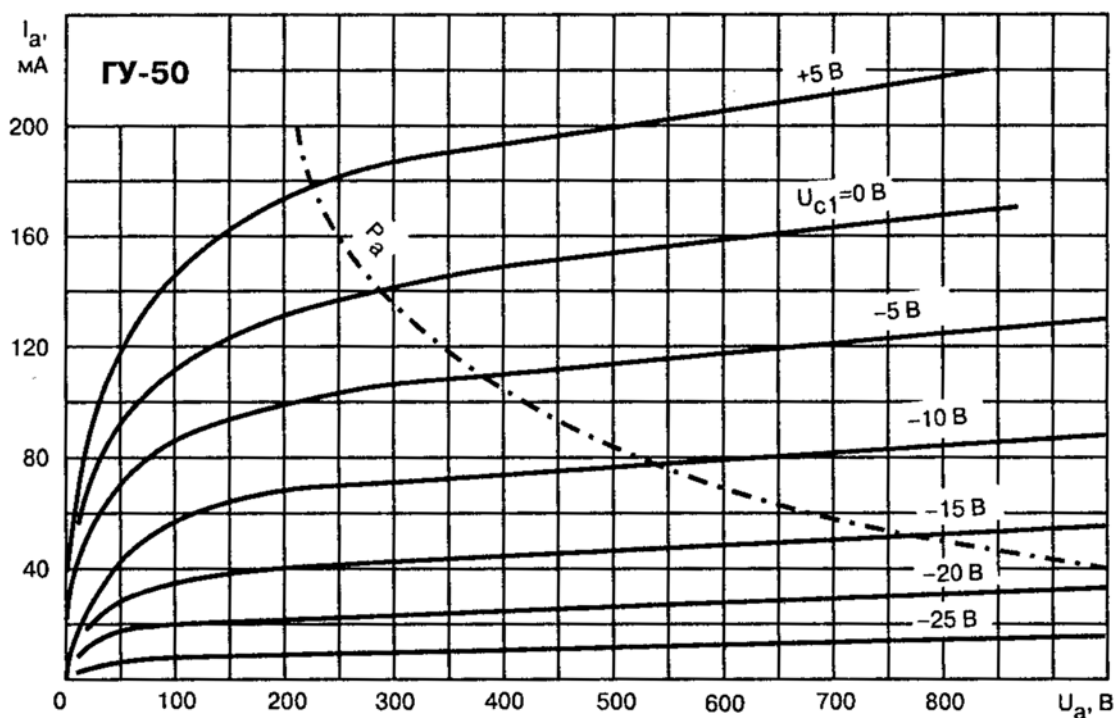


Рис. 2.104. Типовые вольт-амперные характеристики ГУ-50 при напряжении на второй сетке 150 В

Схемотехника

Триодное включение, однотактный оконечный каскад

Усилитель с выходным каскадом на ГУ-50 (разработчик — А. Манаков), схема которого представлена на рис. 2.106, — классический однотактный.

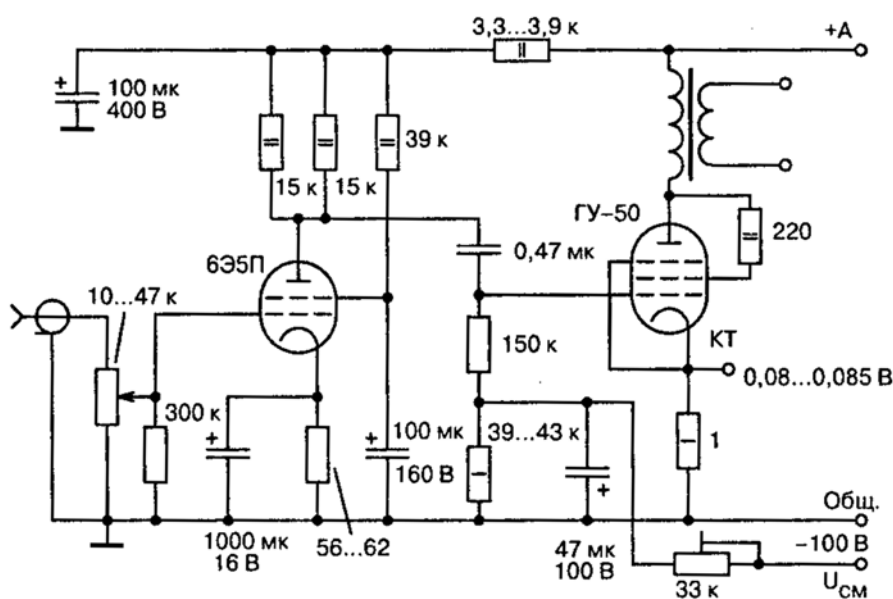


Рис. 2.106. Однотактный усилитель на ГУ-50

Настройка сводится к установке величины смещения, при котором анодный ток составит 80...85 мА.

Напряжение на аноде ГУ-50 — 300 В.

Пентодное включение, двухтактный оконечный каскад

Оконечный каскад усилителя (разработчик — А. Баев), схема которого приведена на рис. 2.107, выполнен по двухтактной схеме в классе В, что обеспечивает выходную мощность 65 Вт.

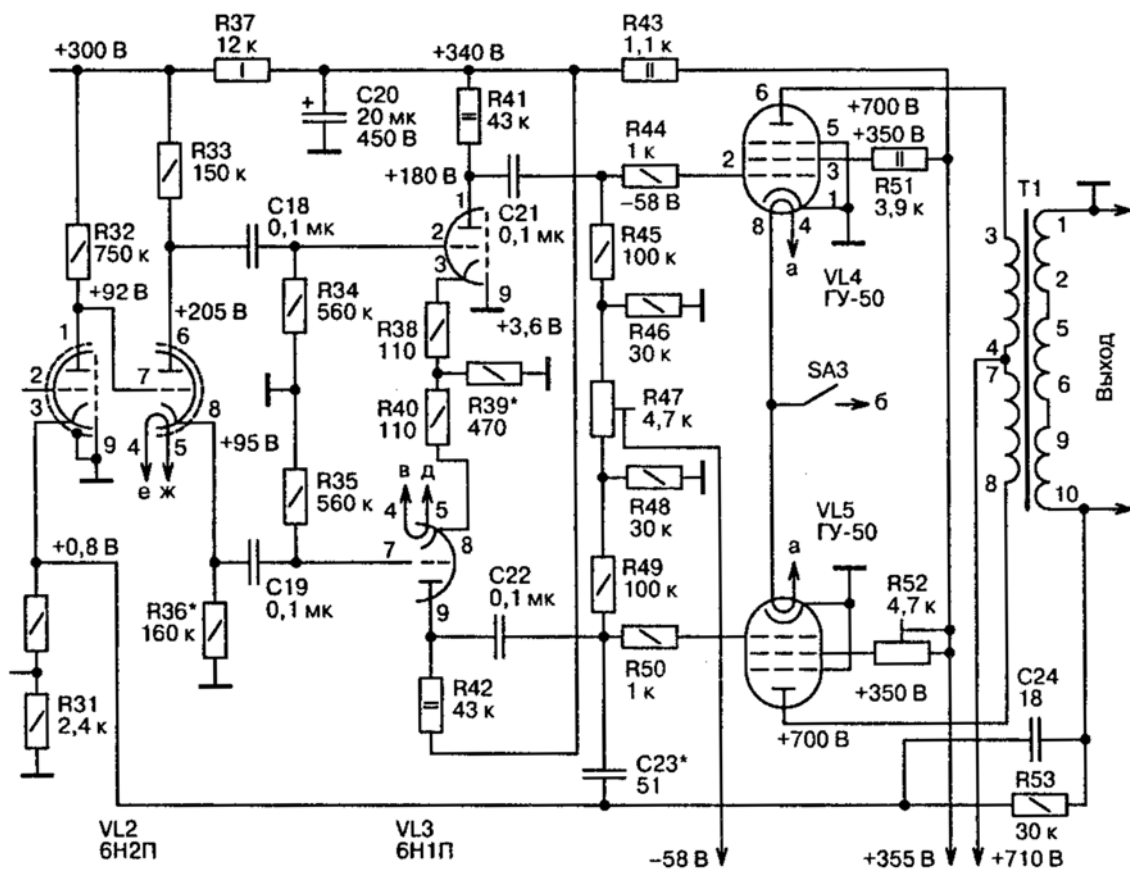


Рис. 2.107. Двухтактный усилитель на ГУ-50

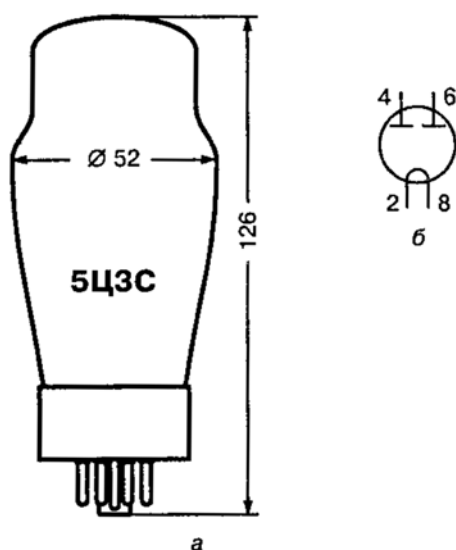
Кроме того, лампы ГУ-50 работают в форсированном режиме: напряжение на вторых сетках превышает предельно допустимое (при почти предельных значениях напряжения на анодах), что приводит к необходимости периодической замены ламп. Являясь высококачественным для своего времени (1977 г.), с точки зрения современных подходов к звукоусилению можно рекомендовать данный усилитель лишь в качестве гитарного/эстрадного.

5Ц3С

Двуханодный кенотрон

Общие характеристики

Кенотрон предназначен для выпрямления переменного тока промышленной частоты.



Назначение выводов:

- 1, 3, 5, 7 — не используются;
- 2 — накал, катод;
- 4 — анод первого диода;
- 6 — анод второго диода;
- 8 — накал, катод

Рис. 2.108. Лампа 5Ц3С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, прямого накала. Лампа работает в вертикальном положении. Лампа в стеклянном оформлении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 5. Лампа выполнена в соответствии с ГОСТ 8360—57.

Основные параметры

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	5;
ток накала, А.....	3;
переменное эффективное напряжение на аноде, В.....	2×500;
сопротивление в цепи анода, Ом.....	2000;
емкость фильтра, мкФ.....	4;
выпрямленный ток, мА.....	230.

Предельно допустимые электрические параметры:

- наибольшее напряжение накала, В 5,5;
- наименьшее напряжение накала, В..... 4,5;
- наибольшая амплитуда обратного напряжения анода, В 1700;
- наибольший выпрямленный ток, мА 250;
- наибольшая амплитуда тока анода, мА..... 1700.

Прямые зарубежные аналоги — 5U4G, U52, 5Z3, 5AS4, 5Z10, 5931. Лампу 5Ц3С можно заменить двумя кенотронами 5Ц4С, соединенными параллельно.

Вольт-амперные характеристики лампы 5Ц3С представлены на рис. 2.109.

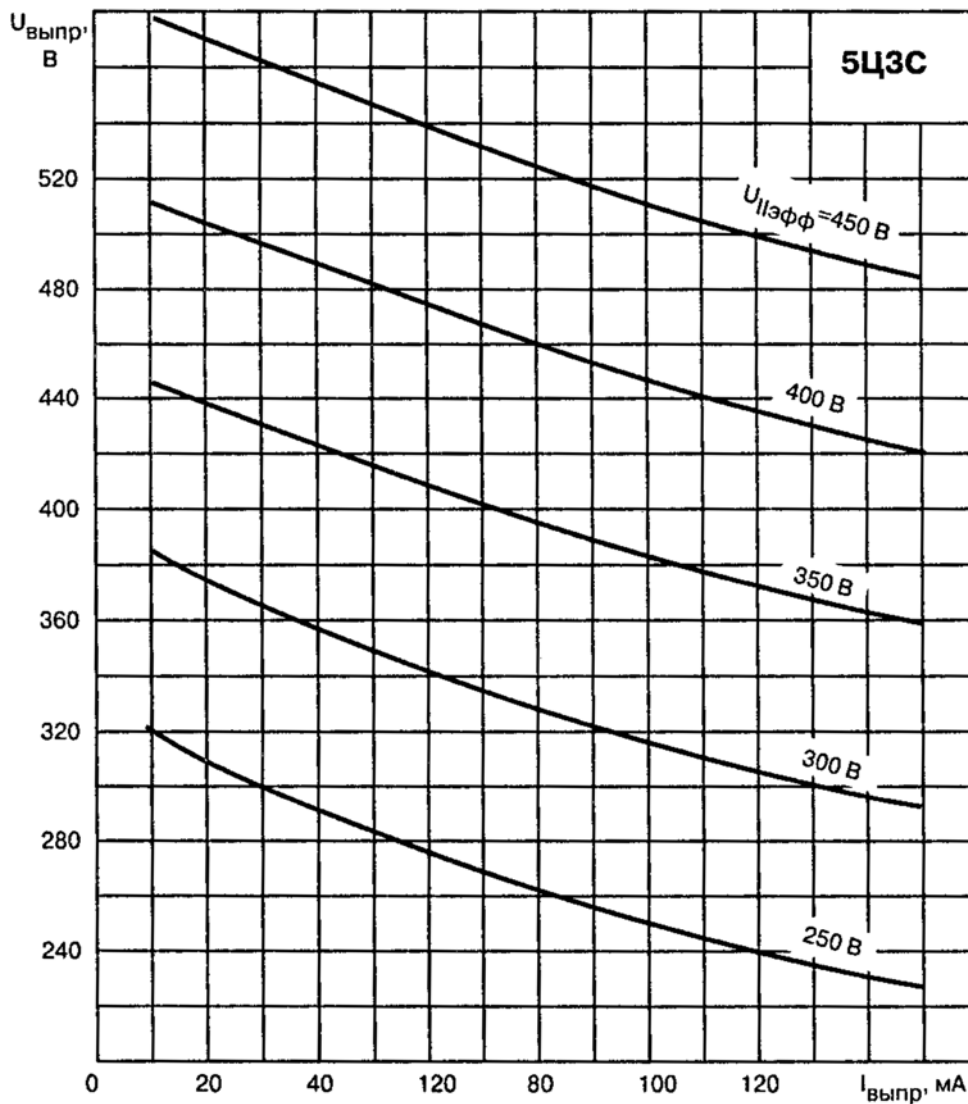


Рис. 2.109. Типовые вольт-амперные характеристики 5Ц3С при сопротивлении каждого плеча вторичной обмотки трансформатора $r_2 = 30$ Ом и емкости фильтра 4 мкФ

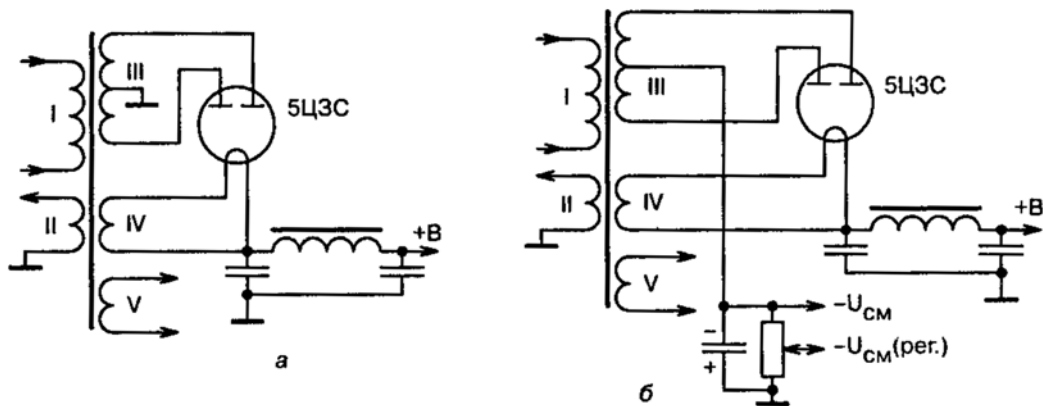


Рис. 2.110. Схемы применения лампы 5Ц3С: а — в качестве двухполупериодного выпрямителя; б — в качестве двухполупериодного выпрямителя с делителем отрицательного напряжения

Достоинства:

- лампа обладает хорошей звуковой сигнатурой (это не оговорка: блок питания усилителя является одним из элементов на пути звукового сигнала!);
- кенотрон 5Ц3С используется в большинстве ламповых блоков питания, имеется множество схемотехнических решений;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- большой ток накала (3 А);
- при использовании в блоках питания усилителей необходимо обеспечить задержку подачи выпрямленного напряжения (во избежание выхода из строя мощных ламп оконечного каскада);
- допустимое напряжение на анодах ограничено величиной 500 В.

Схемотехника

Двухполупериодный выпрямитель

Схемы применения кенотрона 5Ц3С, приведенные на рис. 2.110, достаточно просты, но необходимо учитывать следующее.

- Ток через делитель отрицательного напряжения (смещения) равен току, потребляемому всей нагрузкой, для чего потребуются резистор соответствующей мощности (с учетом двух- или трехкратного запаса).
- Желательно ввести задержку подачи выпрямленного кенотронного тока, например, включив последовательно с накалом резистор 0,4 Ом (5 Вт), и подать в накальную цепь напряжение 6,3 В (вместо номинальных 5 В). Известно, что сопротивление холодной нити накала намного ниже, чем разогретой; следовательно, падение напряжения на этом резисторе будет поначалу большим, постепенно уменьшаясь.
- Накал лампы — прямой, следовательно, находящийся под высоким напряжением. Требуется отдельная накальная обмотка.

Особенность схемы блока питания (разработчик — А. Манаков), схема которого показана на рис. 2.111, — включение двух полупроводниковых диодов в цепь накала лампы 5Ц3С, выпрямленное напряжение снимается с фиктивной средней точки. Данные меры позволяют существенно снизить уровень фона переменного тока.

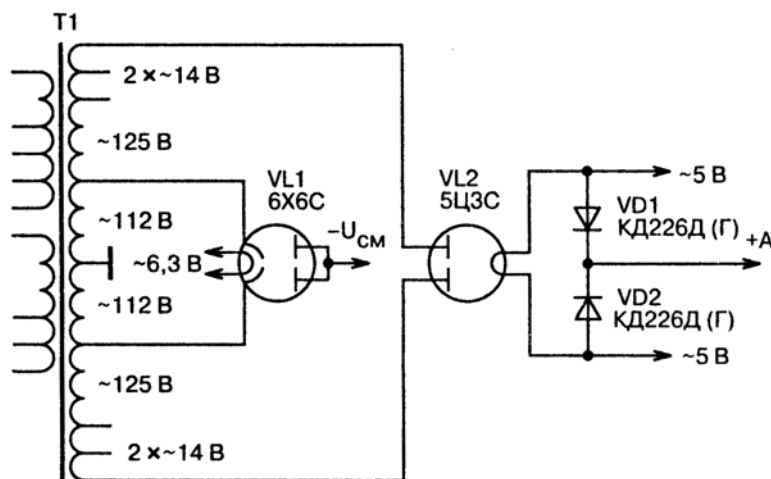


Рис. 2.111. Блок питания с пониженным уровнем фона

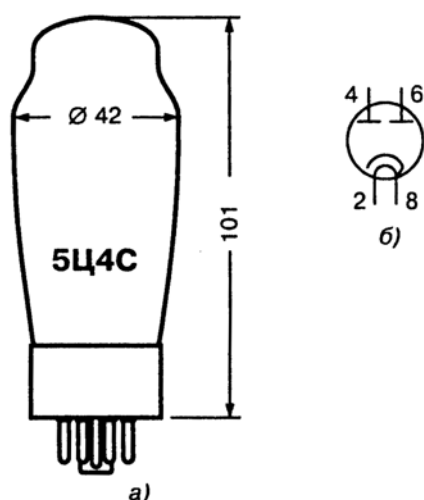
В блоке питания предусмотрен источник напряжения смещения, также кенотронный.

5Ц4С

Двуханодный кенотрон

Общие характеристики

Кенотрон 5Ц4С предназначен для выпрямления переменного тока промышленной частоты.



Назначение выводов:

- 1, 3, 5, 7 — не используются;
- 2 — подогреватель (накал);
- 4 — анод первого диода;
- 6 — анод второго диода;
- 8 — подогреватель (накал), катод

Рис. 2.112. Лампа 5Ц4С: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в вертикальном положении. Лампа в стеклянном оформлении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь октальный с ключом. Штырьков — 4. Лампа выполнена в соответствии с ГОСТ 8079—56.

Основные параметры

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В	5;
ток накала, А	2;
переменное эффективное напряжение на аноде, В	2×500;
сопротивление в цепи анода, Ом	4700;
емкость фильтра, мкФ	5;
выпрямленный ток, мА	122.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение накала, В	5,5;
наименьшее напряжение накала, В.....	4,5;
наибольшая амплитуда обратного напряжения анода, В	1350;
наибольший выпрямленный ток, мА	125;
наибольшая амплитуда тока анода, мА.....	375.

Прямые зарубежные аналоги — 5Z4, GZ30, 5CG4.

Вольт-амперные характеристики лампы 5Ц4С представлены на рис. 2.113.

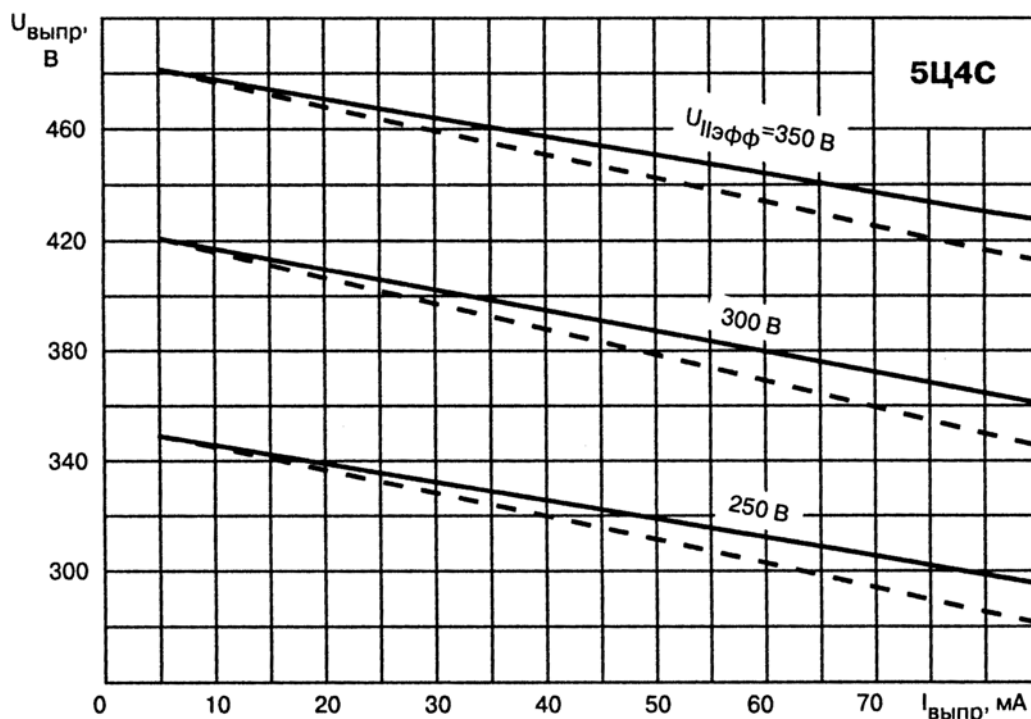


Рис. 2.113. Типовые вольт-амперные характеристики при сопротивлении каждого плеча вторичной обмотки трансформатора $r_2 = 30$ Ом и емкости фильтра: ———— — 4 мкФ, - - - - - 8 мкФ

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- кенотрон 5Ц4С используется в большинстве ламповых блоков питания, имеется множество схемотехнических решений;
- широкое распространение, невысокая цена;
- вносит задержку подачи анодного напряжения.

Недостаток:

- допустимое напряжение на анодах ограничено величиной 500 В.

Схемотехника

Двухполупериодный выпрямитель

У блоков питания, построенных по двухполупериодной схеме с кенотронным выпрямителем, имеется серьезный недостаток — требуется силовой трансформатор с двумя идентичными высоковольтными обмотками. Лобовое решение — мостовой выпрямитель, как в блоке питания усилителя «Ongaku» (см. рис. 2.19), с установкой трех дополнительных кенотронов и усложнением конструкции силового (накального) трансформатора — подходит лишь для концептуальных усилителей, габариты и стоимость которых не имеют большого значения. Разумеется, опытным радиолюбителям под силу разработка собственного «концепта», но не стоит создавать конструкцию с перекосом в сторону какого-либо узла: например, одноламповый усилитель, собранный по схеме, приведенной на рис. 2.76, с блоком питания от «Ongaku». Пример компромиссного решения [12] представлен на рис. 2.114: мостовой выпрямитель организован при помощи двух дополнительных полупроводниковых диодов. Кроме того, кенотрон косвенного накала обеспечивает задержку подачи выпрямленного тока.

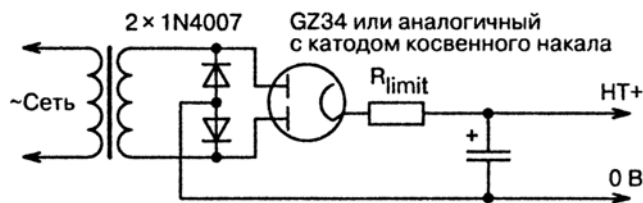


Рис. 2.114. Применение лампы 5Ц4С в схеме двухполупериодного выпрямителя

Примечание автора.

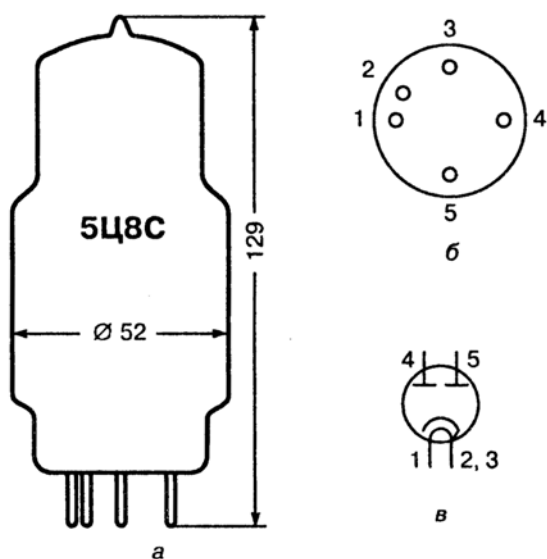
Другой возможный вариант блока питания, использующего силовой трансформатор с одной высоковольтной обмоткой, — применение умножителя напряжения, например, как на рис. 2.98, с заменой полупроводниковых диодов на кенотроны. Такое решение дополнительно позволит использовать силовой трансформатор с меньшим напряжением на вторичной (анодной) обмотке.

5Ц8С

Двуханодный кенотрон

Общие характеристики

Кенотрон 5Ц8С предназначен для выпрямления переменного тока промышленной частоты.



Назначение выводов:

- 1 — подогреватель (накал);
- 2, 3 — подогреватель (накал) и катод;
- 4 — анод первого диода;
- 5 — анод второго диода.

Рис. 2.115. Лампа 5Ц8С: а — основные размеры; б — вид цоколя со стороны выводов; в — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в вертикальном положении. Лампа в стеклянном оформлении. Срок службы лампы не менее 500 часов. Цоколь специальный. Штырьков — 5.

Основные параметры

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В	5;
ток накала, А	5;
переменное эффективное напряжение на аноде, В	2×500;
сопротивление в цепи анода, Ом	1000;
емкость фильтра, мкФ	4;
выпрямленный ток, мА	400.

Предельно допустимые электрические параметры:

<i>наибольшее напряжение накала, В</i>	5,5;
<i>наименьшее напряжение накала, В</i>	4,5;
<i>наибольшая амплитуда обратного напряжения анода, В</i>	1700;
<i>наибольший выпрямленный ток, мА</i>	420;
<i>наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт</i>	30.

Достоинства:

- хорошая звуковая сигнатура;
- большая величина выпрямленного тока;
- низкое внутреннее сопротивление;
- широкое распространение, невысокая цена.

Недостатки:

- допустимое напряжение на анодах ограничено величиной 500 В;
- большой ток накала.

Схемотехника

Двухполупериодный выпрямитель

Еще один недостаток большинства кенотронных выпрямителей — высокое внутреннее сопротивление. Если для маломощных усилителей, выходные лампы которых работают с небольшими токами анода, влияние внутреннего сопротивления блока питания незначительно, то при использовании мощных ламп (например, 6С33С) его следует минимизировать. На рис. 2.116 изображена схема однотактного усилителя (клон усилителя конструкции А. Манакова, см. рис. 2.70), в которой для снижения сопротивления источника питания применен кенотрон 5Ц8С с Г-образным фильтром (дроссель малой индуктивности и конденсатор большой емкости). О преимуществах и недостатках Г-фильтров можно почитать здесь:

http://www.next-power.net/next-tube/ru/articles.php3?sub_menu_item=99&article=../articles/supply/SupplyRu.inc

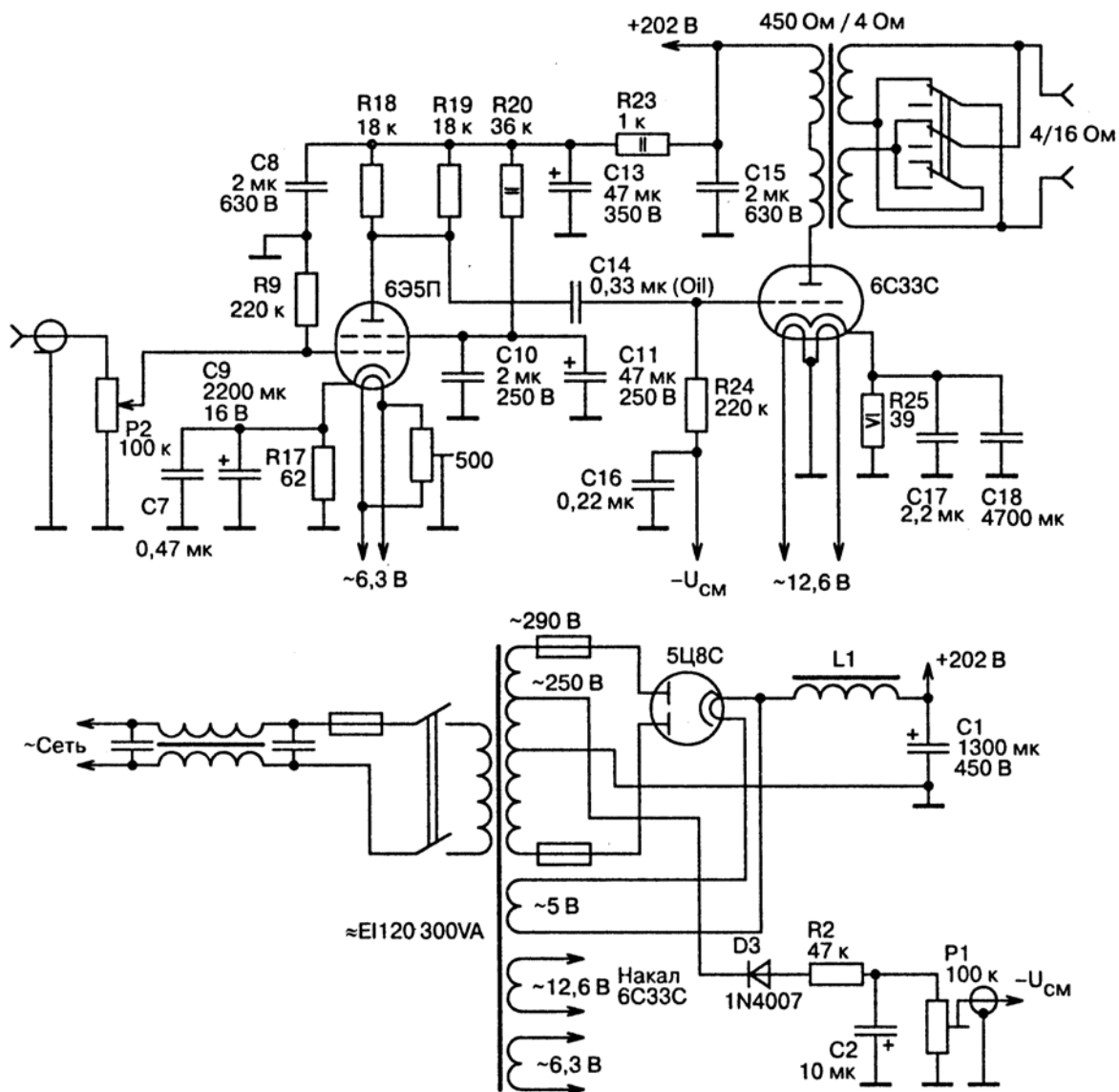


Рис. 2.116. Схема применения лампы 5Ц8С в качестве двухполупериодного выпрямителя

Глава 3

Схемотехника усилителей на зарубежных лампах

Большинство зарубежных ламп имеют полные отечественные аналоги (клоны), которым посвящены предыдущие главы, поэтому не имеет смысла рассматривать их повторно. Основное внимание будет уделяться схемотехнике усилителей низкой частоты, анализу преимуществ и недостатков не только окончных, но и входных и драйверных каскадов, блоков питания, выполненных на зарубежных лампах.

Общие характеристики

Лампа разработана для усиления мощности низкой частоты. Применяется в выходных и драйверных каскадах.

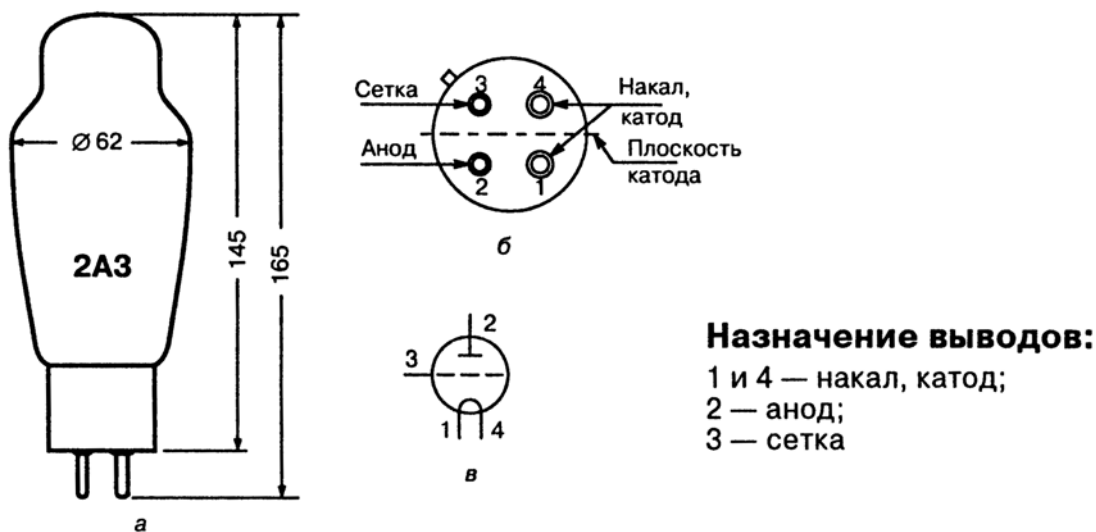


Рис. 3.1. Лампа 2A3: а — основные размеры; б — вид со стороны штырьков; в — схематическое изображение

Катод прямого накала. Лампа работает в любом положении. Цоколь 4-штырьковый специальный.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	7,5;
выходная.....	5,5;
проходная.....	16,85.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	2,5;
ток накала, А.....	2,5;
напряжение на аноде, В.....	250;

ток в цепи анода, мА	60;
крутизна характеристики, мА/В.....	5,25;
внутреннее сопротивление, кОм	0,8;
коэффициент усиления.....	4,2.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение на аноде, В	300;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт.....	15;
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм:	
■ при фиксированном смещении	0,05;
■ при автоматическом смещении	0,5.

Лампа 2А3 — одна из старейших, разработанных фирмой RCA специально для звукоусиления. Изначально имела одноанодную конструкцию, затем — двуханодную. Первая считается лучшей по звуковой сигнатуре, вторая — более технологичная.

В настоящее время в мире выпускаются обе разновидности, в частности, фирма «Совтек» выпускает на саратовском заводе «Рефлектор» одноанодную версию.

Триод 2А3 пользуется популярностью у разработчиков и потребителей во всем мире, на равных конкурируя со знаменитой 300В.

Имеется множество аналогов (клонов) лампы 2А3: 6А3 (напряжение накала — 6,3 В), 6В4G (напряжение накала — 6,3 В, октальный цоколь). В СССР выпускались клоны: 2С3, 6С6, 6С4С (напряжение накала — 6,3 В, двуханодная, октальный цоколь); последняя лампа относительно доступна, особенно ценится вариант с медным анодом.

Достоинства:

- превосходная звуковая сигнатура;
- линейные ВАХ (см. рис. 3.2);
- низкое внутреннее сопротивление;
- обилие схемотехнических решений;
- сравнительная доступность для российских радиолюбителей.

Недостатки:

- нестандартный цоколь; из российских (советских) подойдет лишь панелька от лампы Г-811; следуя конъюнктуре, некоторые радиозаводы начали производить панельки под 300В, 2А3, 811 откровенно хрупкой конструкции, а импортные панельки дороги и дефицитны;

- нестандартное напряжение накала (2,5 В);
- небольшая выходная мощность (до 3,5 Вт в классе усиления *A1*).

Примечание. Лампа 2А3 (как и большинство других триодов прямого накала) обладает низким коэффициентом усиления и крутизной характеристик, что требует достаточно большого напряжения раскачки.

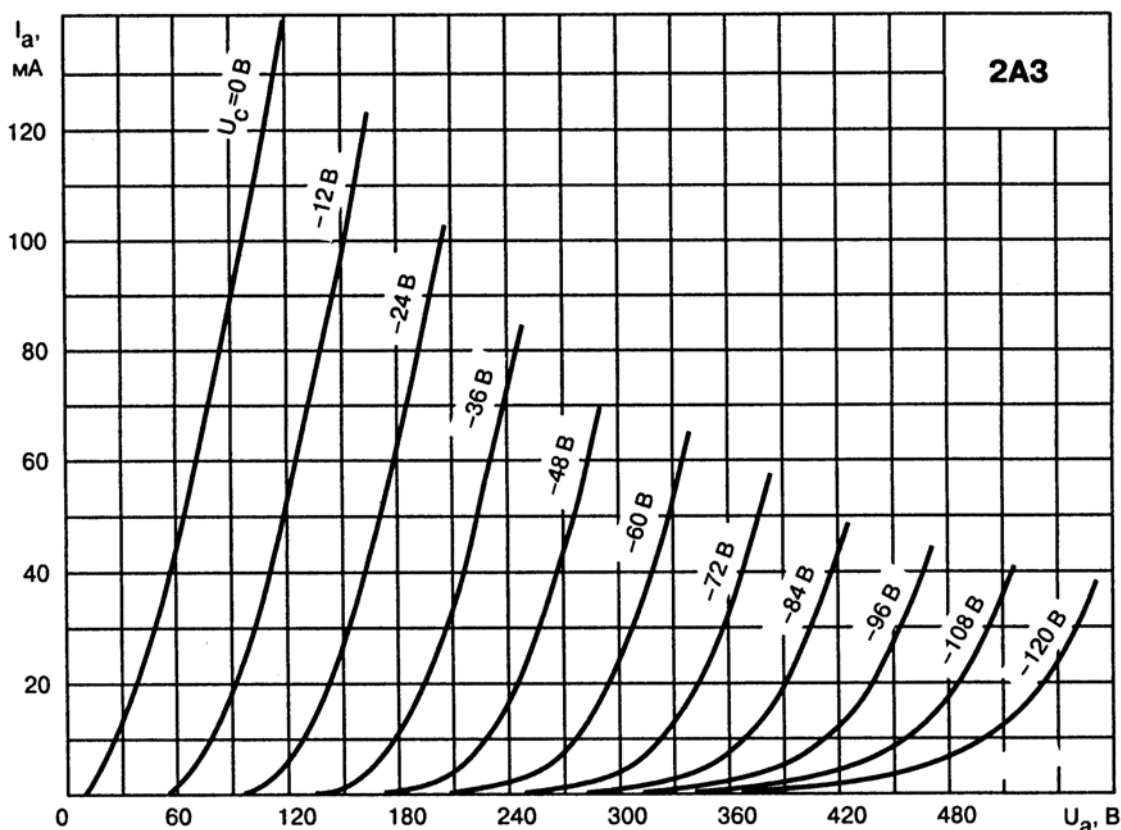


Рис. 3.2. Типовые вольт-амперные характеристики 2А3

Схемотехника

Драйверный каскад

Благодаря достаточно большой мощности анода и низкому внутреннему сопротивлению лампа 2А3 идеально подходит в качестве драйверной. Например, в схеме на рис. 2.97 для раскачки мощных триодов 811 используется двухтактный драйверный каскад, выполненный по трансформаторной схеме на лампах 2А3. Для получения

наибольшей мощности при сравнительно малых искажениях выбран класс усиления *AB1*; напряжение питания каскада — 360 В, номинал резистора R1 в цепи автосмещения — 780 Ом.

Примеры построения однотактных усилителей низкой частоты

Однотактный усилитель с входным каскадом на триоде

В однотактном усилителе (разработчик — Д. Эсмилла), схема которого представлена на рис. 3.3, повторяется типичная ошибка — включение лампы первого каскада с резистивной нагрузкой очень большой величины, что обогащает спектр выходного сигнала гармониками высших порядков и интермодуляционными искажениями. Кроме того, не выполняется условие $R_i = (5...10)R_a$, т. к. внутреннее сопротивление лампы 6SL7 (6Н9С) превышает 40 кОм, а величина анодной нагрузки составляет 100 кОм.

Следовало бы применить СРПП либо включить половинки лампы параллельно и снизить величину анодной нагрузки до 50...82 кОм. Собственно, лампа 2А3 включена по схеме с автосмещением: катодный резистор, зашунтированный конденсатором, подключен к среднему выводу накальной обмотки. Такое решение позволило избавиться от фиктивной средней точки, обычно организуемой при помощи резисторов, вызывающих местную ООС по току. Питание выходных прямонакальных триодов постоянным током, по мнению ряда экспертов, ухудшает микродинамику, хотя и обеспечивает минимальный уровень фона.

Однотактный усилитель с входным каскадом на пентоде

В схеме однотактного усилителя, представленной на рис. 3.4, цепь автосмещения подключена к фиктивной средней точке, образованной двумя резисторами номиналом 47 Ом. Питание накала обеих ламп осуществляется постоянным, стабилизированным током.

Ошибка разработчиков — применение интегрального стабилизатора 7805 (КР142ЕН5), обладающего большим уровнем шумов. В первом каскаде используется пентод EF86 (6Ж32П) — лампа с заметным микрофонным эффектом; может потребоваться отбор по его минимальному уровню. Семейство пентодов не ограничивается этой лампой, вполне пригодны лампы 6Ж4, 6П9, 6Э5П. Использование пентодов в первом каскаде усилителей низкой частоты вызывает неоднозначную реакцию у специалистов: одни полагают,

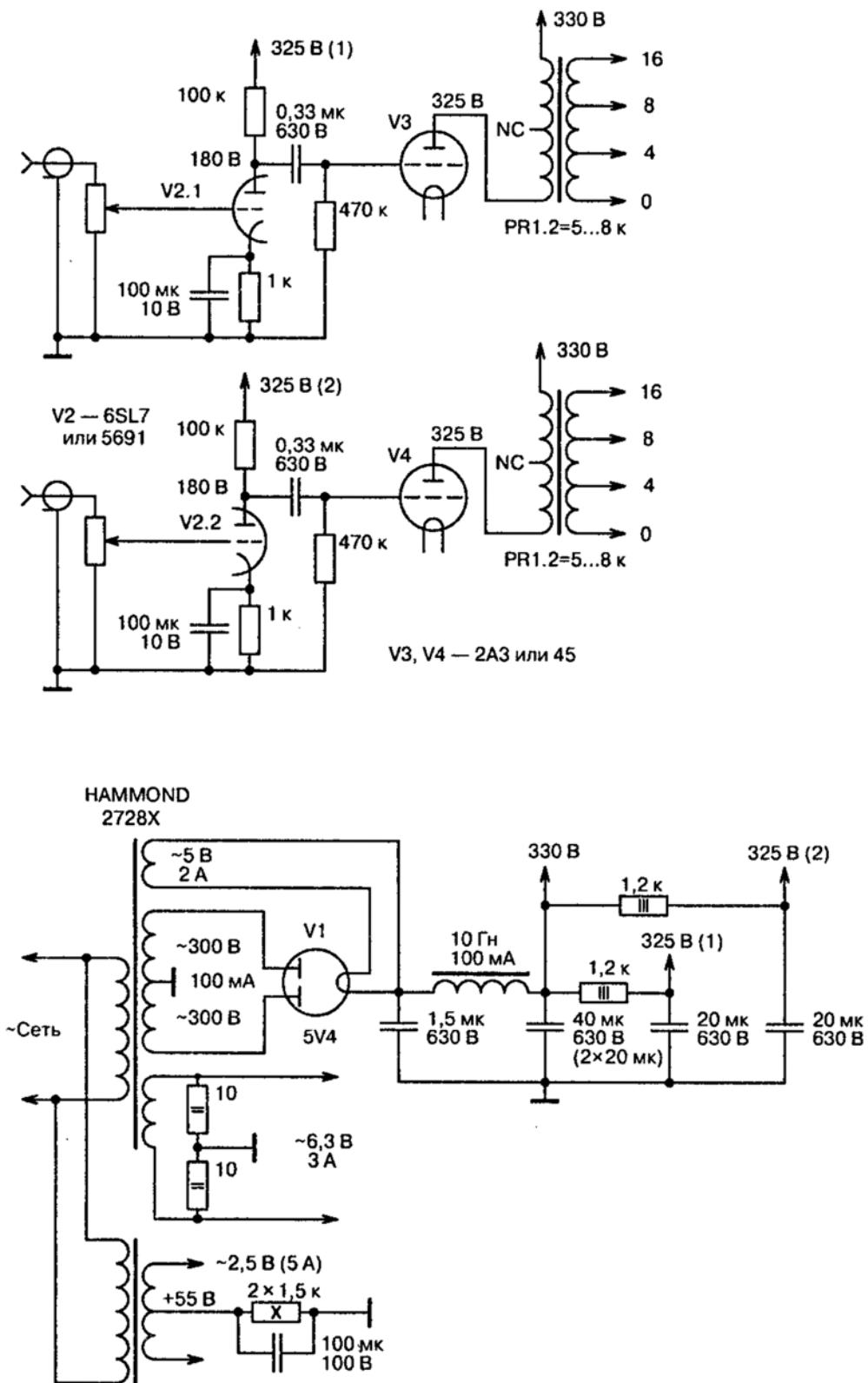


Рис. 3.3. Однотактный усилитель, триодный входной каскад

что пентоды ухудшают звучание, внося в спектр сигнала нечетные гармоники; другие рекомендуют вносить «долю пентодности» в усилитель с выходным каскадом на триоде прямого накала. Можно порекомендовать радиолюбителям собрать несколько вариантов входного каскада — пентодный, триодный, СРПП — и выбрать лучший по звучанию. Кроме того, стоит поэкспериментировать с цепью ООС, например, ввести регулировку ее глубины и возможность полного отключения.

Еще один способ борьбы с фоном представлен на рис. 3.5. Цепь автосмещения включена через подстроечный резистор, что позволяет подобрать положение движка по минимальному уровню фона. После настройки следует заменить этот резистор двумя постоянными соответствующего номинала.

Во входном каскаде также используется пентод — 6SJ7 (6Ж8).

Усилитель, выполненный по схеме Лофтин—Уайта (разработчик — фирма «Black Art»), представлен на рис. 3.6. Входной каскад — СРПП: используются лампы 12AX7 (6Н2П) либо 6DJ8 (6Н23П); приведены режимы обеих ламп. Серьезный недостаток подобных схем — высокое напряжение питания, почти половина которого высаживается на катодном резисторе. Кроме того, серьезно страдает микродинамика.

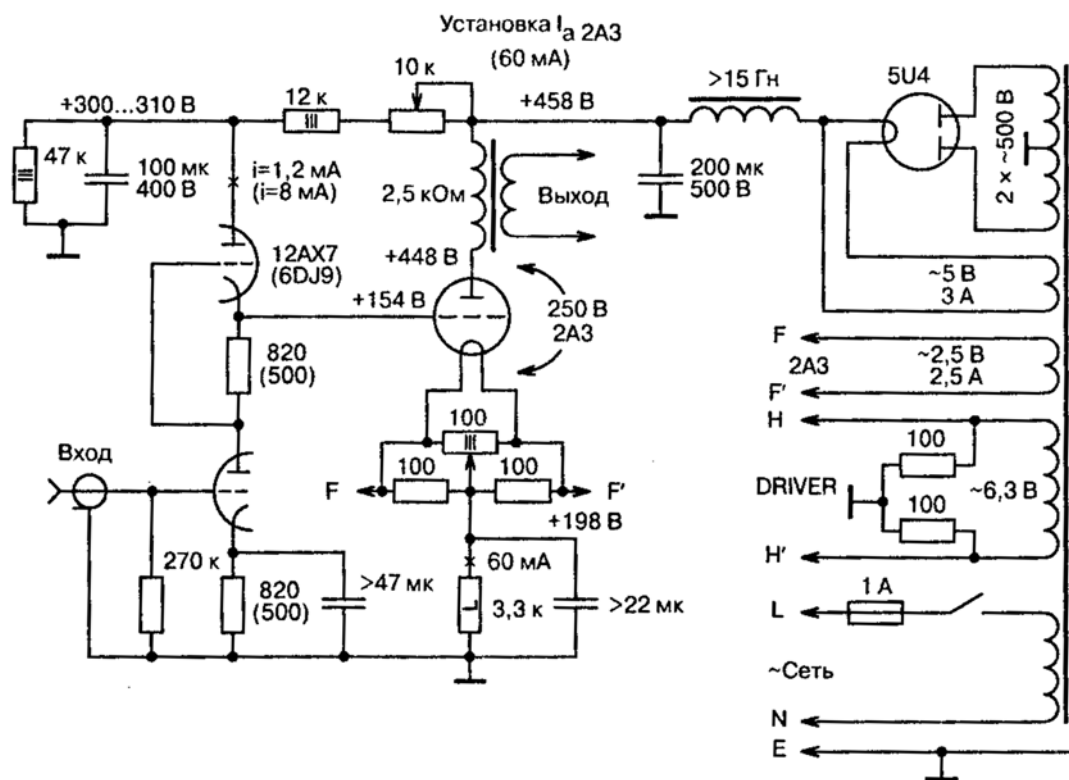


Рис. 3.6. Однотактный усилитель по схеме Лофтин—Уайта (разработчик — фирма «Black Art»)

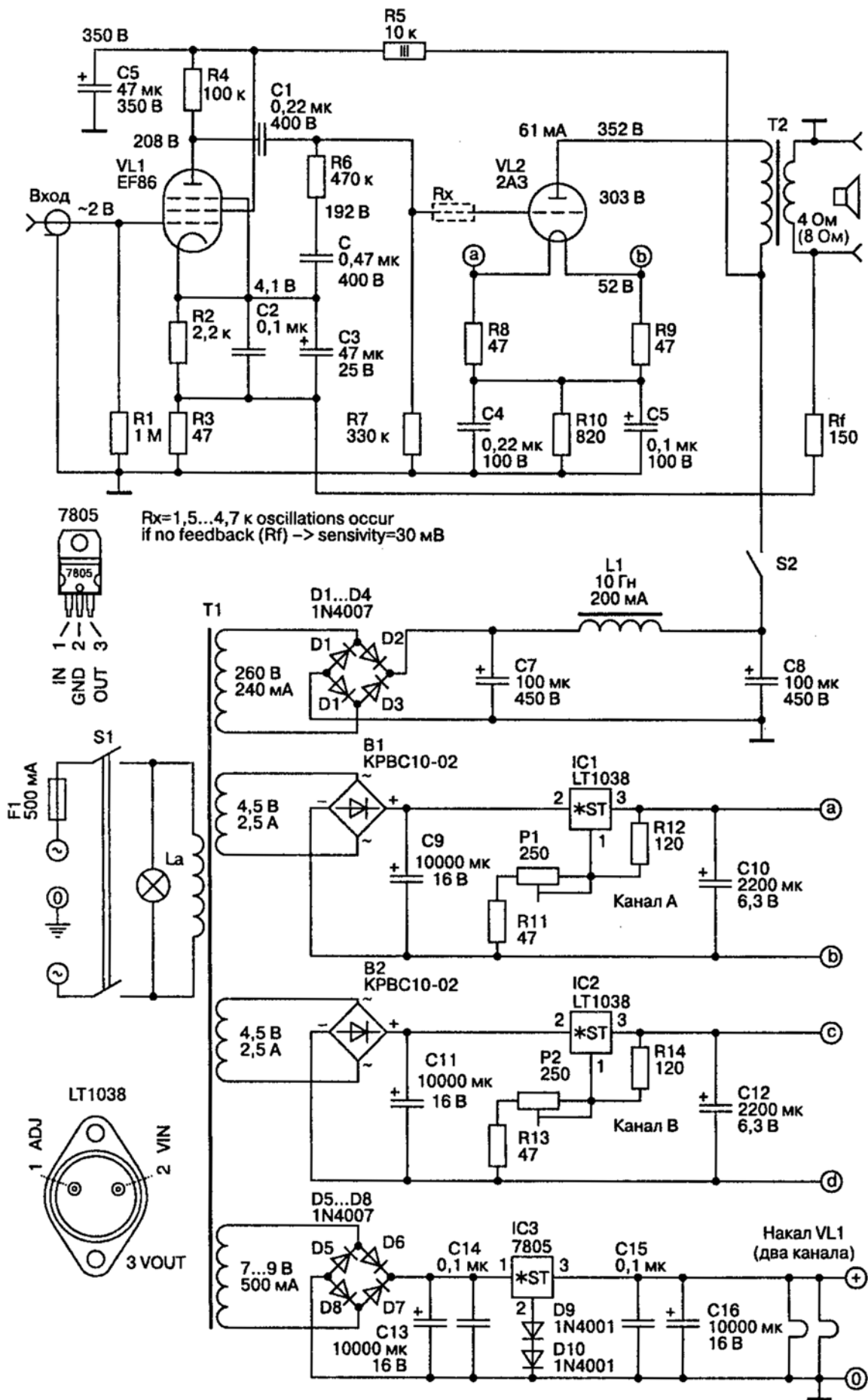


Рис. 3.4. Однотактный усилитель, пентодный входной каскад

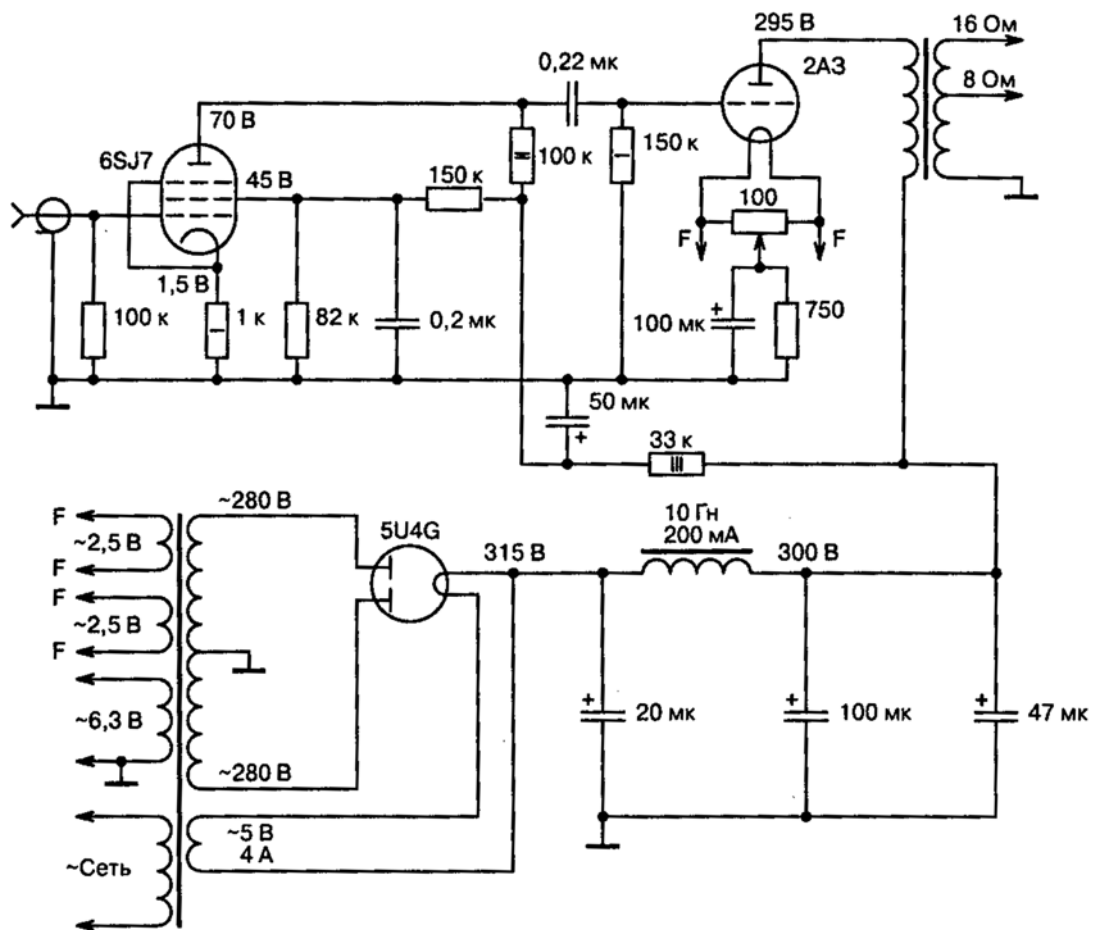


Рис. 3.5. Однотактный усилитель с входным каскадом на пентоде

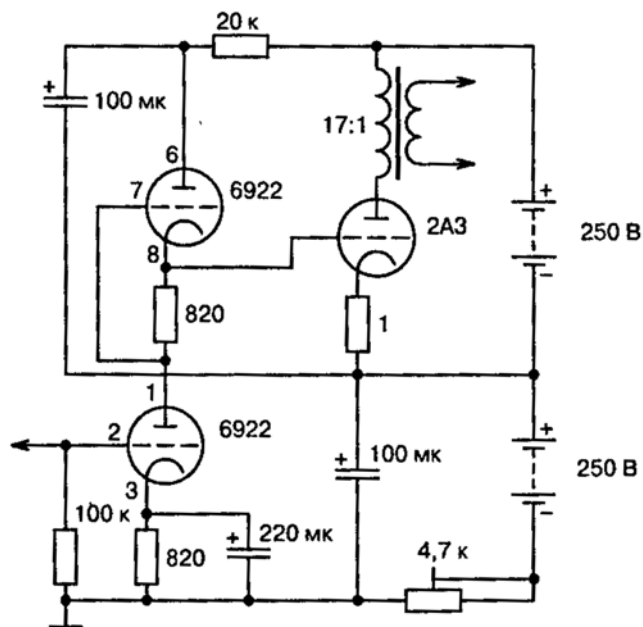


Рис. 3.7. Однотактный усилитель по схеме Лофтин—Уайта (разработчик — Е. Комиссаров)

Российский разработчик Е. Комиссаров предложил оригинальный вариант схемы Лофтин—Уайта, лишенный подобных недостатков, схема которого показана на рис. 3.7.

Входной каскад усилителя — также СРПП на лампах 6922 (6Н23П).

Величина напряжения смещения лампы 2А3 зависит от соотношения сопротивлений переменного резистора номиналом 4,7 кОм и постоянного номиналом 20 кОм.

Настройка сводится к установлению с помощью переменного резистора требуемой величины анодного тока выходной лампы (контролируется по падению напряжения на катодном резисторе номиналом 1 Ом; после настройки схемы резистор следует удалить).

Разумеется, за улучшение качества звучания пришлось заплатить: во-первых, усложнением блока питания, во-вторых, необходимостью установки входного трансформатора, т. к. земля данной схемы — виртуальная.

300В

Триод

Общие характеристики

Лампа разработана для усиления мощности низкой частоты. Применяется в выходных и драйверных каскадах.

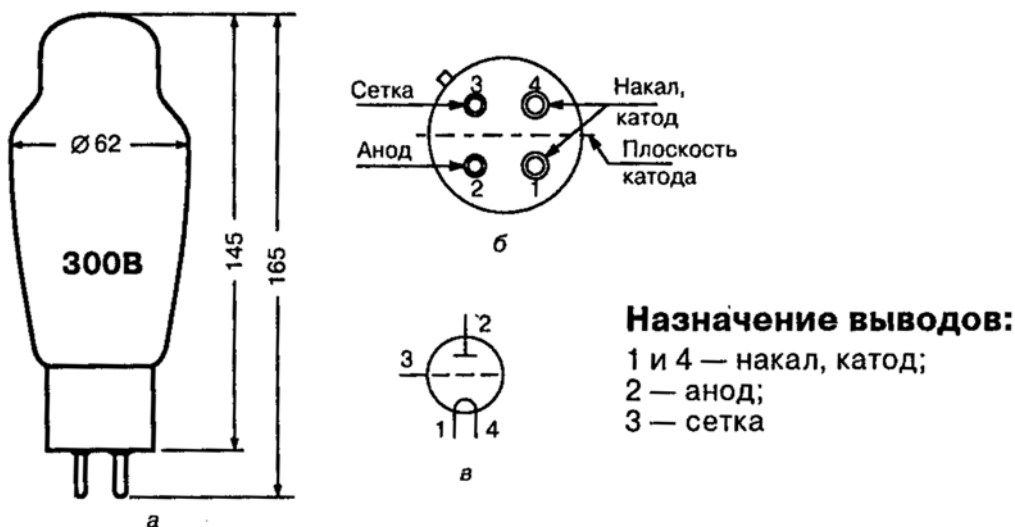


Рис. 3.8. Лампа 300В: а — основные размеры; б — вид со стороны штырьков; в — схематическое изображение

Катод прямого накала. Лампа работает в любом положении. Цоколь 4-штырьковый специальный.

Основные параметры

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	5;
ток накала, А.....	1,2;
напряжение на аноде, В.....	350;
ток в цепи анода, мА.....	60;
крутизна характеристики, мА/В.....	$5,25 \pm 0,25$;
внутреннее сопротивление, Ом.....	760 ± 20 ;
коэффициент усиления.....	3,9.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение на аноде, В 400;
наибольший ток в цепи анода, мА 100;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 36;
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм:

- при фиксированном смещении 0,05;
- при автоматическом смещении 0,25.

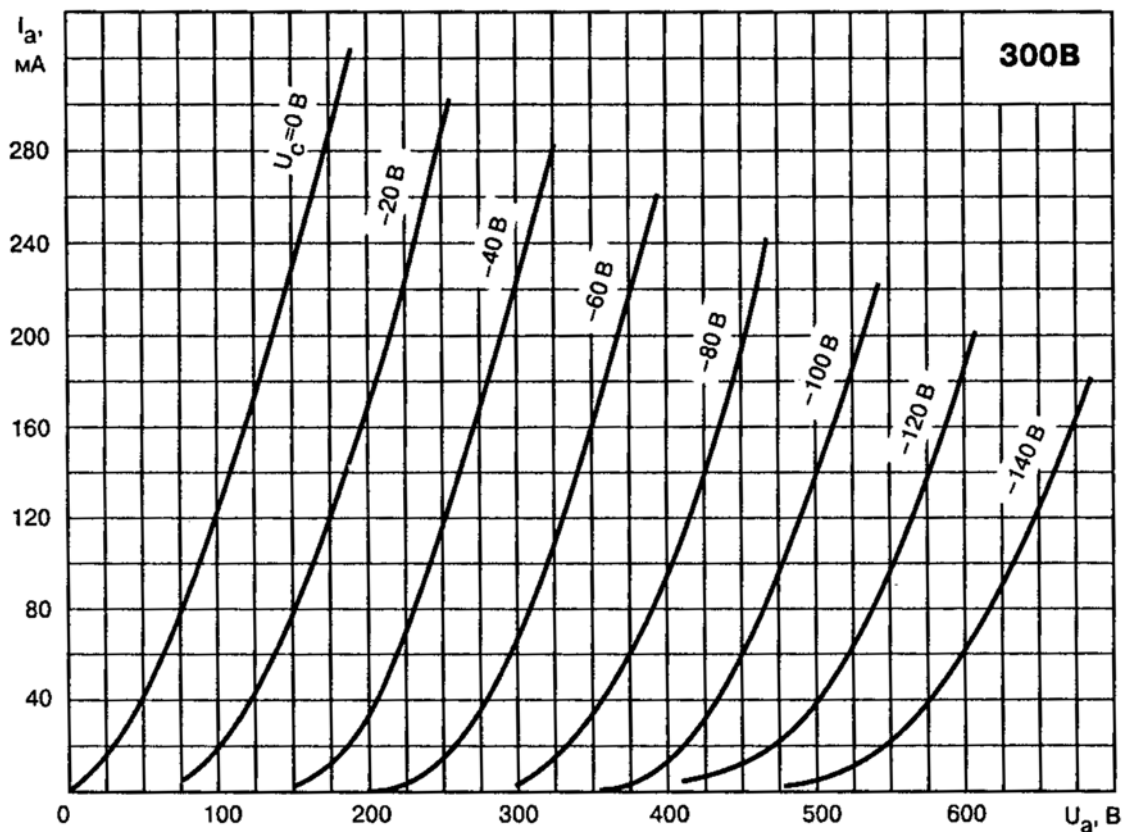


Рис. 3.9. Типовые вольт-амперные характеристики 300В

Лампа 300В — одна из старейших, разработанных фирмой WESTERN ELECTRIC специально для звукоусиления. Выпускается только в одноанодном варианте. Аналогов не имеет.

Достоинства:

- превосходная звуковая сигнатура;
- линейные ВАХ (см. рис. 3.9);
- низкое внутреннее сопротивление;
- позволяет получить выходную мощность до 8 Вт (и более, в зависимости от фирмы-производителя) в однотодном включении;
- обилие схемотехнических решений;

- сравнительная доступность для российских радиолюбителей. К счастью, ситуация улучшается: предприятие «Светлана» (г. Малая Вишера) возобновило производство этих замечательных ламп: http://www.svetlana-mvsz.com/index_r.htm.

Недостаток:

- нестандартный цоколь.

Схемотехника

Однотактные усилители

В первой главе рассматривались схемы однотактных усилителей (см. рис. 2.14, 2.23, 2.63), в выходных каскадах которых применялась лампа 300В. Таким образом, читатели получили представление об организации входных и драйверных каскадов для раскачки этой лампы.

Коэффициент гармоник выходного каскада на лампе 300В (определяемый, в основном, долей второй гармоники) достигает 5 % при максимальной мощности. Журналом «TUBE CAD JOURNAL» была предложена схема (рис. 3.10), в которой осуществляется компенсация четных гармоник. Дело в том, что каскад с нагрузкой в аноде является инвертирующим, т. е. поворачивает фазу сигнала на 180°. Если применить в драйверном и выходном каскадах лампы с близкими формами ВАХ (в идеале — лампы одного типа!), а выходной каскад организовать по схеме катодного повторителя (неинвертирующий каскад), то произойдет практически полная компенсация искажений четных порядков. Именно такой вариант и был реализован: в драйверном каскаде, также как и выходном, используется лампа 300В.

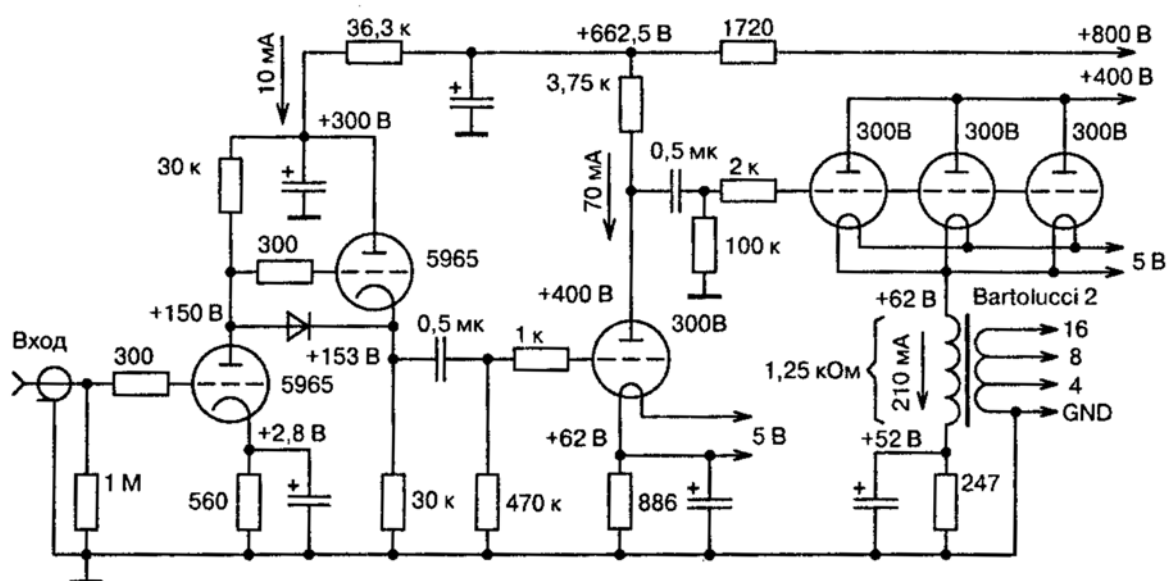


Рис. 3.10. Однотактный усилитель с компенсацией четных гармоник

Для увеличения выходной мощности (и реализации всех возможностей дорогостоящего драйвера!) оконечный каскад содержит три лампы 300В, соединенные параллельно. Дополнительно втрое снижается и без того достаточно низкое выходное сопротивление усилителя.

Для раскачки катодного повторителя требуется очень высокое напряжение возбуждения, поэтому драйвер питается вдвое большим напряжением, чем выходной каскад. Отметим, что и входные каскады выполнены по схеме компенсации искажений.

Примечание. Использование катодного повторителя в высококачественном звукоусилении — тема отдельная: многие специалисты отвергают подобную схемотехнику, использующую стопроцентную ООС. Компенсация реализуема и без катодного повторителя: достаточно построить двухкаскадную схему на триодах, подобрать входную лампу, ВАХ которой близки к ВАХ лампы выходного каскада (разумеется, с учетом масштаба), и подобрать величину анодных нагрузок входного и выходного каскадов таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\frac{R_{aВХ}}{R_{iВХ}} = \frac{R_{aВЫХ}}{R_{iВЫХ}} .$$

Но это — не самоцель; возможно, полная компенсация четных гармоник приведет к выпячиванию гармоник нечетных — искажений, к которым человеческое ухо наиболее чувствительно. Не исключено, что именно в этом заключается причина менее выразительного звучания двухтактных усилителей.

К недостаткам конкретной схемы следует отнести привязку к модели трансформатора — вполне достаточно нагрузки порядка 300...400 Ом, тем более реализация трансформатора с $R_a = 1200$ Ом и $I_a = 210$ мА — затея трудоемкая и дорогостоящая. Определенную сложность представляет и подбор тройки выходных ламп.

Для раскачки ламп 300В так же широко используют пентоды, чье высокое усиление позволяет построить двухкаскадный усилитель. Первые усилители на 300В были выполнены именно по таким схемам, например, рис. 3.11.

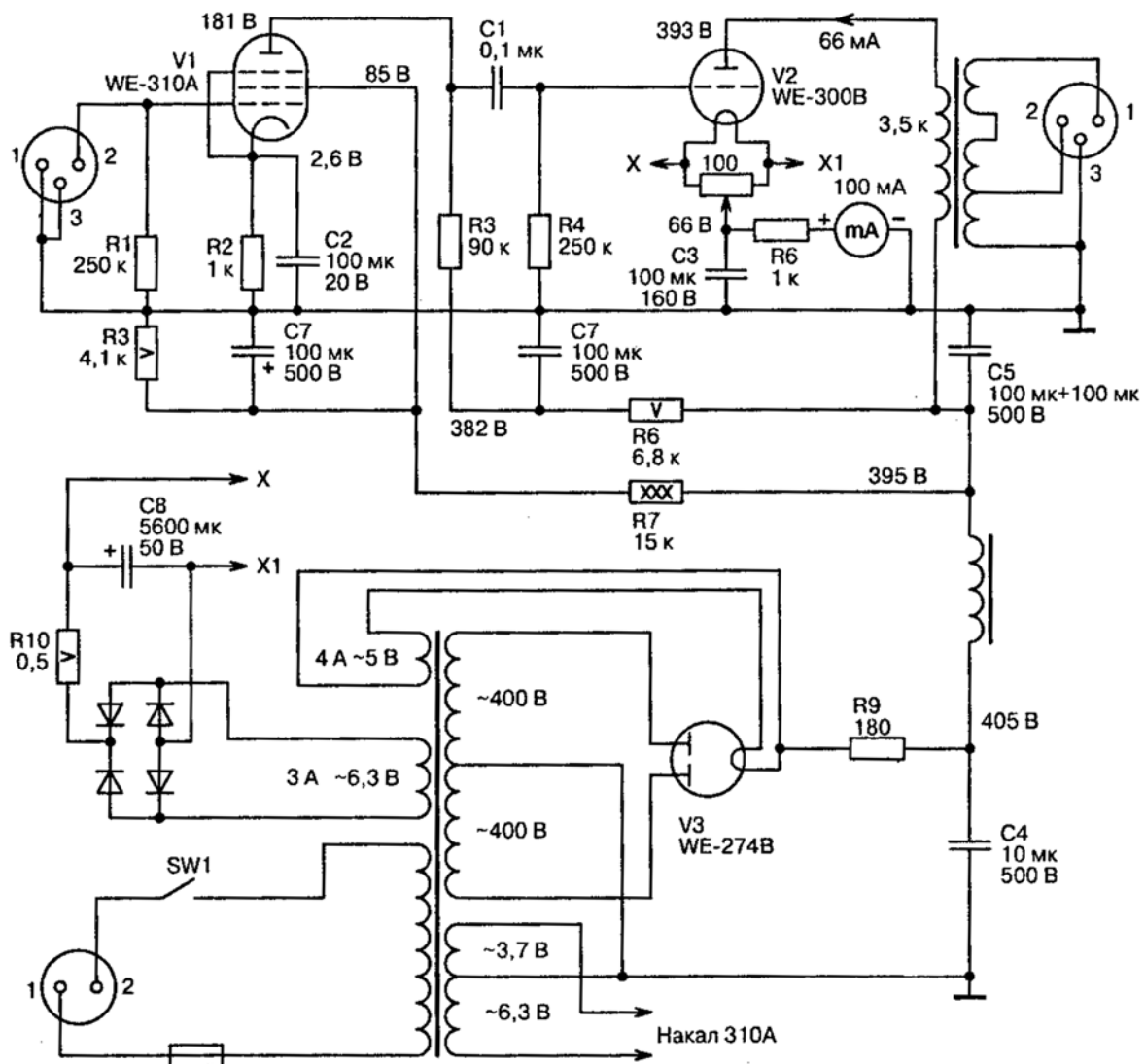


Рис. 3.11. Однотактный усилитель. Входной/драйверный каскад на пентоде

Противникам «пентодного звука» можно привести следующий аргумент: при прочих равных условиях двухкаскадный усилитель всегда обеспечивает более достоверное звучание, чем трехкаскадный, содержащий несколько дополнительных элементов на пути сигнала. А выбор между пентодным (двухкаскадным) и триодным (трехкаскадным) усилителем рекомендуется делать после сравнительного прослушивания.

Философию японского гуру С. Сакумы иллюстрирует схема, представленная на рис. 3.12.

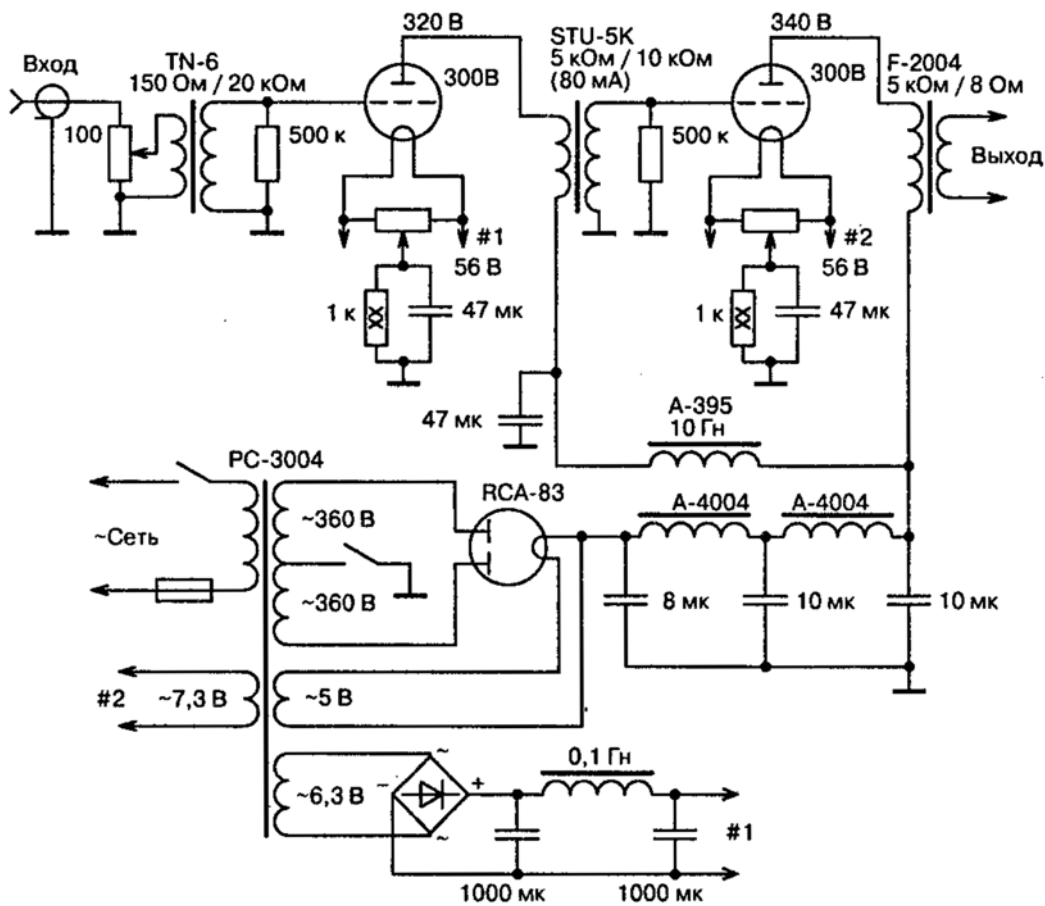


Рис. 3.12. Однотактный усилитель (разработчик — С. Сакума)

Все каскады усилителя — трансформаторные. Для полной достоверности звучания остается только использовать фиксированное смещение, и на пути звука не будет никаких лишних элементов! Одна проблема: где взять трансформаторы (разработчик использует «TAMURA», порой заказные!; суммарная стоимость комплекта трансформаторов для данной схемы составляет 3500\$!).

Двухтактные усилители

Особенность усилителя, схема которого приведена на рис. 3.13, — трехкаскадное построение; причем второй каскад (также как и первый) является усилителем напряжения, а не фазоинвертором (функцию фазоинвертора выполняет межкаскадный трансформатор). Каскады усилителя напряжения охвачены обратной связью. С некоторыми оговорками такой подход вполне приемлем для двухтактных усилителей, но удивительно, что отдельные разработчики аналогичным образом строят и однотактные.

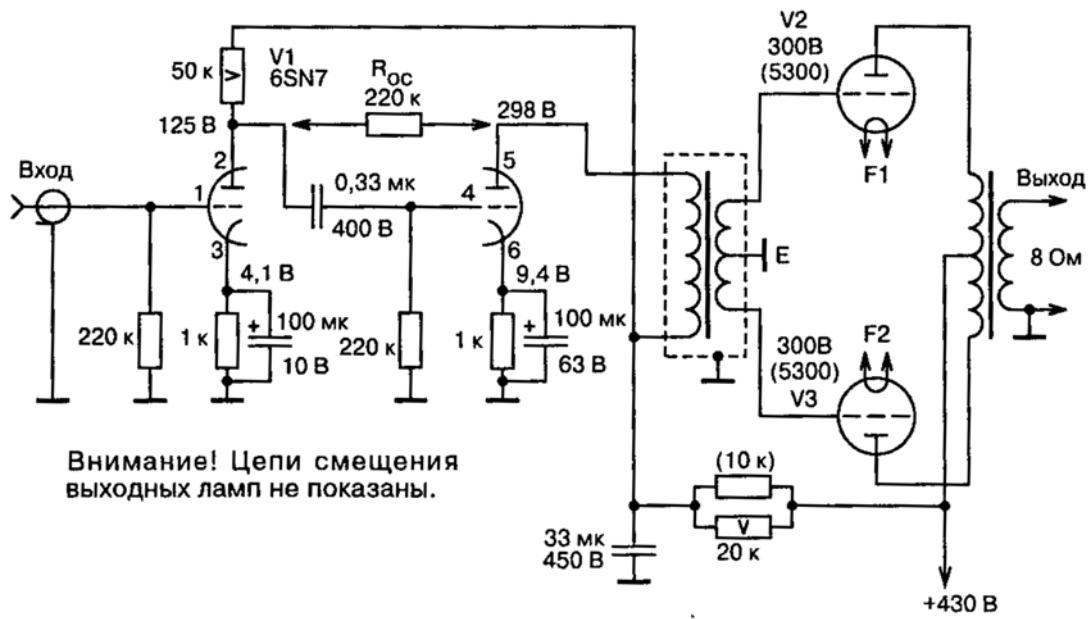


Рис. 3.13. Двухтактный усилитель

При самостоятельном расчете выходного каскада может потребоваться информация о выходной мощности и коэффициенте гармоник лампы 300В, приведенная в табл. 3.1.

Выходная мощность и коэффициент гармоник лампы 300В
(технические данные разработчика — WESTERN ELECTRIC)

Таблица 3.1

Напряжение на аноде, В	Напряжение смещения, В	Ток анода, мА	Анодная нагрузка, Ом	Выходная мощность, Вт	Уровень второй гармоники, дБ	Уровень третьей гармоники, дБ
200	-42	30	2000	3,0	-20	-31
200	-39	40	2500	2,6	-26	-38
200	-37	50	2500	2,5	-30	-45
250	-55	30	2000	4,9	-18	-27
250	-55	30	4500	3,2	-27	-40
250	-52	40	3000	4,0	-26	-36
250	-50	50	2500	4,4	-26	-39
250	-48	60	2000	4,7	-26	-38
250	-48	60	2700	4,1	-30	-45
250	-45	80	1500	5,0	-26	-41
300	-65	40	2500	6,7	-20	-30
300	-63	50	2000	7,2	-21	-29
300	-63	50	3000	6,1	-26	-37
300	-61	60	2400	6,6	-26	-37

Выходная мощность и коэффициент гармоник лампы 300В
(технические данные разработчика — WESTERN ELECTRIC)

Таблица 3.1

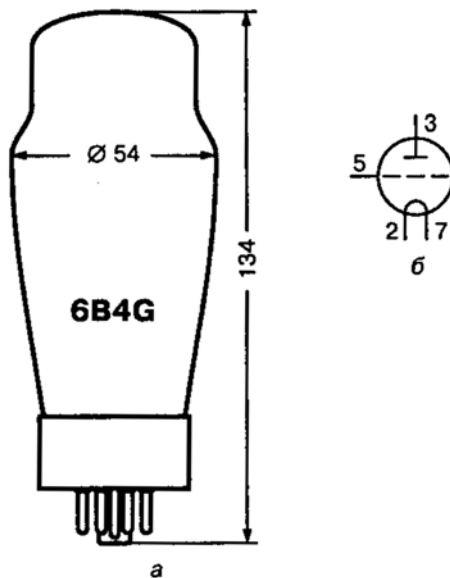
Напряжение на аноде, В	Напряжение смещения, В	Ток анода, мА	Анодная нагрузка, Ом	Выходная мощность, Вт	Уровень второй гармоники, дБ	Уровень третьей гармоники, дБ
300	-61	60	3400	5,6	-30	-44
300	-58	80	1700	7,5	-26	-37
350	-76	50	3600	7,8	-26	-38
350	-76	50	5000	6,2	-30	-45
350	-74	60	2000	10,2	-21	-30
350	-74	60	3000	8,3	-26	-38
350	-74	60	4000	7,0	-30	-44
350	-71	80	2200	9,6	-26	-39
400	-91	40	5000	8,4	-26	-37
400	-89	50	3000	11,5	-21	-31
400	-89	50	4000	9,4	-25	-38
400	-87	60	3500	10,5	-26	-38
400	-87	60	5000	8,3	-30	-46
400	-84	80	2500	12,5	-25	-37
450	-104	40	6000	9,5	-26	-38
450	-102	50	5000	10,7	-27	-39
450	-102	50	6500	9,0	-30	-45
450	-100	60	4000	12,5	-26	-38
450	-100	60	5500	10,1	-30	-44
450	-97	80	2000	17,8	-21	-30
450	-97	80	3000	14,6	-26	-37
450	-97	80	4500	11,5	-31	-45

6B4G

Триод

Общие характеристики

Лампа разработана для усиления мощности низкой частоты. Применяется в выходных и драйверных каскадах.



Назначение выводов:

1, 4, 6, 8 — не используются;
2 и 7 — подогреватель (катод);
3 — анод;
5 — сетка.

Рис. 3.14. Лампа 6B4G: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод прямого накала. Лампа работает в любом положении. Цоколь октальный. Штырьков — 8.

Основные параметры

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В	6,3;
ток накала, А	1,0;
напряжение на аноде, В	250;
ток в цепи анода, мА	60;
крутизна характеристики, мА/В	5,25;
внутреннее сопротивление, Ом	800;
коэффициент усиления	4,2.

Предельно допустимые электрические параметры:

наибольшее напряжение на аноде, В 325;
наибольший ток в цепи анода, мА 90;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт 15.

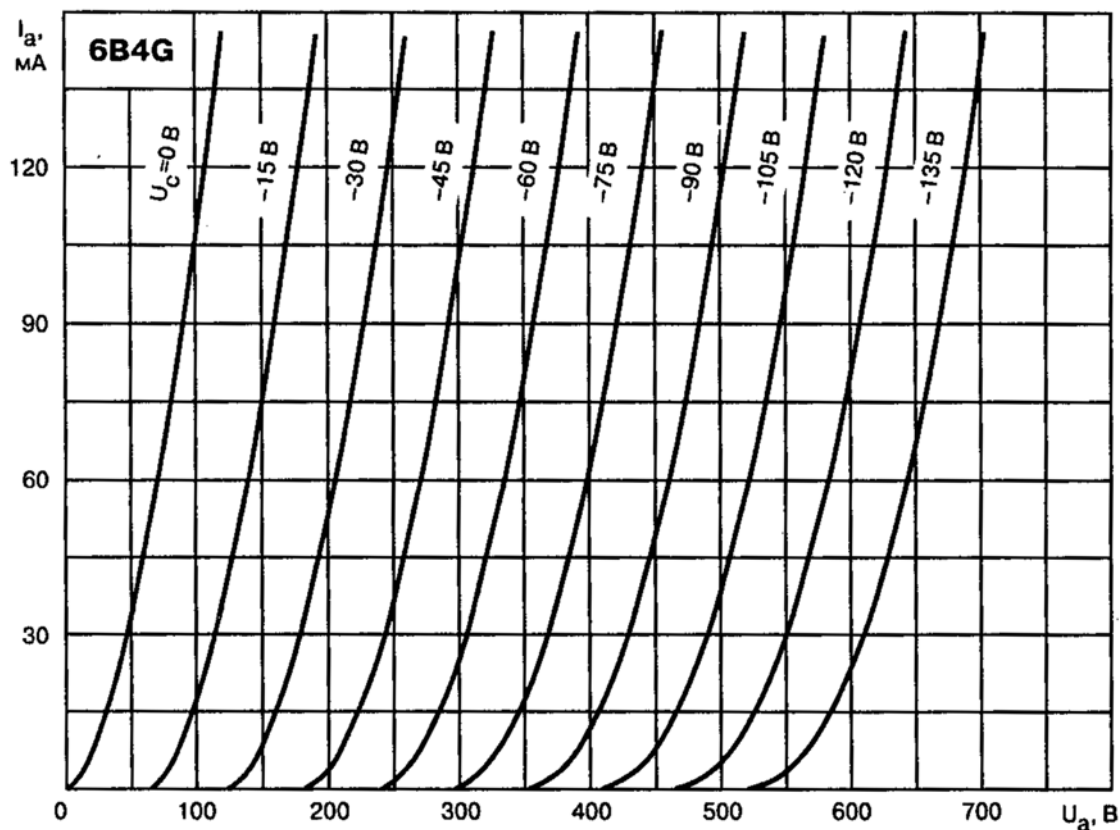


Рис. 3.15. Типовые вольт-амперные характеристики 6B4G

Лампа 6B4G разработана фирмой RCA специально для звукоусиления. Отличается от своих предшественников (2A3, 6A3) напряжением накала и (или) октальным цоколем. Выпускается только в одноанодном варианте. Подобно лампе 2A3, 6B4G стала культовой в аудиофильских кругах.

Прямой российский (советский) аналог — 6С4С.

Достоинства:

- превосходная звуковая сигнатура;
- линейные ВАХ (см. рис. 3.15);
- низкое внутреннее сопротивление;
- обилие схемотехнических решений;

- сравнительная доступность для российских радиолюбителей;
- стандартный октальный цоколь;
- стандартные напряжения накала.

Недостаток:

- малая выходная мощность.

Схемотехника

Однотактные усилители

В однотактном усилителе, схема которого приведена на рис. 3.16, выходная лампа включена в режим с автоматическим смещением; минимальный фон выставляется подстроечным резистором.

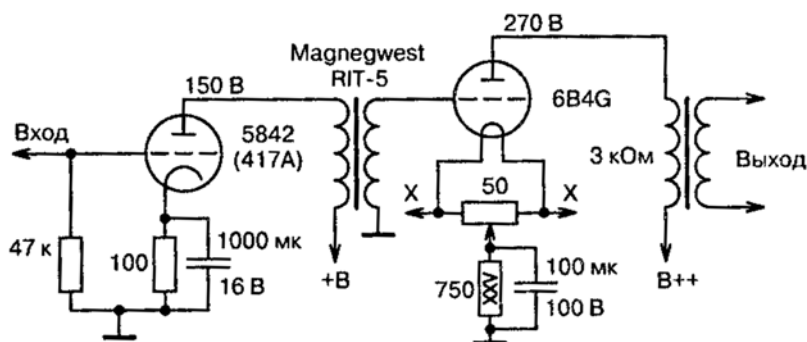


Рис. 3.16. Однотактный усилитель

Входной/драйверный каскад выполнен по трансформаторной схеме. Звучание усилителя можно улучшить, применив фиксированное смещение. Лампы 5842 (417A) можно заменить российскими 6С3П/6С4П, 6С15П/6С45П; соотношение витков обмоток межкаскадного трансформатора от 1:1,2 до 1:2.

Двухтактные усилители

Двухтактный усилитель, схема которого показана на рис. 3.17, — пример построения двухкаскадной схемы с фазоинверсным трансформатором.

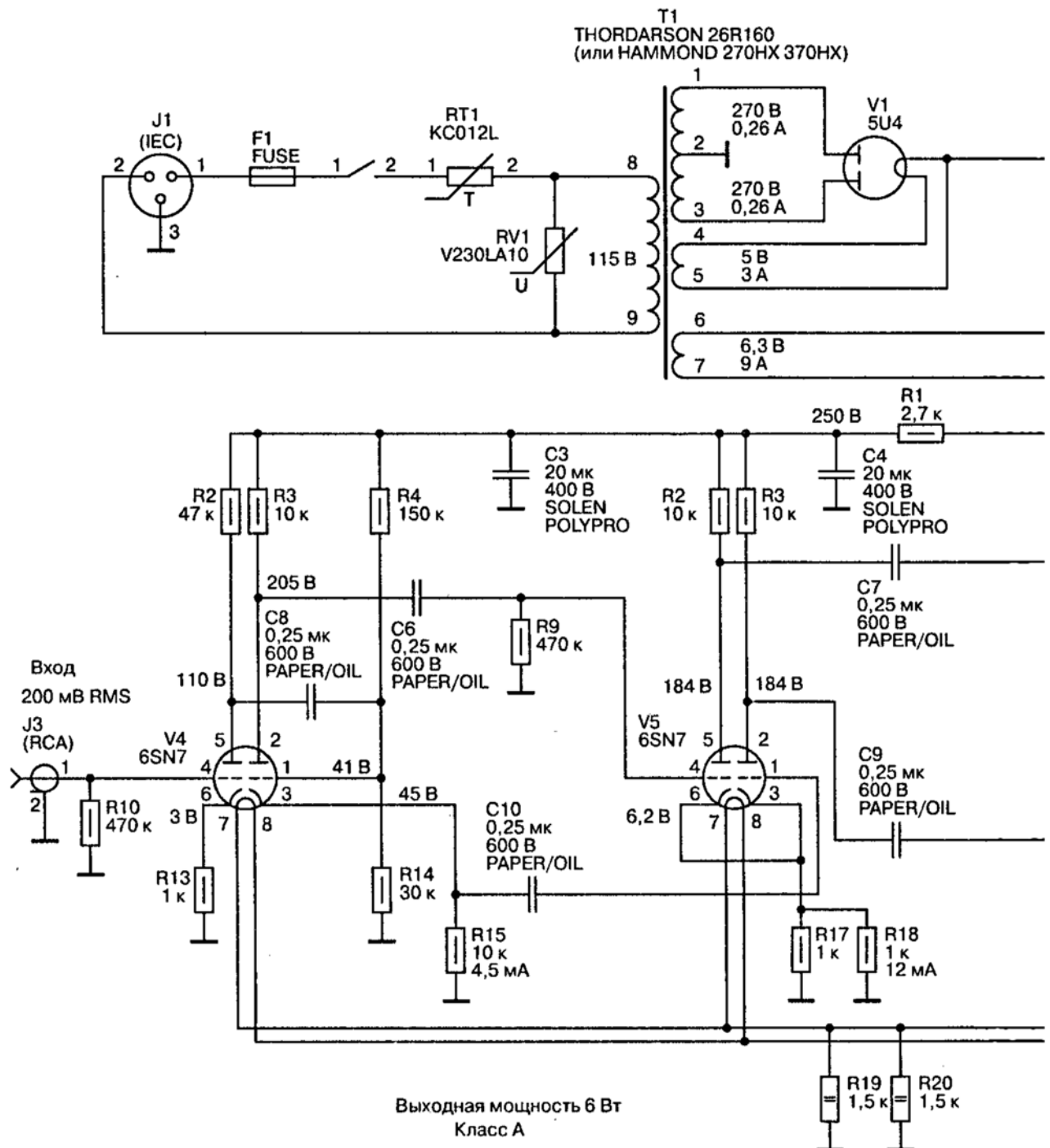
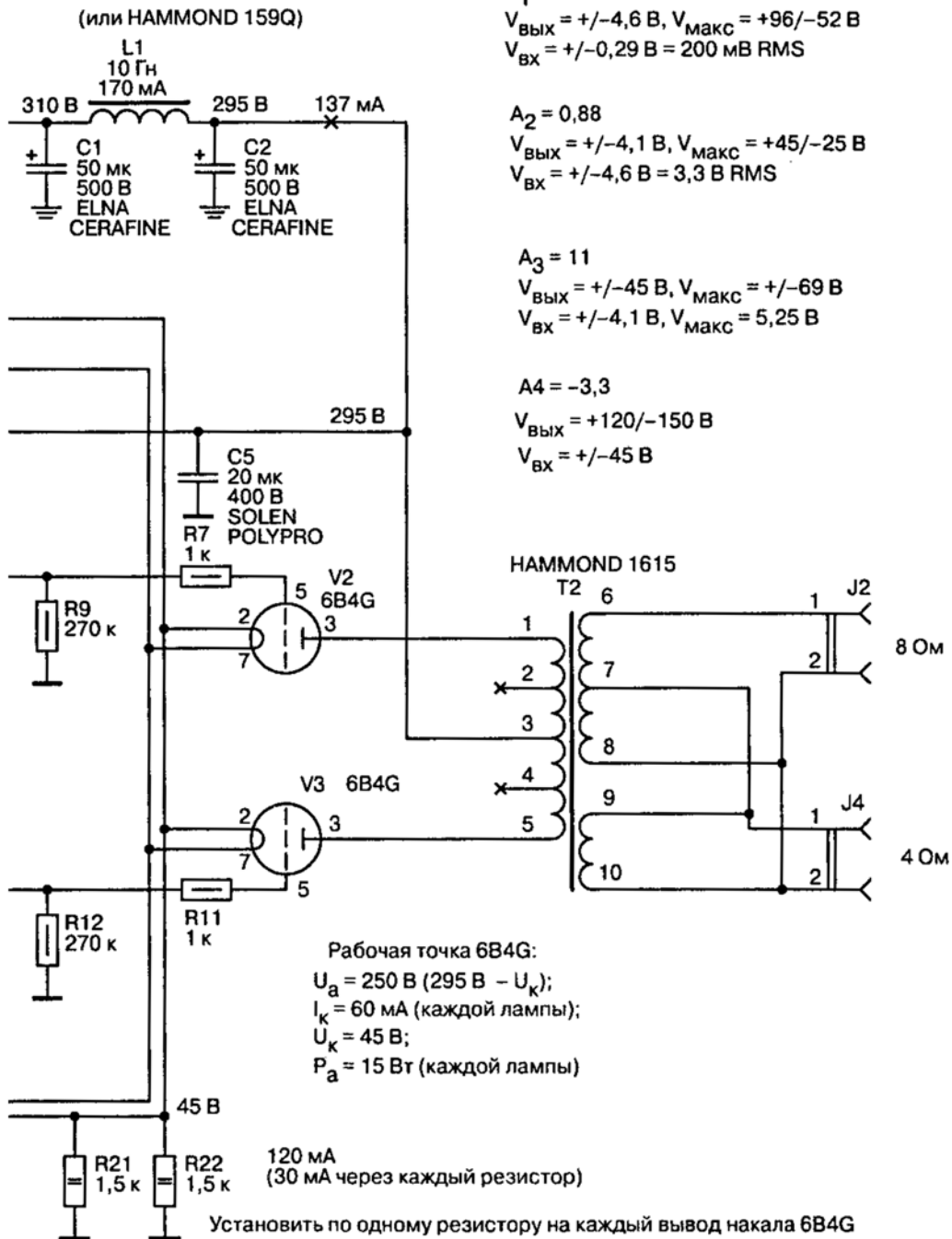


Рис. 3.18. Двухтактный усилитель по схеме Вильямсона



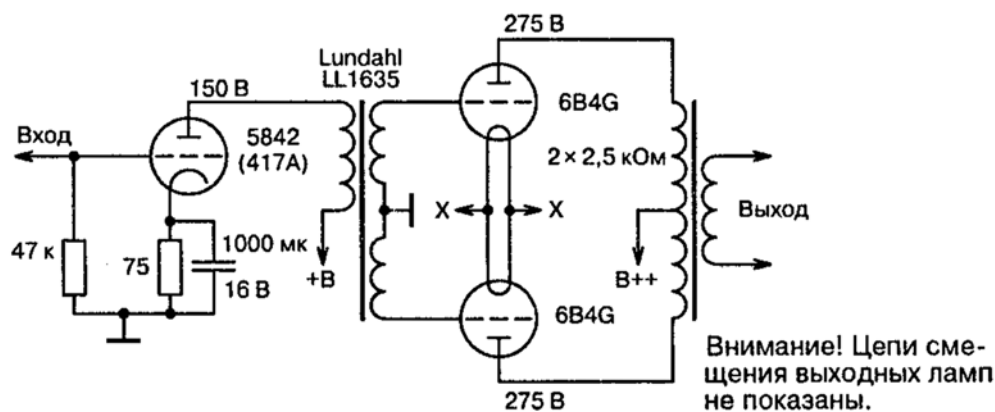


Рис. 3.17. Двухтактный усилитель

Подобно усилителю, рассмотренному чуть ранее (рис. 3.16), и в этом усилителе следует применить фиксированное смещение вместо автоматического.

Двухтактный усилитель (разработчик — П. Миллет), схема которого приведена на рис. 3.18, выполнен по классической схеме Вильямсона: входной каскад — фазоинвертор — дифференциальный драйвер (все три каскада выполнены на лампах 6SN7 — аналоге 6Н8С) — оконечный каскад (6B4G).

Глава 4

Методика самостоятельной сборки лампового усилителя

Специально для читателей этой книги автор разработал конструкцию однотактного усилителя класса Hi-Fi. Характерная особенность — применение всего одной лампы на канал. Беглый взгляд на схему может привести на мысли об очередном усилителе «для начинающих», но не будем торопиться с выводами...

Рассмотрены техническое задание на разработку, выбор лампы, расчеты усилителя, принципиальная схема, комплектующие, возможные замены, методика сборки.

Что будем разрабатывать?

Специально для читателей этой книги автор разработал конструкцию однотактного усилителя класса Hi-Fi. Характерная особенность — применение всего одной лампы (именно лампы, а не баллона, как, например, в случае с 6ФЗП/6Ф5П) на канал. Беглый взгляд на схему (см. рис. 4.7) может навести на мысли об очередном усилителе «для начинающих», но не будем торопиться с выводами...

Изначально предполагалось создание усилителя для головных телефонов (наушников), имеющих сопротивление 300 Ом. Учитывая высокие параметры подобных изделий, недостижимые для акустических систем, реализация усилителя — нетривиальная задача.

Изъяны воспроизведения невозможно ни замаскировать изъянами АС (прежде всего высоким КНИ последних), ни переложив ответственность на акустические свойства помещения, расстановку АС, «влияние направленности акустического кабеля» и т. п. действительные и мнимые причины. Путь от источника звукового сигнала до слушателя сокращен предельно! Этот факт и навел на мысль о необходимости сокращения пути сигнала в самом усилителе.

Поиск готовых схем в Интернете результата не дал: большинство из них реализовано на полупроводниках, т. е. с использованием обратной связи (как минимум, вызванной падением напряжения на *p-n* переходах).

Ламповые конструкции также обладали многочисленными недостатками:

- все без исключения схемы были бестрансформаторными (очевидно, разработчики полагали, что электролитические конденсаторы большой емкости оказывают меньшее влияние на звучание усилителя, чем выходной трансформатор),
- широко использовались катодные повторители (100 % ООС!),
- параллельное соединение нескольких ламп и прочие, по-технократски прямолинейные решения.

Техническое задание на разработку

Отчаявшись найти что-либо подходящее, автор решил сформулировать своего рода техническое задание на разработку усилителя:

- класс усиления $A1$, характеризующийся наименьшим уровнем нелинейных искажений;
- использование триодов как наиболее линейных усилительных элементов;
- однотактная схема в силу субъективных авторских предпочтений (некоторые называют это «высокой микродинамикой однотактного усилителя»);
- предельная краткость усилительного тракта;
- минимальное количество элементов на пути сигнала и в схеме вообще, т. к. для однотактной схемы в классе A трудно найти элемент, не имеющий отношения к звуковому сигналу;
- кенотронный выпрямитель (из личного опыта).

Большинство перечисленных пунктов были достаточно очевидны, здравый смысл подсказывал логичное решение: двухкаскадный усилитель на триодах. Но не давала покоя мысль: чем же усилитель для головных телефонов будет отличаться от своих собратьев, спроектированных для работы на АС?!. Идея построения однокаскадного усилителя буквально витала в воздухе...

Выбор лампы

Казалось бы, решение найдено, проблема в выборе лампы:

- 6П9 требует анодной нагрузки 10 кОм, изготовление соответствующего выходного трансформатора, с учетом подмагничивания и приличной мощности, — нетривиальная задача; включать две лампы параллельно — слишком прямолинейное решение: как поведет себя даже тщательно подобранная пара в условиях температурного и временного дрейфа? И, пожалуй, самое главное — обилие нечетных гармоник, характерное для пентода;
- 6Э5П подкупает относительно небольшим значением оптимальной анодной нагрузки (4,3...8,2 кОм, хотя и придется подбирать лампы с минимальными искажениями на нагрузках 4,3...5 кОм), но проблема нечетных гармоник не снимается;

- триоды с высоким (от 100) коэффициентом усиления (берем в руки справочник):
 - 6Г2, 6Н2П, 6С17К-В — высокое внутреннее сопротивление, не подходят;
 - 6Ф12П (триодная часть) — уже лучше, но требуется анодная нагрузка не менее 15...20 кОм...

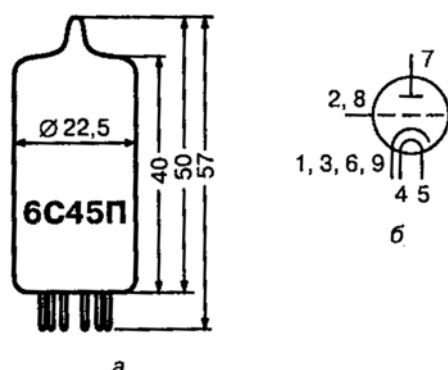
Попробуем выбрать лампу с несколько меньшим коэффициентом усиления:

- 6С3П/6С4П — смущает сочетание μ и внутреннего сопротивления: 50 и 2,5 кОм, можно задуматься;
- 6С15П — усиление также мало, но возможны варианты — отклонение ± 15 , т. е. реально подобрать экземпляр с μ , равным 65. Прочие параметры фантастические: высокая крутизна — 45 ± 11 мА/В (соответственно, низкий уровень шумов, что позволит питать накал переменным током, не «ухудшая микродинамику»), высокая линейность ВАХ, большая (для пальчикового триода) мощность анода (7,8 Вт), низкое внутреннее сопротивление (1,1 кОм).

У лампы есть прямой аналог — 6С45П (параметры лампы 6С45П приведены ниже). Лампы 6С45П были найдены в должном количестве (20 шт. для отбора по усилению) на радиорынке; цена также порадовала — 50 руб./шт. Кроме того, лампы можно приобрести у фирмы «Аудиоинструмент»: www.audioinstr.h1.ru/lamp/lamp.htm, E-mail: audioinstrument@mail.ru (возможна почтовая доставка по России).

6С45П. Триод с высокой крутизной

Лампа 6С45П разработана для усиления напряжения высокой частоты.



Назначение выводов:

1, 3, 6, 9 — катод;
2, 8 — сетка;
4 и 5 — подогреватель (накал);
7 — анод

Рис. 4.1. Лампа 6С45П: а — основные размеры; б — схематическое изображение

Катод оксидный, косвенного накала. Лампа работает в любом положении. Срок службы лампы не менее 1000 часов (не менее 3000 часов для 6С45П-Е). Цоколь 9-штырьковый с пуговичным дном. Вольт-амперные характеристики лампы 6С45П приведены на рис. 4.2.

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ:

входная.....	11,0;
выходная.....	1,8;
проходная.....	5,4.

Номинальные электрические параметры:

напряжение накала, В.....	6,3;
ток накала, мА.....	440 ±30;
напряжение на аноде, В.....	150;
ток в цепи анода, мА.....	40 ±12;
крутизна характеристики, мА/В.....	45 ±11;
внутреннее сопротивление, кОм.....	1,1;
коэффициент усиления.....	52 ±16;
эквивалентное сопротивление шумов, кОм.....	0,1.

Предельно допустимые электрические параметры

наибольшее напряжение накала, В	7,0;
наименьшее напряжение накала, В.....	5,7;
наибольшее напряжение на аноде, В	150;
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт.....	7,8;
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В.....	100;
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм	0,15.

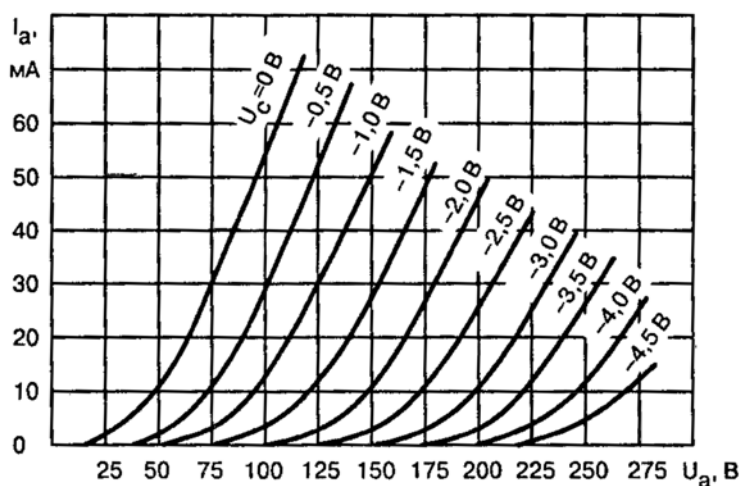


Рис. 4.2. Анодные характеристики триода 6С45П

Расчеты усилителя

Прежде чем браться за изготовление выходных трансформаторов для нагрузки 300 Ом, было решено собрать макет, используя имеющиеся трансформаторы (производства фирмы «Аудиоинструмент» со следующими характеристиками: $R_a = 5$ кОм, $R_H = 4$ Ом, расчётный ток $I_a = 30$ мА), чтобы сначала оценить звучание усилителя с АС и определиться, стоит ли овчинка выделки...

Точку покоя или рабочую точку (далее — РТ) выбираем, исходя из ограничений: анодный ток не выше 30 мА (в противном случае повышается значение нижней граничной частоты, воспроизводимой трансформатором), предельное допустимое напряжение на аноде 150 В.

Примечание. Под анодным напряжением принято понимать напряжение на участке «анод—катод». В некоторых изданиях встречается термин «анодное напряжение», под которым может подразумеваться как напряжение на аноде, так и напряжение между анодом и общим проводом источника питания («землей»). Автор пред-

почитает (по возможности) использовать включения ламп, при которых катод напрямую соединен с общим проводом. В этом случае анодное напряжение эквивалентно напряжению на аноде.

Поскольку снижение значений перечисленных величин приводит к возрастанию нелинейных искажений и увеличению внутреннего сопротивления, то целесообразно принять точку ВАХ с координатами 150 В и 30 мА в качестве рабочей (рис. 4.3).

Рассеиваемая анодом мощность в РТ:

$$P_{a0} = I_{a0} \cdot U_{a0} = (30 \text{ мА}) \cdot (150 \text{ В}) = 4,5 \text{ Вт},$$

что не превышает предельного значения 7,8 Вт.

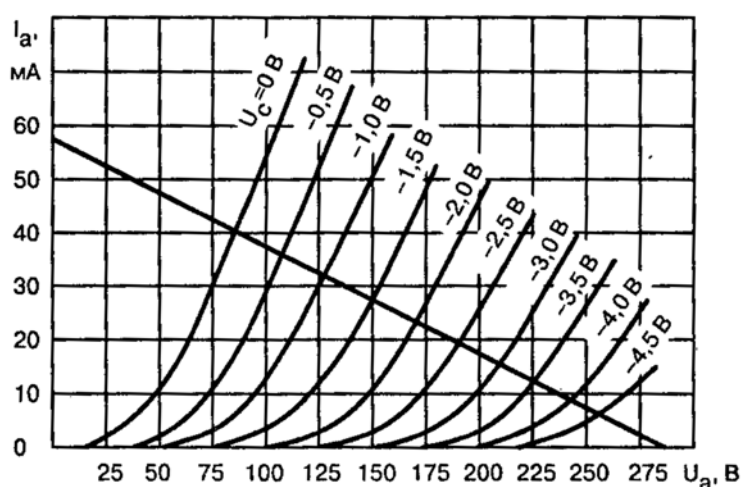


Рис. 4.3. Выбор рабочей точки, построение нагрузочной прямой

Из рис. 4.3 следует, что рабочая точка определяет величины I_{a0} и U_{a0} для единственного значения напряжения смещения $U_{см0}$ (начального смещения), в данном случае $U_{см0} = -1,5 \text{ В}$. Именно такая величина смещения легко реализуется схемой с батарейным смещением (см. ниже), поэтому РТ будет определяться такими параметрами: $U_{a0} = 150 \text{ В}$ и $I_{a0} = 27,5 \text{ мА}$. Зная величину сопротивления анодной нагрузки $R_a = 5 \text{ кОм}$, нетрудно получить значения I_a и U_a при различных $U_{см}$, построив график функции $U_a = U'_{пит} - I_a \cdot R_a$ (прямая, проходящая через РТ на рис. 4.3, а $U'_{пит} = U_{a0} + I_{a0} \cdot R_a$). Эта прямая носит название динамической сеточной характеристики или (кратко) динамической характеристики. В отдельных изданиях встречается и другое название — «нагрузочная прямая» — очевидно, дословный перевод англоязычного термина «load line».

При помощи графика динамической характеристики (ДХ) нетрудно определить ряд важных параметров каскада.

Амплитуда выходного сигнала $U_{\text{ВЫХ}}$ (действующего на первичной обмотке трансформатора) находится следующим образом: выбираются точки пересечения ДХ с участками ВАХ, соответствующими величине смещения $U_{\text{см}} = U_{\text{см}0} + |U_{\text{см}0}|$ (точка 1) и $U_{\text{см}} = U_{\text{см}0} - |U_{\text{см}0}|$ (точка 2). Длина проекции отрезка [1,2] на ось абсцисс и есть искомая величина амплитуды выходного сигнала (рис. 4.4).

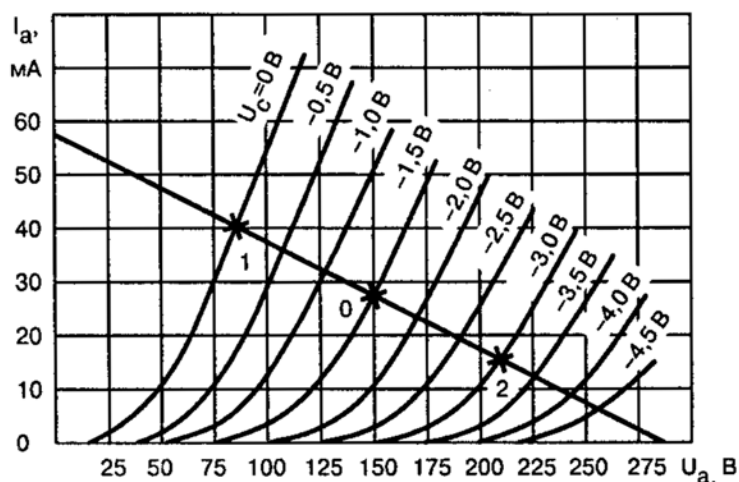


Рис. 4.4. Определение амплитуды выходного сигнала

В нашем случае $U_{\text{см}0} = -1,5 \text{ В}$, точка 1 определяется по пересечению ДХ с участком ВАХ при

$$U_{\text{см}} = 0 \text{ В: } U_{\text{см}} = U_{\text{см}0} + |U_{\text{см}0}| = -1,5 \text{ В} + 1,5 \text{ В} = 0 \text{ В,}$$

а точка 2 - по пересечению ДХ с участком ВАХ при

$$U_{\text{см}} = -3 \text{ В} \quad (U_{\text{см}} = U_{\text{см}0} - |U_{\text{см}0}| = -1,5 \text{ В} - 1,5 \text{ В} = -3 \text{ В}).$$

Точке 1 по оси абсцисс соответствует 85 В, точке 2 - 210 В. Следовательно, величина амплитуды выходного сигнала равна модулю разности этих значений, т. е. $210 \text{ В} - 85 \text{ В} = 125 \text{ В}$.

При этом амплитуда положительной полуволны равна 65 В (длине проекции отрезка [0, 1] на ось абсцисс, а отрицательной полуволны - 60 В (длине проекции отрезка [0, 2])).

Коэффициент усиления каскада K_0 вычисляется как частное амплитуды выходного сигнала и модуля удвоенной величины начального смещения:

$$\frac{U_{\text{ВЫХ}}}{2 \cdot |U_{\text{см}0}|} = \frac{125}{2 \cdot 1,5} = 41,67.$$

Парадоксально, но ДХ позволяет определить даже коэффициент нелинейных искажений (КНИ)! Для этого воспользуемся методом Клина (по имени автора методики, также называемой методом пяти ординат. Материал изложен в сокращённой форме).

На ДХ отметим точки 1' (на положительной полуволне) и 2' (на отрицательной), отстоящие от РТ на расстоянии, численно равном половине $U_{см0}$ (рис. 4.5), тогда:

$$K_{Г2} = 0,75 \cdot \frac{[0,1] - [0,2]}{[0,1] + [0,2] + [1',2']},$$

$$K_{Г3} = \frac{[0,1] + [0,2] - 2 \cdot [1',2']}{2 \cdot ([0,1] + [0,2] + [1',2'])}.$$

Или в нашем случае:

$$K_{Г2} = 0,017, \text{ т. е. } 1,7 \text{ \%}.$$

$$K_{Г3} = 0.$$

Речь идет именно о КНИ каскада, а не усилителя в целом (складывается из нелинейностей всех его элементов). Более того, при расчетах любых параметров каскада параметры трансформатора считаются идеальными (на практике последний является основным источником нелинейных искажений, особенно на краях частотного диапазона).

Неплохо! Напомню, что все расчеты производились для максимальной амплитуды входного сигнала, равной $2 \cdot |U_{см0}| = -3$ В. Амплитудному значению 3 В соответствует среднеквадратичное 2,14 В, а в качестве стандартного уровня выходного напряжения источников сигнала принято среднеквадратичное 0,775 В (0 дБ), при котором значение КНИ каскада будет еще ниже.

Разумеется, данный метод не обеспечивает большой точности, т. к. велика погрешность измерений, а ВАХ реального триода может существенно отличаться от приведенной на рис. 4.2 усредненной характеристики.

Результаты измерений КНИ макета усилителя приведены на рис. 4.9 (измерения проводились на нижней граничной частоте 20 Гц при максимальной выходной мощности).

Данный метод, при всех своих недостатках, остается единственно доступным, позволяя определить КНИ теоретическим путем. Более того, из формул для расчета $K_{Г2}$ и $K_{Г3}$ (метод Клина также позволяет определить и $K_{Г4}$, но его уровень на порядок меньше $K_{Г2}$) следует, что вторая гармоника компенсируется при $[0, 1] = [0, 2]$, а третья — при $[0, 1] + [0, 2] = 2 \cdot [1', 2']$.

Изменяя наклон ДХ (т. е. величину анодной нагрузки, желательно в пределах от $3R_i$ до $5R_i$) и (или) положение РТ, можно добиться практически полной компенсации второй и третьей гармоник. Именно таким способом автор добился значения $K_{Г3} = 0$. На практике следует добиваться минимума третьей гармоники, чье влияние на звук более пагубно, т. е. гораздо лучше получить $K_{Г2} = 0,8\%$ и $K_{Г3} = 0$, чем $K_{Г2} = 0,25\%$ и $K_{Г3} = 0,1\%$.

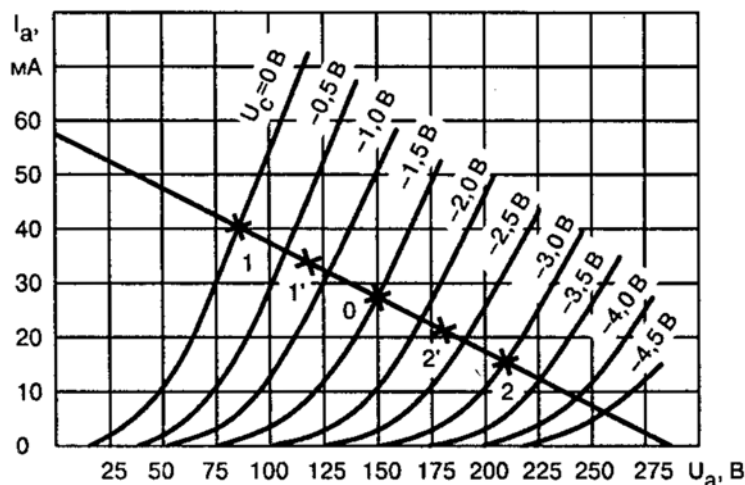


Рис. 4.5. Положение точек ДХ, используемых в методе Клина

При наличии соответствующей измерительной техники, изменяя в некоторых пределах величину смещения и (или) напряжения на аноде, можно добиться минимизации КНИ. Разумеется, подобное оборудование доступно не многим, но даже при помощи компьютера с хорошей звуковой картой и соответствующих программных средств нетрудно получить хорошие результаты. Автор использует звуковую карту SoundBlaster Live! (24-bit) и SpectraLAB (см. рис. 4.9).

Для описываемой схемы однокаскадного усилителя проблема снижения КНИ особенно важна, т. к. отсутствует сама возможность взаимной компенсации искажений — методики, применяемой в многокаскадных усилителях.

Некоторые конструктивные особенности: обозначим на ВАХ пунктирной линией область предельных значений мощности, рассеиваемой на аноде $P_{a \text{ макс}}$ (рис. 4.6). Параллельным переносом сместим динамическую характеристику вверх, вплоть до касания кривой $P_{a \text{ макс}}$. РТ выберем на пересечении ДХ с участком ВАХ, соответствующим $U_{см} = -1,5 \text{ В}$ (точка 0').

Изменение положения РТ в пределах ДХ также **неоправданно**:

- лампы, обладающие высокими значениями крутизны (более 20 мА/В) и коэффициента усиления (более 30) при уменьшении U_{cm0} начинают (от $U_{cm} = -1,2$ В) потреблять ток сетки, что приводит к заметному возрастанию КНИ;
- увеличение U_{cm0} (например, до -2 В) приводит к чрезмерному превышению допустимого напряжения на аноде, снижая срок службы лампы.

Очевидно, такое положение РТ обеспечивает:

- большую амплитуду выходного сигнала и, соответственно, большую выходную мощность;
- меньшее внутреннее сопротивление лампы;
- рост перегрузочной способности по входу.

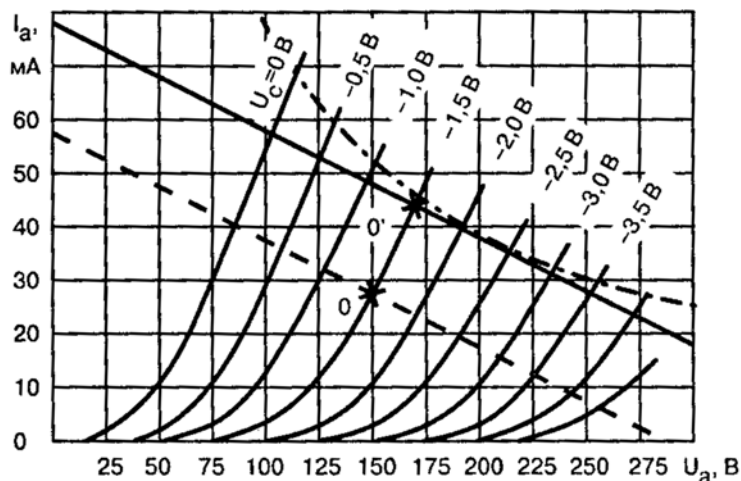


Рис. 4.6. Выбор оптимальной РТ

При этом превышает (приблизительно на 10 %) предельное значение только одного параметра — напряжения на аноде, что допустимо.

РТ $0'$ можно считать наилучшей, но с учетом максимально допустимой величины постоянной составляющей тока (30 мА) через первичную обмотку имеющегося трансформатора было решено остановиться на РТ 0 . Тем более, от телефонного усилителя не требуется большой мощности, а расчетный КНИ достаточно мал.

Примечание. Все расчеты для трансформаторного каскада справедливы и для резистивного (с нагрузкой в аноде) с учетом следующих замечаний.

Для трансформаторного каскада напряжение на аноде лампы равно разности напряжений источника питания $U_{\text{пит}}$ и падения напряжения на активном сопротивлении обмотки (но последнее у хороших трансформаторов на порядок меньше R_a), т. е. напряжение на аноде практически равно напряжению источника питания.

В случае резистивной нагрузки пренебречь падением напряжения на активном сопротивлении уже нельзя, т. к. R_a носит исключительно активный характер. Если в нашем примере (см. рис. 4.3) вместо первичной обмотки трансформатора ($R_a = 5 \text{ кОм}$) установить резистор такого же номинала, то для сохранения прежней РТ требуется напряжение питания, равное

$$U_{a0} + R_a \cdot I_{a0} = 150 \text{ В} + (5 \text{ кОм}) \cdot (27,5 \text{ мА}) = 287,5 \text{ В}.$$

Обратите внимание: ДХ пересекает ось абсцисс в точке с координатами (287,5; 0)! Именно из этой точки следует проводить ДХ под углом, соответствующим требуемому значению $R_{a \text{ экв}}$, выбираемому исходя из условия $R_{a \text{ экв}} = (3 \dots 5)R_i$ и учитывающему величину сопротивления утечки сетки R_c лампы следующего каскада, т. к. по переменному току R_a и R_c соединены параллельно, то

$$R_{a \text{ экв}} = \frac{R_a \cdot R_c}{R_a + R_c}$$

Необходимо следить, чтобы ДХ, по возможности приближаясь, нигде не пересекала кривую, соответствующую максимальной мощности анода. В противном случае следует выбрать другое значение $R_{a \text{ экв}}$. Также нежелательно превышать предельные значения тока анода и напряжения на аноде. На полученной ДХ выбирают рабочую точку — обычно в середине отрезка, образованного точкой $(0, U_{\text{пит}})$ и пересечением ДХ с участком ВАХ, соответствующим $U_{\text{см}} = 0$. Определив КНИ в РТ, можно скорректировать ее положение. Разумеется, РТ должна выбираться так, чтобы максимально возможная амплитуда сигнала на сетке не превышала $2U_{\text{см0}}$.

Переходим к схеме усилителя

Имеется единственный каскад (рис. 4.7), фиксированное смещение организовано с помощью полуторавольтовой батареи (автор применил щелочные элементы «Varta» типоразмера АА, но можно по-

пробовать батареи других типов и фирм, подбирая их по наилучшему качеству звучания. Применять батарейные контейнеры не следует ввиду вероятной потери контакта. Батареи хорошо паяются).

Внимание! В случае использования литиевых или т. н. часовых батарей необходимо выбирать модели, имеющие контакты для пайки, а саму пайку выполнять очень быстро, не допуская сильного нагрева корпуса. В противном случае гарантирован минивзрыв. **Берегите глаза, защитные очки обязательны!**

Батарейное смещение отличается наибольшей стабильностью, низким уровнем шумов каскада (катод лампы заземлен), что позволяет питать накал лампы переменным током (упрощая конструкцию и сохраняя «микродинамику»), а также простотой и минимальной стоимостью.

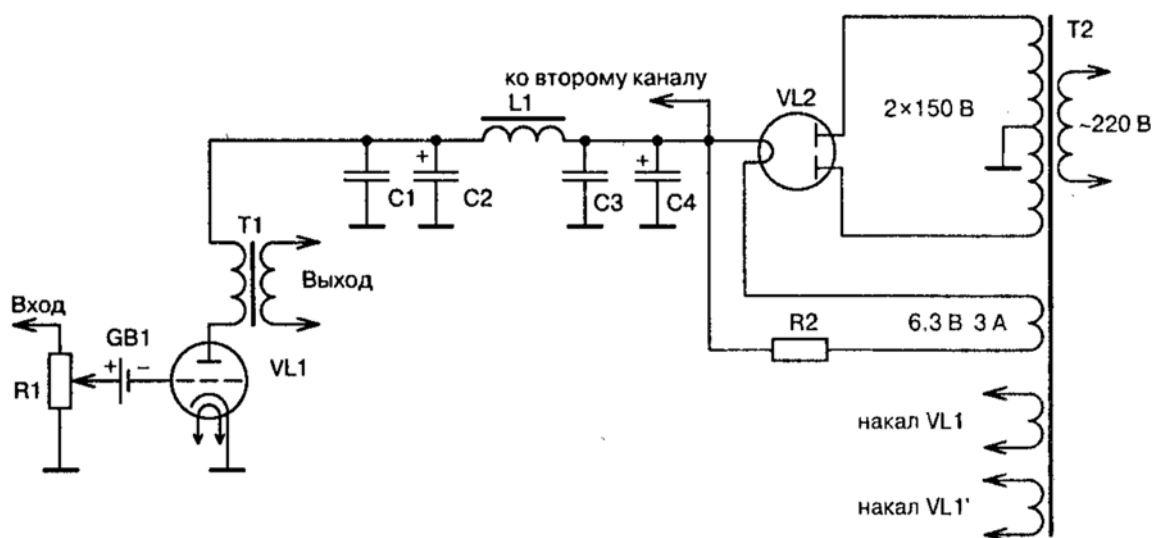


Рис. 4.7. Схема усилителя

К недостаткам можно отнести следующее:

- необходимость периодического (хотя и не частого) контроля напряжения батареи;
- в случае использования нестабилизированного источника анодного напряжения возможно превышение предельных значений анодного тока и (или) мощности, рассеиваемой на аноде: повышение напряжения электросети вызывает пропорциональное повышение $U_{пит}$ и U_a , что приводит к увеличению тока анода, но уже пропорциональное U_a в степени $3/2$!

Примечание. Это еще одна причина, по которой не следует выбирать рабочую точку $0'$ (см. рис. 4.6) для данной схемы.

Источник питания кенотронный, с П-образным фильтром (С-L-С). Наилучшее звучание обеспечивается при минимально возможной величине активного сопротивления дросселя, поэтому намотку следует производить достаточно толстым проводом. Электролитические конденсаторы шунтируются бумаго-маслянными с целью снижения паразитной индуктивности и уменьшения тангенса угла потерь. Если габариты корпуса позволяют, то можно применить только бумаго-маслянные конденсаторы соответствующей емкости. Потребляемый схемой ток невелик (60 мА), поэтому нетрудно обеспечить трехкратный запас по мощности. Задержка подачи анодного напряжения дополнительно (т. к. кенотрон прямого накала вносит небольшую задержку, а косвенного — уступает по субъективному влиянию на качество звучания и потому не применяется в данной схеме) обеспечивается резистором R2, включенным последовательно накалу. Т. к. сопротивление цепи накала холодной лампы на порядок меньше, чем у разогретой, то падение напряжения на резисторе будет большим, что приводит к задержке прогрева кенотрона и, соответственно, подачи выпрямленного напряжения.

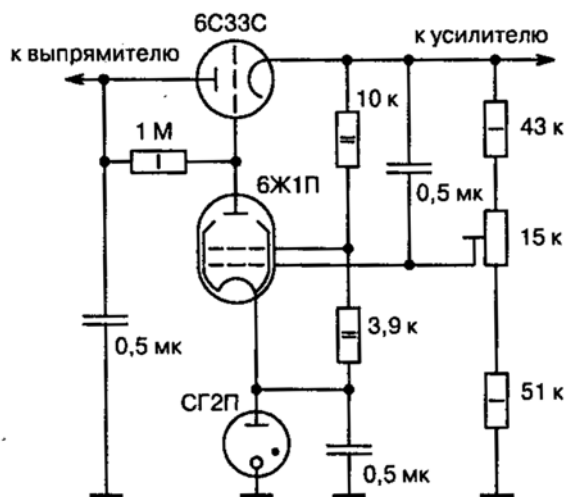


Рис. 4.8. Схема стабилизатора анодного напряжения

Улучшить параметры усилителя можно следующим путем (**варианты для экстремалов!**):

- стабилизировать анодное напряжение (например, с помощью лампового стабилизатора), тогда появится возможность вы-

бора рабочей точки 0' (см. рис. 4.6), что позволит увеличить выходную мощность усилителя;

- применить батарейное питание, используя набор из 10...12 штук аккумуляторных батарей напряжением 12 В каждая для подачи анодного напряжения и 1...3 штуки напряжением 6 В — для питания накала. Емкость батарей выбирается исходя из допустимых габаритов блока питания, а сам блок выполняется в отдельном корпусе. При этом усилитель начинает жить своей жизнью вследствие размеров, веса и необходимости зарядки аккумуляторов. В случае использования стабилизатора не следует забывать о фильтрации выпрямленного напряжения!

Примечание. Разница в звучании двух последних вариантов невелика, а вот по сравнению с обычным кенотронным нестабилизированным блоком питания — весьма заметна. Предпочтителен вариант с ламповым стабилизатором, автор использовал следующую схему (рис. 4.8).

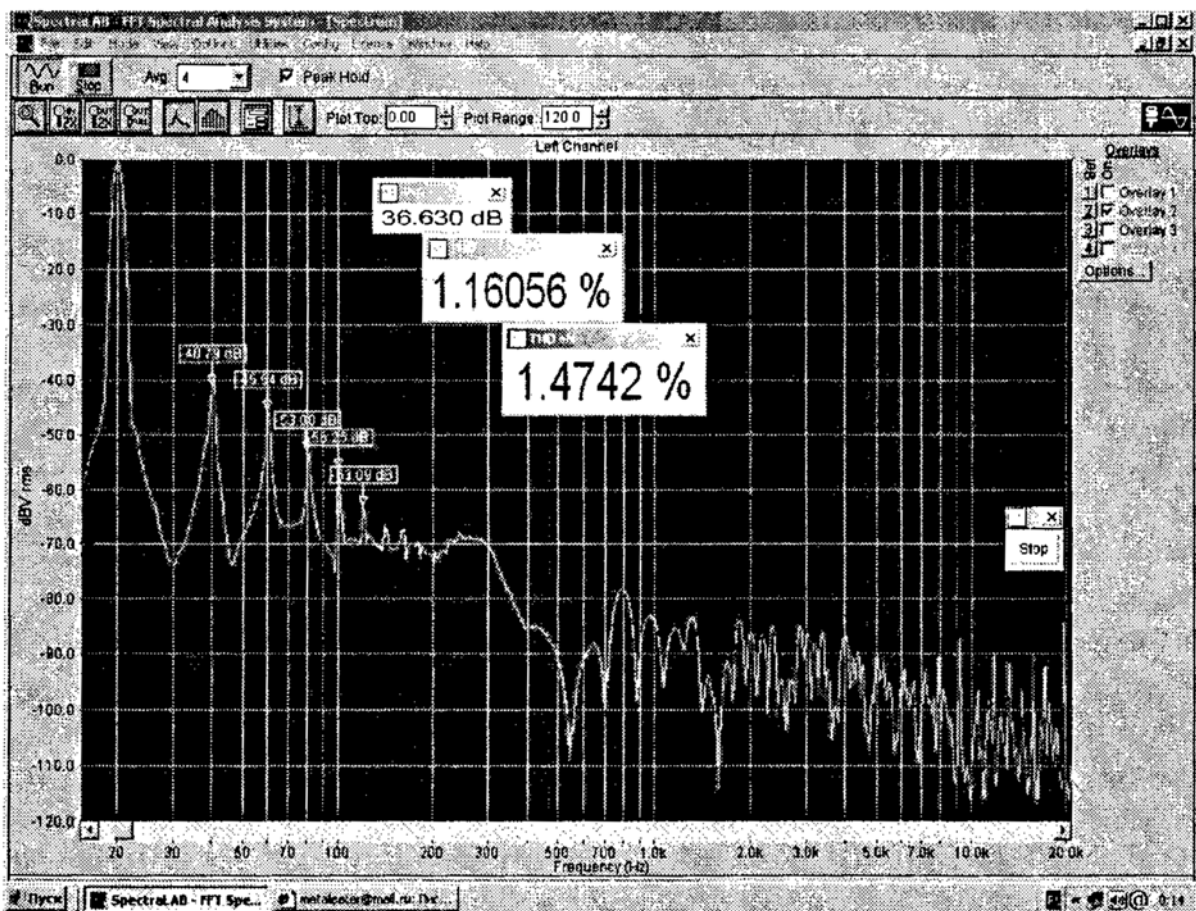


Рис. 4.9. Результаты измерения КНИ макета усилителя. Измерения проводились на частоте 20 Гц и максимальной амплитуде сигнала на первичной обмотке

Комплектующие

Схема содержит небольшое количество элементов, поэтому желательно использовать по возможности качественные (не обязательно безумно дорогие) комплектующие: переменный резистор регулятора громкости ALPS, конденсаторы блока питания «Rubycon», «Maccon», «Nichicon» и (или) МБГЧ. Перечень комплектующих, используемых в авторском варианте усилителя, приведен в табл. 4.1.

Перечень комплектующих, используемых в авторском варианте усилителя Таблица 4.1

Обозначение	Номинал, название	Производитель (тип)	Ориентировочная цена, \$	Кол-во	Где купить
C1, C3	20 мкФ × 250 В	МБГЧ	1,5	4	На радиорынке
C2, C4	330 мкФ × 350 В	«Rubycon»	5	4	Там же
GB1	1,5 В, размер AA	«Varta»	0,5	2	В любом магазине
L1	D300AM	«Аудиоинструмент»	12	2	«Аудиоинструмент»: audioinstrument@mail.ru
R1	50 кОм, лог.	ALPS	25	1	Там же
R2	1 Ом, 3 шт. параллельно	ОМЛТ-2	0,1	3	На радиорынке
T1	TW6SE *	«Аудиоинструмент»	32	2	«Аудиоинструмент»: audioinstrument@mail.ru
T2	TAN 250 **	«Аудиоинструмент»	28	1	Там же
VL1	6C45П	«Рефлектор»	1,8	2	Там же
VL2	5Ц3С	«Светлана»	6	1	Там же

Примечания к таблице.

* Трансформаторы могут быть изготовлены с различными значениями R_a и R_n по желанию заказчика.

** Трансформаторы могут быть изготовлены с различными значениями выходных напряжений по желанию заказчика.

Итого: \$178 (без корпуса, разъемов и панелек).

Резистор R2 составлен из трех параллельно включенных ОМЛТ-2-1 Ом.

Возможные замены

Силовой трансформатор — ТАН76, ТАН111, ТАН120, ТАН127 либо парой: ТН21...ТН25 и ТА106, ТА143, ТА171, ТА203 и др. с подходящими параметрами вторичных обмоток.

Дроссели — Д39-2,5-0,26, Д49-5-0,28, Д50-10-0,2, Д48-2,5-0,4; кроме того, существует множество нестандартных изделий.

Выходные трансформаторы — любые однотактные, $5 \text{ кОм} / R_n$ (R_n определяется требуемым сопротивлением нагрузки: АС, низкоомные или высокоомные головные телефоны), $I_{a \text{ макс}}$ — не менее 30 мА, частотный диапазон и неравномерность — в соответствии с вашими желаниями и возможностями.

Разумеется, все моточные изделия и корпус можно изготовить самостоятельно.

Для изготовления корпуса следует использовать следующие материалы: медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы. Поскольку обработка металлов в домашних условиях представляет определенные трудности, то можно изготовить корпус из дерева (фанеры, МДФ) и оклеить изнутри фольгированным стеклотекстолитом с обязательной пропайкой стыков.

Сложнее ситуация с выходными трансформаторами. Конечно, для первых опытов подойдут и ТВЗ-1-9 (применялись в УНЧ ламповых телевизоров, встречаются на радиорынках), но для высококачественного звуковоспроизведения они не годятся...

В приложении 4 приведены методики расчета выходных трансформаторов, а в приложении 5 — конструкции выходных трансформаторов для некоторых выходных ламп.

Заключение

Макет усилителя (напомним, выходные трансформаторы были рассчитаны на нагрузку 4 Ом) для контроля работоспособности подключался к акустической системе S-90, обладающей низкой чувствительностью (по паспорту 88 дБ/Вт) и сложным импедансом. Удивительно, но мощности усилителя хватило для прослушивания музыки даже при среднем положении регулятора громкости в комнате 20 м²! Порадовало и качество звучания, после чего было ре-

шено изготовить выходные трансформаторы с двумя группами вторичных обмоток:

- 1 — для подключения головных телефонов сопротивлением 300 Ом;
- 2 — для подключения АС сопротивлением 4 и 8 Ом.

На рис. 4.10 приведен внешний вид собранного усилителя. На фотографии видны пять ламп, хотя собственно усилитель собран на трех. Дело в том, что в используемом корпусе имелось пять отверстий под ламповые панельки и автор решил: чтобы две из них не пустовали, использовать их для организации индикаторов уровня сигнала каждого канала на лампах 6Е5С. К звучанию это не имеет никакого отношения, и поэтому отражения в книге не нашло.

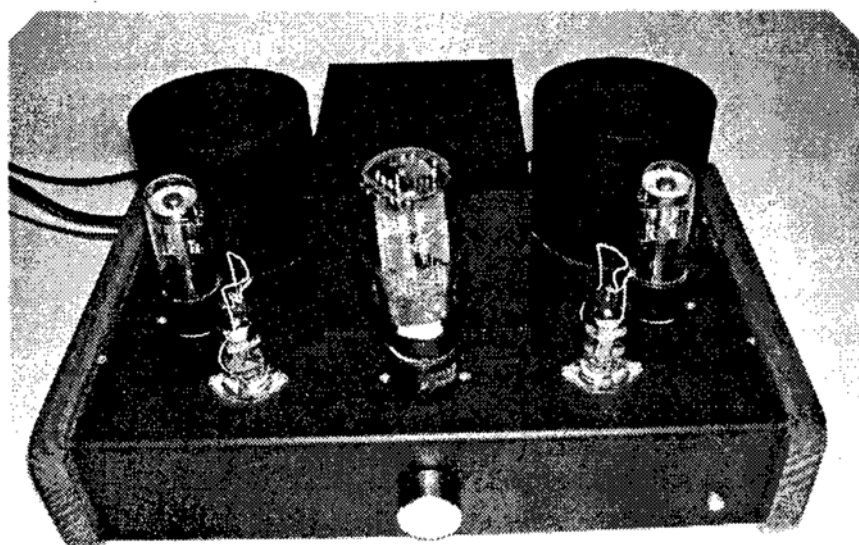


Рис. 4.10. Внешний вид собранного усилителя

Глава 5

Обзор рынка ламповых Hi-Fi усилителей

Выбор усилителей очень широк. В этой главе автор предлагает воспользоваться таблицей для предварительной оценки возможных вариантов, а затем внимательно ознакомиться с полезными советами. И успех обеспечен.

Как сделать правильный выбор при покупке Hi-Fi усилителя

На российском рынке присутствует продукция большинства известных производителей, вплоть до эксклюзивного Gaku On AUDIO NOTE / KONDO (цена в Москве \$128000).

Заказать можно практически любой усилитель — как новый, так и винтажный (от англ. vintage — буквально старомодный; в данном контексте — прошедший испытание временем). Поскольку финансовые возможности и требования к аппаратуре у всех разные, то порекомендовать какое-либо универсальное решение затруднительно. Автор предлагает воспользоваться табл. 5.1 для предварительной оценки возможных вариантов, а затем внимательно ознакомиться с примечаниями.

Оценка вариантов покупки ламповых усилителей

Таблица 5.1

Тип усилителя	Однотактный				Двухтактный			
	Зарубежного производства (современный, новый)	Зарубежный винтажный или современный б/у	Отечественный	Самодельный	Зарубежного производства (современный, новый)	Зарубежный винтажный или современный б/у	Отечественный	Самодельный
до \$500	-	-/+ (1)	-/+ (2)	+ (3)	-	-/+ (4)	-/+ (5)	+ (6)
\$600...\$1000	-	+ (7)	+ (8)	+	-	+ (9)	+	+
\$1500...\$3000	-	+ (10)	+	+	+ (11)	+	+	+
\$4000...\$5000	+ (12)	+	+ (13)	+	+	+	+ (13)	+

Знаки в таблице имеют следующие значения:

- — возможность приобретения исключена;
- /+ — приобретение возможно, но маловероятно (см. примечания ниже);
- + — приобретение возможно.

Расшифровка цифр, примененных в таблице

- 1 — покупка возможна, но маловероятна. Кроме того, усилитель (винтажный) будет заведомо невысокого класса, например, на лампах 12AX7 + EL84 с трансформатором, похожим на ТВЗ-1-9.
- 2 — намного лучше, чем (1). Например, стереоусилитель производства фирмы «Аудиоинструмент» на лампах 6Ф5П.
- 3 — потратив большую часть суммы (около 300 долларов) на фирменные выходные трансформаторы (хотя бы и младших моделей), можно получить достойный аппарат. Например, приобрести пару TANGO U-808 (<http://www.kogerer.ru/tango-trans.html>) и собрать миниоконечник на 6П45С; либо хэдамп, используя специальные «телефонные» трансформаторы Sowter9351 (600/300/150/40 Ом) (<http://www.sowter.co.uk>). В этом случае хэдамп обладает несомненным преимуществом: совместно с качественными (не обязательно очень дорогими) головными телефонами (например, Sennheiser-580 за \$200) он обеспечивает качество звучания, недостижимое парой «ламповый усилитель мощности — акустическая система».
- 4 — приобретение маловероятно.
- 5 — модели невысокого класса, например на лампах 6П14П.
- 6 — аналогично (3). Выходные лампы — саратовские EL34, трансформаторы TANGO U-405 (<http://www.kogerer.ru/tango-trans.html>).
- 7 — винтажный, невысокого класса.
- 8 — выбор достаточно широк. С ассортиментом можно познакомиться на выставке «РоссХайЭнд», в журналах, Интернете. По объявлениям за эти деньги можно купить б/у, но более высокого класса.
- 9 — в этой ценовой категории сосредоточено большинство моделей.
- 10 — можно приобрести легендарные модели, даже пару моноблоков McIntosh (<http://z-audio.ru/>).
- 11 — аналогично (9).
- 12 — фактически начальная цена, даже для стереоварианта, не говоря о моноблоках...
- 13 — за указанную сумму можно потребовать изготовление настоящего шедевра, например, усилителя Сакумы на оригинальной элементной базе (трансформаторы ST фирмы TAMURA).

Полезные советы выбирающим усилитель

Перед приобретением усилителя примите во внимание следующие аргументы.

Во-первых, при покупке через зарубежные аукционы, помимо возможных рисков, следует учитывать стоимость пересылки (например, срочной авиапочтой из США и Канады — около \$100 за 10 кг) и таможенную пошлину — 30 % от суммы, превышающей 10000 руб. (стоимость пересылки также включается в расчет!). В большинстве случаев такой вариант выгоден, т. к. в России винтажная техника предлагается по ценам в 3—4 раза большим, чем на зарубежных аукционах. Винтажные усилители часто имеют встроенный винил-корректор.

Во-вторых, покупка некондиционной аппаратуры чревата дополнительными затратами: поиск и покупка ламп (порой весьма редких и дорогих), замена электролитических конденсаторов, переделка под другой тип ламп и т. п. Не рекомендуется приобретать усилитель с неисправными выходными трансформаторами. В любом случае, лучше показать усилитель знакомым специалистам для вынесения окончательного вердикта.

В-третьих, цена современного усилителя связана с себестоимостью комплектующих весьма условно — определяясь в основном объемом производства данного изделия и «раскрученностью» фирмы. Кроме того, в цену входят: стоимость доставки, таможенная пошлина, наценка магазина (либо алчность продавца-частника).

В-четвертых, при выборе между однотактным и двухтактным усилителями одной ценовой категории необходимо помнить, что для первых потребуется более чувствительная (и более дорогая) акустика.

В-пятых, постарайтесь сначала взять усилитель под залог для прослушивания в домашних условиях на 2—3 дня!

Дополнительно можно порекомендовать следующие статьи:

http://www.classicaudio.ru/static.php?type=articles_arch_iv

http://www.classicaudio.ru/static.php?type=articles_arch_v

Глава 6

Обзор ресурсов Интернет по ламповой Hi-Fi усилительной технике

Всемирная сеть Интернет содержит множество ресурсов, связанных с ламповой техникой. Автор надеется, что настоящая глава поможет читателям в поиске необходимой информации: справочников, схем и компьютерных программ.

Многопрофильные сайты

<http://www.klausmobile.narod.ru> — сайт Николая Онуфриева. Особое внимание следует обратить на ВАХ ламп <http://www.klausmobile.narod.ru/testerfiles/indexr.htm>, снятые автором сайта с помощью характериографа собственного изготовления http://www.klausmobile.narod.ru/projects/pr_02_kmtt_r.htm.

Также имеется небольшая библиотека (в т. ч. справочная) по ламповой тематике и раздел, посвященный авторским разработкам: усилителям мощности, винил-корректору и т. п. (представлены схемы с подробным описанием и фотографиями). Один из немногих сайтов, где представлен реально работающий цирклотрон:

http://www.klausmobile.narod.ru/projects/pr_01_mamont_r.htm.

<http://www.igdrassil.narod.ru/audio/index.html> — сайт Ивана Клубкова. Кладовая информации, почерпнутой из сети ФИДО:

- акустические системы (в т. ч. самодельные);
- схемы ламповых и транзисторных усилителей;
- полезные программы;
- методики доработки проигрывателей — виниловых и компакт-дисков;
- статьи и книги по расчету усилительных каскадов, акустике; справочники по лампам, силовым и выходным трансформаторам.

<http://www.next-power.net/next-tube/> — сайт Евгения Карпова. На сайте представлены:

- справочники по электронным лампам;
- модели электронных ламп для различных программных сред;
- авторские статьи, представляющие собой полноценные научные работы, касающиеся различных аспектов звуковоспроизведения и разработки аппаратуры. Автор рассматривает самые неожиданные вопросы: от влияния конденсаторов фильтра АС на звучание до моделирования ламповых каскадов. Выводы подкрепляются экспериментальными данными, полученными при помощи элитной измерительной аппаратуры;

- патенты разных лет и стран на изобретения в области звуко-техники;
- программы расчетов, в т. ч. выходных трансформаторов.

<http://www.metaleater.narod.ru> — сайт Михаила Торопкина. На сайте представлены:

- схемы ламповых усилителей;
- полезные программы;
- статьи по ламповой технике и акустике.

<http://www.audioworld.ru/> — сайт Натальи Хральцовой. На сайте представлены:

- схемы самодельных конструкций;
- статьи на тему высококачественного звуковоспроизведения;
- популярный форум — <http://www.dvdworld.ru/cgi-bin/audiobbbs.pl>.

<http://auto.hi-fi.ru/forum/16> — форум «Сделай сам» на коммерческом сайте <http://www.hi-fi.ru>. Хорошая возможность пообщаться с коллегами по хобби.

<http://tdsl.duncanamps.com/> — сайт Дункана Манро. На сайте представлены:

- схемы фирменных усилителей;
- бесплатная программа поиска информации по радиолампам TDSL (Tube Data Sheet Locator).

<http://www.tubecad.com/> — электронный журнал (редактор — Джон Броски). Большой архив статей, посвященных конструкциям ламповых усилителей. Подробно рассматриваются вопросы построения каскадов, различные нестандартные решения.

<http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/frank/vs.html> — сайт Фрэнка Филиппса. Одна из крупнейших баз данных по электронным лампам, включая советские/российские.

При поиске данных следует учитывать различные варианты транслитерации. Например, лампа 6С17К-В (кириллица) может быть представлена в следующих вариантах: 6S17K-V или 6C17K-B (латиница).

<http://www.vestnikara.fromru.com/> — официальный сайт журнала «Вестник АРА». На сайте представлены:

- статьи по ламповой технике;
- схемы ламповых усилителей;
- справочная информация;
- методики расчетов.

Специализированные сайты

<http://astral-for.narod.ru/index/tubes.htm> — сайт Владимира Ульянова. На сайте представлены схемы ламповых винил-корректоров.

<http://melhuish.org/audio/index.html> — сайт Джеймса Мелхиша. На сайте представлены конструкции АС на широкополосных динамических головках.

<http://zeuslab.narod.ru> — сайт Александра Петровского. На сайте представлены схемы ЦАП (DAC).

<http://www10.big.or.jp/~dh/> — сайт клуба японских аудиофилов. На сайте представлены бескомпромиссные схемы ламповых усилителей и винил-корректоров С. Сакумы.

http://www.audionova.nu/Innehall/audionova_DIY_fr.htm — крупнейшая библиотека ссылок на ресурсы, посвященные высококачественному звуковоспроизведению.

Магазины радиодеталей, звуковоспроизводящей аппаратуры и сопутствующих товаров

www.audioinstr.h1.ru — фирма «Аудиоинструмент», Москва. В ассортименте фирмы:

- выходные, межкаскадные и силовые трансформаторы;
- отечественные радиолампы.

Возможна почтовая доставка по России.

http://www.glass-ware.com/Audio_Software_Descriptions.html — фирма «GlassWare», США. На сайте представлены программы моделирования ламповых каскадов, в т. ч. SE Amp CAD и Tube CAD.

<http://z-audio.ru> — фирма «Z-Audio», Москва. В ассортименте фирмы:

- импортные радиолампы;
- новая и винтажная аудиоаппаратура;
- выходные трансформаторы;
- продукция фирмы «Fostex»;
- трансформаторы ведущих японских производителей «Tango», «James», «Hashimoto».

<http://www.kogerer.ru> — фирма «Когерер», Москва. В ассортименте фирмы:

- новая и винтажная аудиоаппаратура;
- импортные радиолампы;
- трансформаторы «Tango», «Hashimoto», «Tamura».

<http://foto.mail.ru/inbox/sv5555/1/?page=1>

- комплектующие и винтажная техника из Европы.

Доски объявлений

<http://classicaudio.ru/phpbb/viewforum.php?f=1>

<http://www.hi-fi.ru/auctions/>

<http://www.audioworld.ru/cgi-bin/barahol/barahol.pl>

Приложения

- 1** Определение параметров пентодов в триодном включении
- 2** SE Amp CAD — программа моделирования выходных каскадов одноктактных усилителей
- 3** Программа расчета блоков питания
- 4** Принципы расчета и конструирования выходного трансформатора
- 5** Примеры конструкций выходных трансформаторов
- 6** Ламповый калейдоскоп

Приложение 1

Определение параметров пентодов в триодном включении

Пентоды и лучевые тетроды в триодном включении обладают впечатляющими характеристиками и могут быть рекомендованы для звукоусиления. Вместе с тем, параметры таких псевдотриодов крайне редко встречаются в справочной литературе.

Предлагаемые формулы позволяют радиолюбителям самостоятельно определить крутизну характеристики, коэффициент усиления и внутреннее сопротивление пентодов в триодном включении [13].

Некоторые ограничения:

- погрешность до 20 %;
- анодное напряжение не должно превышать допустимого напряжения на второй сетке;
- напряжение на экранной (третьей) сетке и величина смещения на первой сетке должны соответствовать рекомендуемым для пентода.

Предлагается следующая методика.

1. Выбираем пентод, который планируем использовать в выходном каскаде.
2. Отмечаем величину напряжения второй сетки на имеющихся анодных ВАХ.
3. Принимаем отмеченную величину напряжения второй сетки за анодное напряжение псевдотриода (ограничение модели плюс безопасность режима).
4. Смещение триода в данной модели выбираем равным смещению пентода.

5. Параметры пентода (при выбранном смещении) подставляем в формулы, приведенные ниже.
6. Если определение параметров пентода при выбранном смещении вызывает сложности, то действуем противоположно п. 5, т. е. берем параметры пентода из справочника, указанные для конкретного смещения.

Крутизна характеристики псевдотриода:

$$S_{\text{тр}} = \left(1 + \frac{I_{c2}}{I_a} \right) \cdot S,$$

где I_{c2} — ток второй сетки пентода при выбранных напряжениях;
 I_a — ток анода пентода при выбранных напряжениях;
 S — крутизна характеристики пентода при выбранных напряжениях.

Внутреннее сопротивление псевдотриода:

$$R_{i\text{тр}} = \frac{U_{c2}}{(I_a - S \cdot U_{c1}) \cdot \left(1 + \frac{I_{c2}}{I_a} \right)},$$

где U_{c2} — напряжение на второй сетке пентода;
 U_{c1} — напряжение на первой сетке пентода.

Коэффициент усиления псевдотриода:

$$\mu_{\text{тр}} = S \cdot \frac{U_{c2}}{(I_a - S \cdot U_{c1})}.$$

Приложение 2

SE Amp CAD — программа моделирования выходных каскадов однотактных усилителей

Для моделирования выходных каскадов весьма полезна программа SE Amp CAD фирмы GlassWare, обладающая целым рядом достоинств.

- Широкий выбор ламп (триоды и пентоды в триодном включении, см. рис. П2.1).
- Возможность выбора модели выходного трансформатора как из соответствующей библиотеки, так и по спецификации пользователя.
- Наглядность представления результатов (рис. П2.2, рис. П2.3).
- Моделирование выходных каскадов с параллельным включением ламп.
- Фиксированное и автоматическое смещение — по выбору.
- Режим проверки (меню «Tools», вкладка «Circuit Evaluation») позволяет автоматически найти и исправить (по желанию пользователя) наиболее грубые ошибки, такие, как превышение предельно допустимых величин.
- Подробный отчет о результатах (см. рис. 2.39).
- Точное соответствие параметрам реальных каскадов.
- Большинство ламп (не говоря о 6С33С, SV811, SV572!) имеет отечественные аналоги либо выпускается в России.
- Простота использования.
- Программа вполне доступна (цена — около \$30).

Разумеется, модель имеет свои ограничения — встроенные ВАХ соответствуют фирменным спецификациям, которые могут отличаться от реальных; не учитывается влияние драйвера; не рассматривается работа в классе А2.

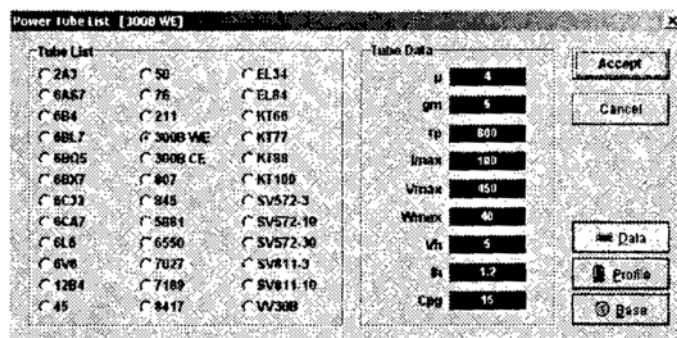


Рис. П2.1. Ламповая библиотека

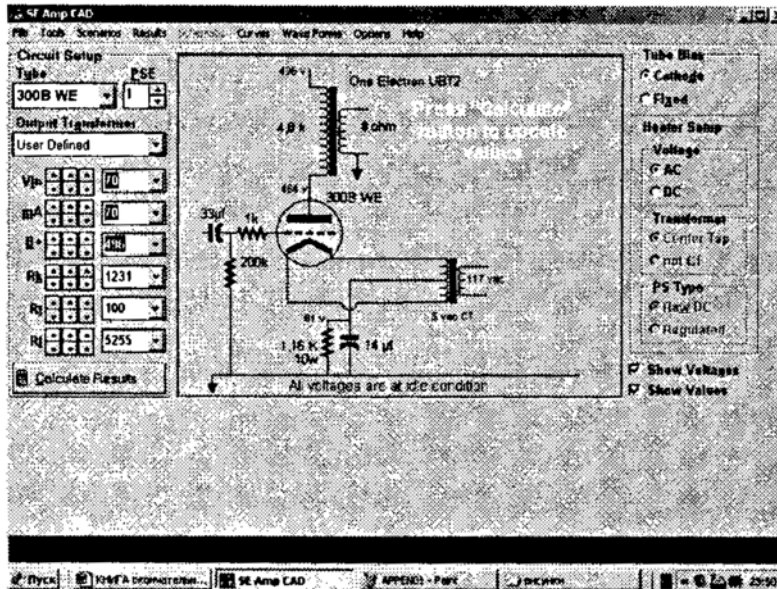


Рис. П2.2. Пример постановки задачи

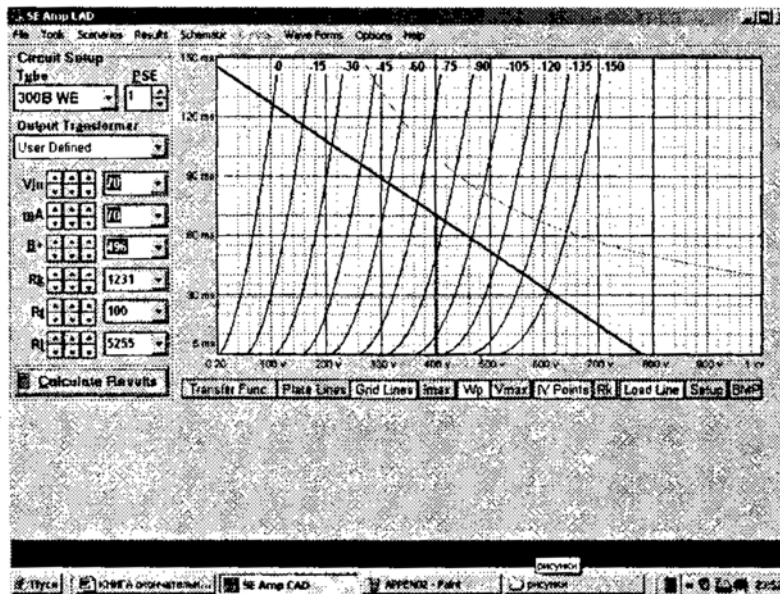


Рис. П2.3. Пример графического представления

Подробное описание программы доступно на сайте разработчика по адресу www.glass-ware.com/seampcad/.

Приложение 3

Программа расчета блоков питания

При расчете источников питания (в том числе ламповых) рекомендуем воспользоваться программой PSU Designer, разработанной Дунканом Манро (Duncan Munro). К достоинствам программы следует отнести простоту использования, возможность моделирования (рис. ПЗ.1) и, что немаловажно, бесплатное распространение. Скачать программу можно по адресу www.duncanamps.com.

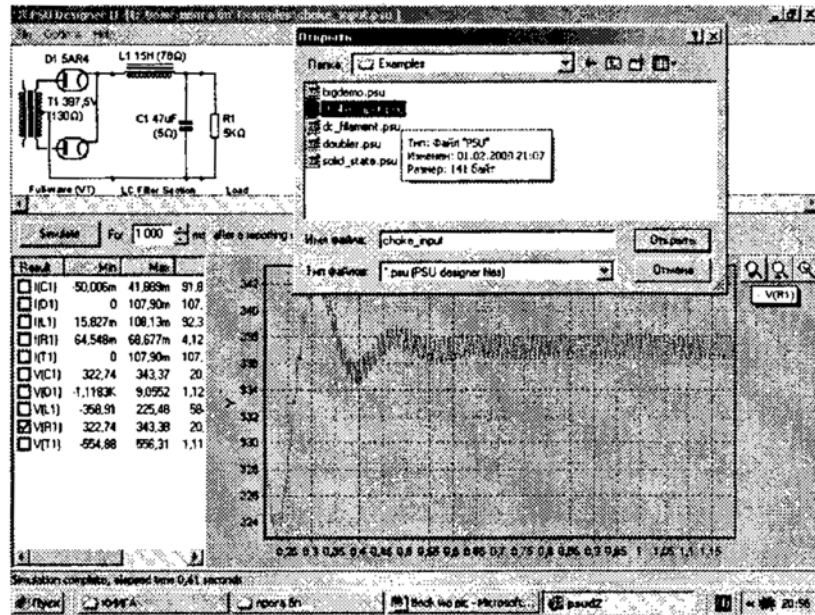


Рис. ПЗ.1. Пример моделирования

Приложение 4

Принципы расчета и конструирования выходного трансформатора

Примечание. Объем и назначение книги не позволяют полностью изложить теорию расчета выходного трансформатора, поэтому автор ограничил рассмотрение данного вопроса основными положениями.

В Интернете имеются соответствующие ресурсы, в основном представляющие собой книги и статьи середины прошлого века, которые можно условно разделить на две группы: полноценные научные труды (работы Г. С. Цыкина и Г. В. Войшвилло) и упрощенные методики для радиолюбителей. И если использование материалов первой группы зачастую затруднено отсутствием у радиолюбителей должной физико-математической подготовки, то вторая группа базируется на весьма приближенных расчетных формулах и усредненных параметрах магнитопроводов.

Кроме того, обе группы — продукт своей эпохи: одним из основных критериев трансформатора являлась минимальная стоимость, а представления о качественных параметрах существенно отличались от современных (например, о диапазоне воспроизводимых частот 20...20000 Гц по уровню -1 дБ не могло быть и речи).

Специально для данной книги автор разработал методику, не содержащую громоздких формул и сложной теории (хотя и базирующуюся на них), но позволяющую рассчитать и изготовить высококачественный трансформатор.

Ограничения модели:

- трансформатор работает на активную нагрузку, т. е. не учитывается влияние емкости и индуктивности (АС, головных телефонов), тем более последняя может быть компенсирована, например цепочкой Цобеля-Буше;
- предполагается, что марка трансформаторной стали неизвестна, тем более, что свойства стали одной марки, но разных изготовителей (и даже разных партий одного изготовителя) могут иметь значительный разброс. Кроме того, существенное влияние на параметры магнитопроводов оказывает и последующая обработка: штамповка, отжиг и т. п.

Трансформатор «незримо присутствовал» в расчетах лампового каскада в виде сопротивления анодной нагрузки R_a , т. е. величины, выбираемой разработчиком исходя из значения внутреннего сопротивления лампы R_i . Для триода обычно рекомендуется следующий диапазон: $R_a = (3...5)R_i$ как компромисс между отдаваемой в нагрузку мощностью и уровнем нелинейных искажений. Ранее отмечалось, что по переменному току R_a и R_i соединены параллельно, т. е. вместо R_a необходимо использовать эквивалентное сопротивление $R_э$:

$$R_э = \frac{R_a \cdot R_i}{R_a + R_i}$$

без учета активного сопротивления первичной обмотки трансформатора r_1 . На практике желательно, чтобы r_1 не превышало $(0,1...0,2)R_a$, в противном случае существенная мощность будет выделяться в виде тепла, а при невысоком значении индуктивности первичной обмотки увеличится завал в области низких частот, т. к. активное сопротивление становится сопоставимым с реактивным.

Из курса общей физики известно, что сопротивление обмотки трансформатора переменному току

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L,$$

где f — частота,

L — индуктивность.

Величина X_L в рассматриваемом случае (с учетом того, что r_1 много меньше R_a) равна $R_э$, т. е.

$$R_э = 2\pi \cdot f \cdot L$$

или (поскольку $R_э$ легко найти для заданного R_a)

$$L = \frac{R_э}{2\pi \cdot f}.$$

Применительно к расчету выходного трансформатора последняя формула принимает вид [14]:

$$L_1 = \frac{R_э}{2\pi \cdot f_H},$$

где L_1 — индуктивность первичной обмотки, Гн;

f_H — нижняя граничная частота, Гц;

$R_э$ — эквивалентное сопротивление, Ом.

Однако эта формула носит весьма приближенный характер, не учитывая частотных искажений M_n . Приведем уточненную формулу:

$$L_1 = \frac{R_3}{2\pi \cdot f_n \sqrt{M_n^2 - 1}},$$

где M_n — коэффициент частотных искажений, выраженный в размах (не в децибелах!) [15].

Заметим, что искажениям (завалу) на -3 дБ соответствует $M_n = 1,4125$. Если подставить это значение в формулу, то получим

$$L_1 = \frac{R_3}{2\pi \cdot f_n \sqrt{1,4125^2 - 1}} = \frac{R_3}{2\pi \cdot f_n \cdot 0,995},$$

т. е. получаем приближенную формулу

$$L_1 = \frac{R_3}{2\pi \cdot f_n}.$$

Для уровня -1 дБ $M_n = 1,122$; получаем

$$L_1 = \frac{R_3}{2\pi \cdot f_n \sqrt{1,122^2 - 1}} = \frac{R_3}{2\pi \cdot f_n \cdot 0,508}$$

или примерно следующее — существенная разница:

$$L_1 = \frac{R_3}{\pi \cdot f_n}$$

Все перечисленное выше относилось к нижней границе воспроизводимых частот f_n , далее следует сформулировать требования к верхней границе — f_v .

Реактивное сопротивление на высоких частотах достаточно велико, поэтому требования к величине L_1 выполняются. Ограничение вызвано т. н. индуктивностью рассеяния (L_S) — паразитным параметром, вызванным взаимодействием магнитных полей обмоток вне магнитопровода:

$$L_S = \frac{R_3 \cdot \sqrt{M_v^2 - 1}}{2\pi \cdot f_v},$$

где M_v — коэффициент частотных искажений, разы,
 f_v — верхняя граничная частота.

Для удобства оценки L_s используют коэффициент рассеяния $\delta = L_s / L_1$.

Значения Θ находятся в пределах 0,003...0,007: значения ниже 0,003 сложно реализовать в трансформаторах со стальными магнитопроводами, а значения выше 0,007 приведут к значительным искажениям. К сожалению, точной формулы для расчета L_s не существует. В качестве оценочной можно предложить следующую формулу:

$$L_s = (1/K^2) \cdot \mu \cdot N_1 \cdot (l_c/\omega) \cdot (\delta + \Sigma\Delta/3),$$

где K — суммарное количество секций первичной и вторичной обмоток, уменьшенное на единицу;

$$\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7};$$

N_1 — количество витков первичной обмотки;

l_c — средняя длина магнитной силовой линии;

ω — ширина намотки;

δ — толщина межсекционной изоляции;

$\Sigma\Delta$ — суммарная толщина всех обмоток по меди [16].

Получив расчетное значение L_1 , можно переходить к выбору магнитопровода. Прежде всего, определим пригодность имеющегося сердечника по условию

$$V_{ст} \geq \frac{10}{L_1} \cdot \left(\frac{U_1 \cdot 10^4}{f_H \cdot B_{\max}} \right)^2, \text{ см}^3,$$

где $V_{ст}$ — активный объем стали,

U_1 — амплитуда напряжения на зажимах первичной обмотки,

B_{\max} — максимальная амплитуда магнитной индукции, Гс
(1 Гс = 10^{-4} Тл) [17].

Существуют и более простые, но менее точные оценочные формулы. Объем сердечника на 1 Вт выходной мощности усилителя $\geq 1...3$ дюйм³:

$$V_{ст} \geq 20 \cdot \sqrt{\frac{P_a}{f_H}}.$$

Отметим, что $V_{ст} = S \cdot l_c$, где S — площадь сердечника, см², l_c — средняя длина магнитной силовой линии, см, определяемая из рис. П4.1:

$l_c = 2h + 2b + 0,5\pi u_1$ — для броневое сердечника;

$l_c = 2h + 2b + \pi u_1$ — для стержневого сердечника.

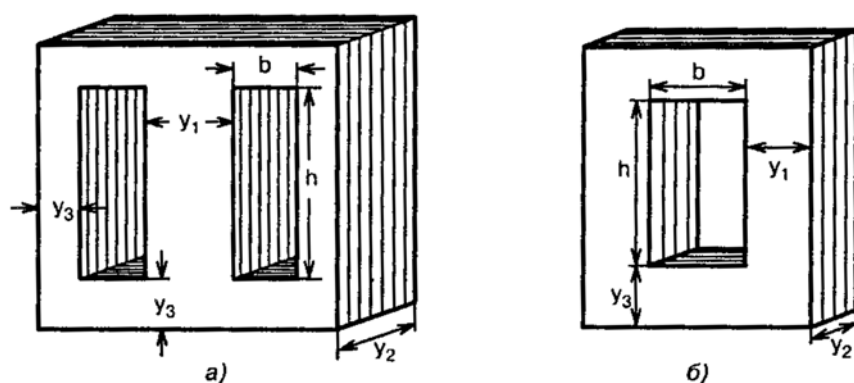


Рис. П4.1. Броневой (а) и стержневой (б) магнитопроводы

$B_{\text{макс}}$ следует выбирать в пределах 7000...8000 Гс для пластинчатых сердечников и 10000 Гс — для витых разрезных.

Напряжение на первичной обмотке

$$U_1 = \sqrt{P_a \cdot R_a},$$

где P_a — мощность, рассеиваемая анодом лампы в РТ.

Необходимое количество витков первичной обмотки N_1 при неизвестных параметрах трансформатора можно определить экспериментально. Для этого на каркас катушки наматывают внавал 100 витков (N_{100}) провода диаметром не менее 0,8 мм (чем больше, тем лучше — лишь бы вся обмотка поместилась на каркасе) и собирают сердечник встык (стягивать не нужно). Затем любым доступным способом (с помощью измерителя иммитанса — $R-L-C$ -метра, современного цифрового тестера, резонансным методом, измерением тока холостого хода) определяют индуктивность обмотки L_{100} . Количество витков первичной обмотки, необходимое для обеспечения величины индуктивности L_1 , определенной ранее, находим по формуле

$$N_1 = 100 \cdot \sqrt{\frac{L_1}{L_{100}}}.$$

Примечание. Расчет на неперевышение максимально допустимого значения индукции в магнитопроводе не производился, т. к. для маломощных трансформаторов (с выходной мощностью до 50 Вт) превысить это значение невозможно. В противном случае следует произвести проверку по формуле

$$N_1 \leq 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{U_1}{B_{\text{макс}} \cdot f_H \cdot S},$$

где $V_{\text{макс}}$ следует выбирать в пределах 7000...8000 Гс для пластинчатых сердечников и 10000 Гс — для витых разрезных.

Активное сопротивление обмоток находим по формуле

$$r_1 = 0,5 \cdot R_a \cdot (1 - \eta_{\text{тр}}),$$

где $\eta_{\text{тр}}$ — КПД трансформатора, принимаемый равным 0,85 (для трансформаторов мощностью до 30 Вт);

$$r_2 = r_1 \cdot n^2 \quad [14],$$

где n — коэффициент трансформации, определяемый по формуле

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{R_{\text{н}}}{R_a \cdot \eta_{\text{тр}}}}.$$

Диаметр провода (по меди) первичной обмотки

$$d_1 = 0,015 \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot l_0}{r_1}}, \text{ мм},$$

где l_0 — средняя длина витка:

$l_0 \approx 2y_1 + 2y_2 + 8\delta k + 2,5b$ (для броневого магнитопровода) и

$l_0 \approx 2y_1 + 2y_2 + 8\delta k + 1,1b$ (для стержневого магнитопровода),

где δk — толщина материала каркаса, мм [18].

Диаметр провода (по меди) вторичной обмотки

$$d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{n}}, \text{ мм}.$$

Если вторичная обмотка состоит из K параллельных секций, то

$$d_2 = \frac{d_2}{\sqrt{K}}, \text{ мм}.$$

Получив значения d_1, d_2, N_1, N_2 , можно переходить к проверке размещения обмоток в окне магнитопровода. Оптимальным является такое размещение, при котором и первичная, и вторичная обмотки укладываются в целое число слоев и полностью заполняют окно магнитопровода (для этого допустимо изменение числа витков и (или) диаметра провода в пределах 10 %). Толщину обмотки можно определить по формулам [18]

$$a_1 = (1,2...1,4) \cdot [p_1 \cdot d_{1i} + \delta_1 \cdot (p_1 - 1)],$$

$$a_2 = (1,2...1,4) \cdot [p_2 \cdot d_{2i} + \delta_2 \cdot (p_2 - 1)],$$

где p_1 и p_2 — число слоев первичной (1) и вторичной (2) обмоток;
 d_{1i} и d_{2i} — диаметры провода в изоляции;
 δ_1 и δ_2 — толщина межслоевой изоляции (обычно выбирают $\delta = 0,2d$, в пределах 0,01...0,15 мм).

Затем находят суммарное значение для всех обмоток:

$$a_c = a_1 + a_2 + \delta k + (\delta_{1c} + \delta_{2c}),$$

где δ_{1c} и δ_{2c} — суммарная толщина межслойной изоляции первичной и вторичной обмоток.

Если a_c находится в пределах $(0,7...0,95)b$ (броневой магнитопровод) и $(0,35...0,47)b$ (стержневой двухкатушечный), то все обмотки разместятся.

Магнитопровод трансформатора (в случае использования Ш-образных пластин) собирается встык. Величина немагнитного зазора для магнитопроводов любых типов подбирается экспериментально (обычно в пределах 0,05...0,25 мм) по максимальной выходной мощности и минимальных искажениях при половине номинальной мощности на нижней граничной частоте.

Примечание. Для снижения паразитных параметров следует применять секционирование обмоток, при этом:

- 1) общее количество секций должно быть нечетным;
- 2) крайние (внутренняя и наружная) секции должны принадлежать одной обмотке и иметь количество витков вдвое меньшее, чем во внутренних секциях этой обмотки;
- 3) общее количество секций не должно превышать 9;
- 4) обязательно использовать межслойную и межсекционную изоляцию расчетной толщины;
- 5) намотку производить виток к витку.

Уточнение результатов. Рекомендуется измерять значения L_{100} , вводя в магнитопровод зазор из бумаги толщиной 0,1 мм (при величине $I_a \leq 0...50$ мА), 0,15 мм ($I_a \leq 50...100$ мА), 0,2 мм ($I_a \leq 100...150$ мА) и 0,25 мм ($I_a \leq 150...200$ мА). После определения требуемой величины L_1 можно ввести подмагничивание постоянным током. Для этого наматывается обмотка, количество витков в которой обеспечивает расчетное значение L_1 (для простоты намотка производится внавал проводом не толще 0,2 мм), а поверх нее — 100-витковая обмотка. После сборки сердечника трансформатор вклю-

чается в готовый ламповый каскад, для которого он разрабатывался, и производится измерение L_{100} .

Внимание! Автор не рекомендует измерять L_{100} (в условиях подмагничивания) при помощи цифрового мультиметра, т. к. при плохой фильтрации анодного напряжения на 100-витковой обмотке появится переменное напряжение, что может привести к серьезной поломке прибора.

Безусловно, упрощенная методика расчетов, отсутствие необходимых навыков и, особенно, высококачественных материалов (прежде всего — сердечника) не позволят читателю сразу создать трансформатор экстракласса. Но не стоит комплексовать: ряд субъективных тестов показывает, что «безродные» трансформаторы порой переигрывают по звучанию своих именитых собратьев, да и объективные параметры последних нередко оказываются завышенными [19]. Удачи Вам!

В качестве альтернативы авторской методики рекомендуется простая, но хорошо зарекомендовавшая себя методика [20].

Принятые обозначения:

R_n — сопротивление нагрузки (звуковой катушки громкоговорителя), Ом;

R_a — приведенное сопротивление нагрузки в цепи анода, кОм;

R_{aa} — приведенное сопротивление нагрузки между анодами двухтактного каскада, кОм;

R_i — внутреннее сопротивление лампы в данном режиме, кОм;

P_n — мощность, отдаваемая в нагрузку, Вт;

I_0 — ток покоя лампы, мА;

Q_c — площадь сечения керна сердечника, см²;

Q_o — площадь окна сердечника, см²;

l_c — длина магнитной линии сердечника, см;

w_1 — число витков первичной обмотки;

w_2 — число витков вторичной обмотки;

n — коэффициент трансформации;

η — коэффициент полезного действия трансформатора (КПД);

L_1 — индуктивность первичной обмотки, Гн;

f_n — нижняя граничная частота, Гц;

M_n — коэффициент частотных искажений на этой частоте.

Если к вторичной обмотке выходного трансформатора, имеющего коэффициент трансформации (отношение числа витков вторичной обмотки к числу витков первичной обмотки) n , подключен громкоговоритель с сопротивлением звуковой катушки $R_{\text{н}}$, то первичная обмотка будет представлять собой для переменного тока сопротивление

$$R_{\text{а}} = \frac{R_{\text{н}}}{n^2 \cdot \eta}.$$

Это сопротивление называется сопротивлением нагрузки, приведенным к цепи первичной обмотки, или просто приведенным сопротивлением нагрузки. Оптимальная величина сопротивления нагрузки для ламп, работающих в определенном режиме, приводится в справочниках по лампам. Если же величина сопротивления нагрузки неизвестна, например, при работе лампы в режиме, отличающемся от рекомендованного, то ее можно определить ориентировочно в зависимости от внутреннего сопротивления лампы при этом режиме.

Расчет выходного трансформатора

При расчете должны быть заданы мощность, отдаваемая выходным каскадом нагрузке $P_{\text{н}}$, сопротивление нагрузки (громкоговорителя) $R_{\text{н}}$, оптимальное приведенное сопротивление для каскада $R_{\text{а}}$ или $R_{\text{аа}}$ или внутреннее сопротивление лампы $R_{\text{л}}$ в данном режиме, нижняя граничная частота $f_{\text{н}}$, коэффициент частотных искажений на этой частоте $M_{\text{н}}$ и величина тока покоя ламп I_0 .

Трансформатор для однотактного лампового каскада

Однотактные выходные каскады УЗЧ работают исключительно в режиме А, при этом через первичную обмотку трансформатора протекает ток покоя лампы, вызывающий постоянное подмагничивание сердечника; в результате магнитная проницаемость материала сердечника и индуктивность обмотки уменьшаются.

Оптимальное сопротивление нагрузки лампы можно определить по формуле $R_{\text{а}} = a \cdot R_{\text{л}}$, кОм; для триодов $a = 2...5$, для лучевых тетродов и пентодов $a = 0,07...0,15$.

Коэффициент трансформации

$$n = \frac{w_2}{w_1} = \sqrt{\frac{R_n}{R_a \cdot \eta}}.$$

Примечание. В тексте первоисточника [19] в формуле определения коэффициента трансформации имеется ошибка — лишний множитель 0,032; в настоящей книге эта ошибка исправлена.

КПД η трансформатора малой мощности может быть принят в пределах 0,55...0,8. Чем меньше мощность трансформатора, тем ниже его КПД.

Минимально возможное значение индуктивности первичной обмотки трансформатора, при котором коэффициент частотных искажений M_n на нижней граничной частоте f_n не превышает заданного, определяется по формуле

$$L_1 = 159 \cdot \frac{R_a}{f_n \cdot \sqrt{M_n^2 - 1}}, \text{ Гн.}$$

Примечание. 159 — приближенное значение частного $1000 / (2\pi)$; (в числителе формулы стоит 1000, т. к. R_a выражено в килоомах).

Если коэффициент усиления на частоте f_n падает до 0,707 (–3 дБ) от коэффициента усиления на средних частотах (что соответствует коэффициенту частотных искажений M_n , равному 1,4125), то

$$L_1 = 159 \cdot \frac{R_a}{f_n}, \text{ Гн.}$$

Сердечник трансформатора выбирается в зависимости от мощности. Размеры его определяют, исходя из условия

$$Q_c \cdot Q_o = A \cdot P_n, \text{ см}^4.$$

где $A = 10$ для триода; $A = 20$ для пентода и лучевого тетрода. Если в выходном каскаде применена отрицательная обратная связь, значение A уменьшается. При глубокой отрицательной обратной связи значение A берется в два раза меньше указанного.

С целью уменьшения габаритов трансформатора и экономии материалов рекомендуется принимать $Q_c \approx Q_o$; тогда

$$Q_c = \sqrt{A \cdot P_H}, \text{ см}^2.$$

Число витков первичной обмотки трансформатора из условия получения необходимой индуктивности обмотки

$$w_1 = D \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_c}{Q_c}}.$$

Значения коэффициента D в зависимости от величины индуктивности первичной обмотки и тока подмагничивания приведены в табл. П4.1.

Значения коэффициента D

Таблица П4.1

$L_1 \cdot l_0^2, \text{ Гн} \cdot \text{м}^2$	D
10^2	480
10^3	530
10^4	600
10^5	685

Амплитуда переменного напряжения на первичной обмотке

$$U_{M1} = \sqrt{2 \cdot P_H \cdot R_a}, \text{ В.}$$

Именно амплитудное значение напряжения; для среднеквадратичного (rms) коэффициент 2 отсутствует.

Максимальная индукция в сердечнике

$$B_{\text{макс}} = 2,25 \cdot 10^7 \cdot \frac{U_{M1}}{f_H \cdot Q_c \cdot w_1}, \text{ Гс.}$$

Если $B_{\text{макс}}$ больше 7000 Гс, число витков первичной обмотки определяется по формуле

$$w_1 = 3,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{U_{M1}}{f_H \cdot Q_c}.$$

Диаметр провода первичной обмотки

$$d_1 = 0,025 \cdot \sqrt{I_0}, \text{ мм.}$$

Число витков вторичной обмотки $w_2 = n \cdot w_1$.

Диаметр провода вторичной обмотки

$$d_2 = 0,8 \cdot \frac{d_1}{\sqrt{n}}, \text{ мм.}$$

Чтобы уменьшить влияние постоянного подмагничивания, сердечник трансформатора собирают с зазором; толщина прокладки зазора

$$d_3 = 0,62 \cdot 10^{-6} \cdot w_1 \cdot I_0, \text{ мм — для стали;}$$

$$d_3 = 1,16 \cdot 10^{-6} \cdot w_1 \cdot I_0, \text{ мм — для пермаллоя.}$$

Трансформатор для двухтактного лампового каскада

Двухтактные выходные каскады работают или в режиме *A*, или в режиме *AB*. Режим *B* ввиду больших нелинейных искажений применяется только в мощных усилителях (50 Вт и выше).

При режиме *A* оптимальное приведенное сопротивление нагрузки между анодами ламп равно $R_{aa} = 2R_a$ (R_a определяется как для однотактного каскада). При режиме *AB* величину R_{aa} находят в справочниках или определяют по характеристикам ламп.

Мощность в нагрузке равна удвоенной мощности, отдаваемой одной лампой. Число витков первичной обмотки равно

$$w_1 = 450 \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_c}{Q_c}}$$

для сердечника из трансформаторной стали;

$$w_1 = 200 \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot l_c}{Q_c}} \text{ —}$$

для сердечника из пермаллоя.

Отвод делается от середины обмотки. Остальной расчет выполняется по формулам, приведенным для однотактного каскада, R_a заменяется на R_{aa} . Пластины сердечника двухтактного трансформатора собирают вперекрышку без зазора.

Трансформатор для ультралинейного (сверхлинейного) каскада

Расчет трансформатора выполняется по формулам, приведенным для соответствующего одноконтного или двухконтного каскада.

Коэффициент $p = w_э / w_а$, показывающий отношение числа витков обмотки экранной сетки к числу витков анодной обмотки, выбирается в пределах 0,22...0,23 для ламп типа 6П1П и 6П6С и 0,42...0,45 для ламп типа 6П14П и 6ПЗС. Необходим подбор, для чего первичная обмотка выполняется с отводами.

Примеры конструкций выходных трансформаторов приведены в приложении 5; кроме того, методики и программы расчета выходных трансформаторов доступны на сайте автора этой книги: www.metaleater.narod.ru. Адрес электронной почты: metaleater@mail.ru.

Приложение 5

Примеры конструкций выходных трансформаторов

Конструкции трансформаторов из настоящего приложения могут быть использованы и с другими типами ламп, для которых приемлемы соответствующие значения R_a , I_a и мощности трансформатора.

Универсальный выходной трансформатор для однотактного каскада на лампе 300В и ГМ-70.

Разработчик — Манаков А. И.

Магнитопровод ШЛ50×40 (от трансформатора ОСМ1-0,63) с такими основными параметрами: площадь сердечника 20 см², окно 35×90 мм, с каркасом 31×85 мм, длина средней магнитной линии 330 мм, средняя длина витка 320 мм.

Параметры первичной обмотки:

$L = 16$ Гн, $I_a = 0,15...0,16$ А для лампы ГМ-70;

$L = 20$ Гн, $I_a = 0,09...0,10$ А для 300В.

Немагнитный зазор в магнитопроводе: для ГМ-70 — 0,3...0,32 мм, для 300В — 0,18...0,2 мм.

Электрическая схема

Первичная обмотка состоит из 4-х равных секций $1A$, $1B$, $1C$ и $1D$. Всего 3200 витков в 4-х одинаковых секциях по 800 витков провода диаметром $d_1 = 0,35...0,36$ мм (диаметр провода с изоляцией 0,4 мм).

Вторичная обмотка состоит из 5-и секций: секции $2A$, $2E$ по 75 витков каждая и секции $2B$, $2C$, $2D$ по 150 витков каждая. Секции $2A$ и $2E$ включены последовательно и подключены параллельно остальным секциям вторичной обмотки. Таким образом, вторичная обмотка имеет 4 параллельных секции по 150 витков. Все секции этой обмотки выполнены проводом диаметром $d_2 = 0,9$ мм (с изоляцией — 1,0 мм).

Схема намотки трансформатора, расположение выводов и схема их соединений приведены на рис. П5.1.

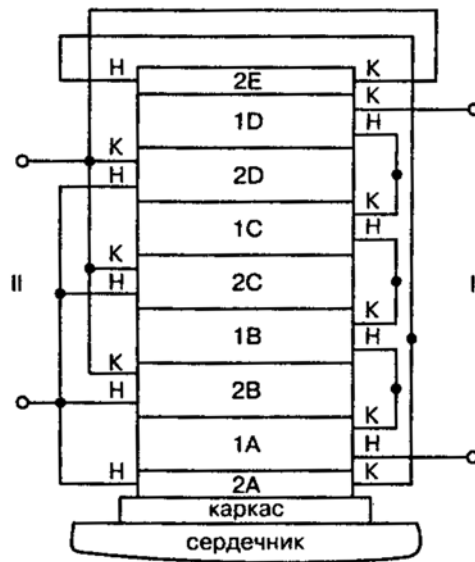


Рис. П5.1. Схема намотки и расположение выводов

**Универсальный выходной трансформатор для
однотактного каскада на лампе 2А3/6С4С/6В4G.
Разработчик — Манаков А. И.**

Магнитопровод Ш25×40, размер окна 62×100 мм. При сборке сердечника требуется обеспечить немагнитный зазор 0,15 мм.

Первичная обмотка трансформатора выполнена проводом диаметром 0,18 мм и состоит из четырех секций: первая — 500 витков, вторая и третья — по 1000 витков и последняя четвертая — 500 витков. Вторичная обмотка состоит из шести одинаковых секций по 150 витков в каждой, намотаны все секции вторичной обмотки проводом диаметром 0,45 мм. На рис. П5.2 приведена схема намотки трансформатора, расположение выводов обмоток (а) и схема соединения выводов для нагрузок сопротивлением 4...8 Ом и 16 Ом (б).

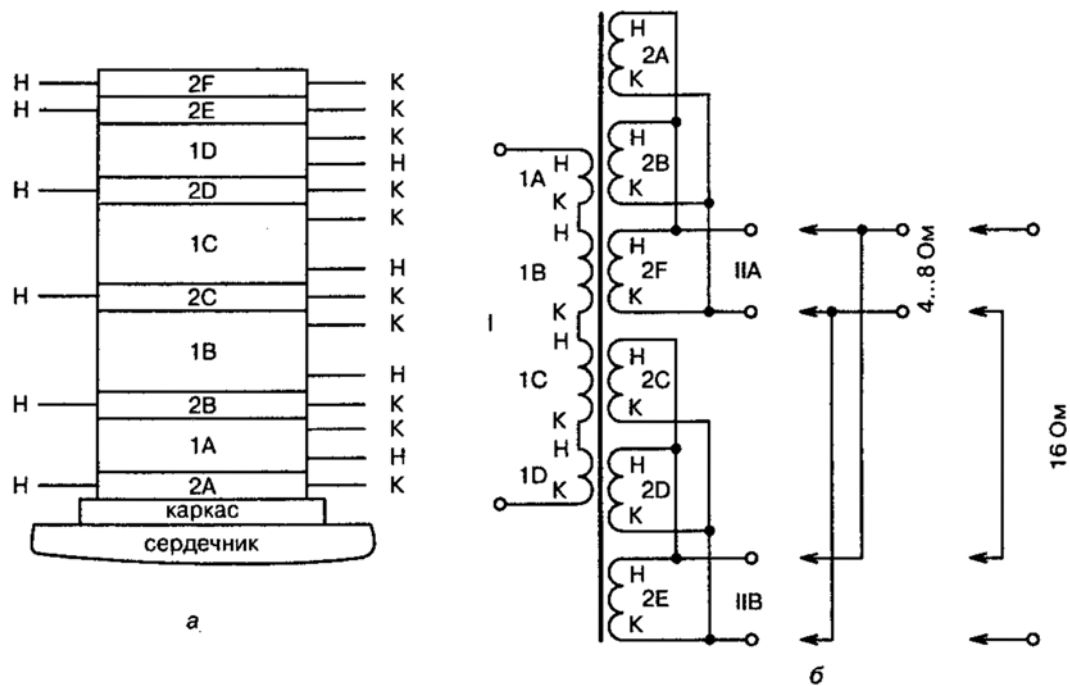


Рис. П5.2. Схема намотки, расположение выводов (а) и схема коммутации выводов (б)

Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6П45С в триодном включении. Разработчик — Манаков А. И.

Выходной трансформатор изготовлен на магнитопроводе от силового трансформатора кассового аппарата «ОКА». Его основные характеристики: мощность 200 Вт, железо ШЛ32×50. Зазор 0,2 мм.

Первичная обмотка трансформатора состоит из трех секций, включенных последовательно. Каждая секция первичной обмотки намотана проводом диаметром 0,3...0,31 мм и содержит 500 витков. Вторичная обмотка состоит из четырех секций. Каждая секция вторичной обмотки намотана проводом диаметром 0,53...0,55 мм и содержит 120 витков.

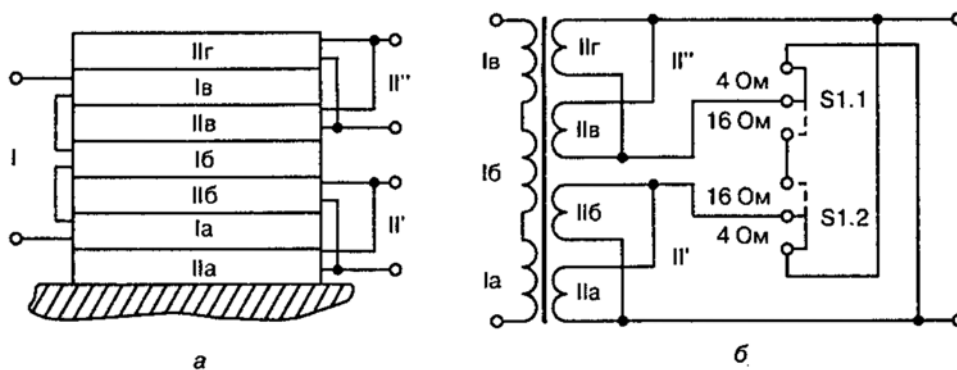


Рис. П5.3. Схема намотки, расположение выводов (а) и схема коммутации выводов (б)

На рис. П5.3 приведена схема намотки обмоток трансформатора (а) и схема соединения выводов трансформатора для нагрузок сопротивлением 4 Ом и 16 Ом (б).

Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на двух параллельных лампах 6С19П.

Разработчик — Манаков А. И.

Выходной трансформатор выполнен на магнитопроводе ШЛ32×50, зазор 0,3 мм.

Первичная обмотка трансформатора состоит из трех секций, включенных последовательно. Каждая секция первичной обмотки намотана проводом диаметром 0,3 мм и содержит 500 витков (или 550 витков проводом диаметром 0,33 мм). Вторичная обмотка состоит из четырех секций. Каждая секция вторичной обмотки намотана проводом диаметром 0,55 мм и содержит 140 витков.

На рис. П5.4 приведена схема намотки обмоток трансформатора (а) и схема соединения выводов трансформатора для нагрузок сопротивлением 4 Ом и 16 Ом (б).

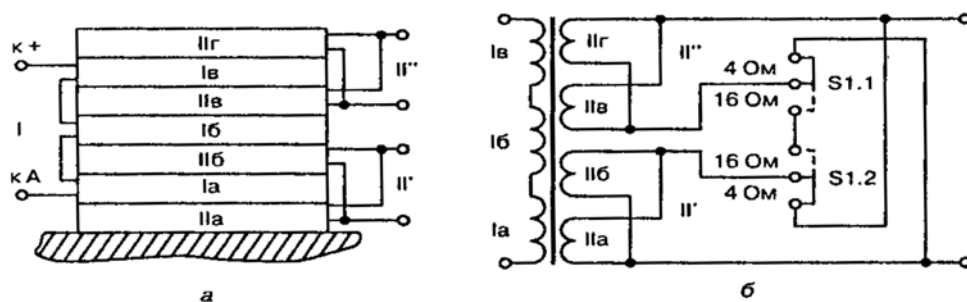


Рис. П5.4. Схема намотки, расположение выводов (а) и схема коммутации выводов (б)

Выходной трансформатор для усилителя «цирклотрон» на лампах 6П41С, 6П3С, EL34

(все в пентодном включении, по одной лампе в плече).

Разработчик — К. Вайсбейн

Трансформатор намотан на тороидальном магнитопроводе, выполненном из стальной ленты марки Э330 толщиной 0,35 мм и шириной 50 мм. Наружный диаметр тора 80 мм, внутренний — 50 мм. Обмотки разбиты на секции с целью снижения индуктивности рассеяния и получения высокой симметрии двух половин обмотки. Секции обмоток между собой соединены последовательно. Все

обмотки выполнены проводом ПЭВ-2. Намоточные данные трансформатора приведены в табл. П5.1.

Выходной трансформатор можно выполнить и на Ш-образном сердечнике сечением 7...8 см². Обмотки и в этом случае следует разбивать на секции.

Намоточные данные трансформатора

Таблица П5.1

Обмотка	Выводы	Диаметр провода, мм	Число витков
I	10—11	0,31	320
II	3—4	0,31	320
III	5—6—7—8—9	0,9	30+30+30+30
IV	1—2	0,31	320
V	12—13	0,31	320

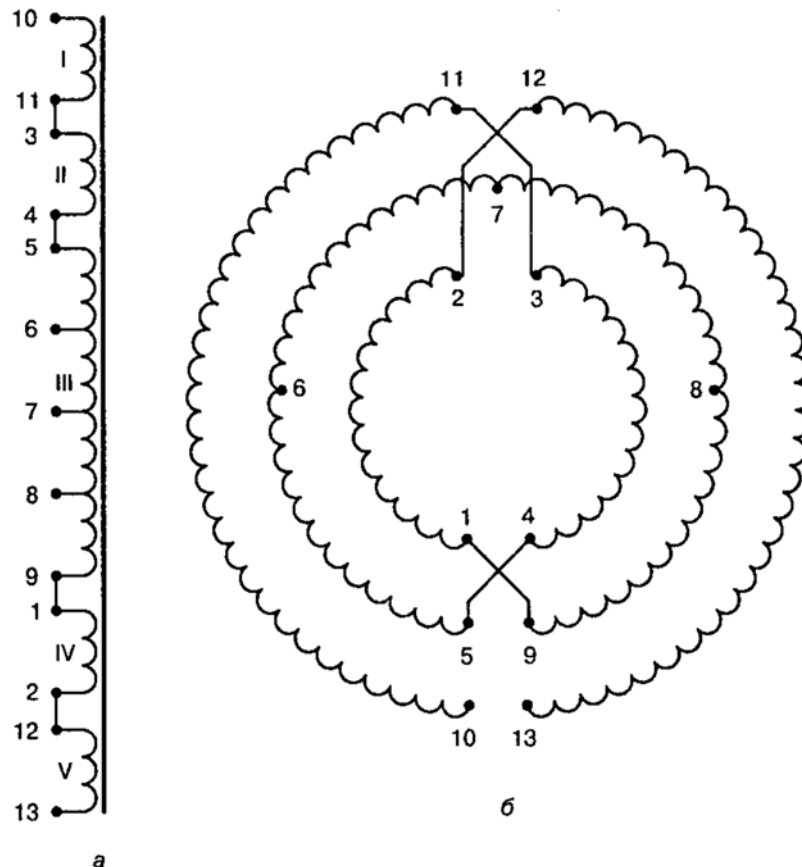


Рис. П5.5. Электрическая схема трансформатора (а) и схема расположения обмоток на магнитопроводе (б)

Примечание. Обмотка III выполняется в один слой и состоит всего из 120 витков с отводами через каждые 30 витков.

На рис. П5.5 приведена электрическая схема трансформатора и схема размещения обмоток на магнитопроводе.

Выходной трансформатор для двухтактного выходного каскада на лампах ГУ-50 (пентодное включение, по одной лампе в плече). Разработчик — А. Баев

Трансформатор выполнен на магнитопроводе Ш24×57, размер окна 24×60 мм. Основные данные обмоток этого трансформатора приведены в табл. П5.2, а схема расположения обмоток показана на рис. П5.6.

Намоточные данные трансформатора

Таблица П5.2

Выводы обмоток	Число витков	Провод: тип; диаметр, мм
1—2	20	ПЭВ-2; 1,25
3—4	1900	ПЭВ-2; 0,31
5—6	40	ПЭВ-2; 1,25
7—8	1900	ПЭВ-2; 0,31
9—10	20	ПЭВ-2; 1,25

Внимание! Данные вторичных обмоток соответствуют нагрузке сопротивлением 14 Ом.



Рис. П5.6. Схема расположения обмоток трансформатора

Выходной трансформатор для одноконтного выходного каскада на лампе 6550 (в триодном включении, $R_a = 2,7$ кОм). Разработчик — Андреев Д. А.

Трансформатор выполнен на магнитопроводе от промышленного трансформатора ОСМ-0,16.

Число витков первичной обмотки — 3600, диаметр провода — 0,315 мм.

Первая секция первичной обмотки содержит 600 витков, размещенных в четыре слоя, вторая секция — 750 витков в пяти слоях, третья секция — 900 витков в шести слоях, четвертая секция — 750 витков в пяти слоях, и пятая секция — 600 витков в четырех слоях.

Изоляция: межслойная — фторопласт 0,01 мм, межсекционная — 0,05 мм.

Вторичная обмотка состоит из четырех одинаковых секций. Каждая секция содержит 205 витков с отводом от 138 витка, выполнена проводом диаметром 0,45 мм. Все четыре секции включены параллельно.

На рис. П5.7 показана конструкция катушки трансформатора.

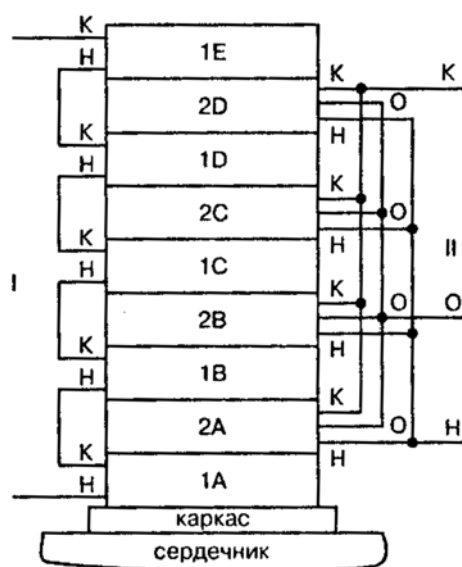


Рис. П5.7. Размещение секций обмоток в катушке трансформатора

Выходной трансформатор для одноконтурного выходного каскада на лампе 6П36С (в триодном включении).

Разработчик — Манаков А. И.

Выходной трансформатор выполняется на магнитопроводе от силового трансформатора ТС-180. Первичная обмотка содержит 2640 витков, провод диаметром 0,35 мм, всего шесть секций, по три секции (каждая по 440 витков) на каждой катушке, секция в 2 слоя, в слое 220 витков. Вторичная обмотка — 6 секций (по 3 секции на катушке) по 190 витков, провод диаметром 0,38 мм, все шесть сек-

ций соединены параллельно для нагрузки 8 Ом, для нагрузки 16 Ом — дополнительные две секции (по одной секции на катушке) по 90 витков проводом диаметром 0,7 мм, включаемых параллельно между собой и последовательно с обмоткой на 8 Ом.

Чередование секций на каждой катушке: II, I, II, I, II, I, III (отсчет от сердечника).

I — секция первичной обмотки, 440 витков (2 слоя по 220 витков).

II — секция вторичной обмотки, 190 витков (один слой) для нагрузки 8 Ом.

III — секция вторичной обмотки, 90 витков (один слой) для нагрузки 16 Ом.

В качестве межслойной изоляции используется конденсаторная бумага из конденсатора КБГ-МН, 6 мкФ × 600 В, межсекционной — та же бумага в два слоя. Зазор сердечника — 0,2 мм.

Приложение 6

Ламповый калейдоскоп

По просьбам читателей автор приводит краткий список ламп, рекомендуемых для использования в аудиотехнике высокого класса, но не вошедших в основные разделы настоящей книги вследствие ограниченного числа страниц. В то же время, простое перечисление типов ламп было бы характерным для краткого справочника, но не для настольного пособия любителю качественного звука, которой хотели бы видеть книгу автор и издатель. Поэтому упоминание радиоламп будет сопровождаться некоторыми рекомендациями по применению и ссылками на Интернет-ресурсы в помощь читателям, заинтересовавшимся конкретной лампой.

6Д22С — демпферный диод. Накал косвенный. Цоколь — Magnoval. Предназначался для работы в блоках строчной развертки телевизоров, что предопределило высочайшую надежность и долговечность. Электрические параметры также впечатляют:

- напряжение накала — 6,3 В;
- ток накала — 1,9 А;
- максимальное обратное напряжение (в импульсе) — 6 кВ;
- максимальный выпрямленный ток — 300 мА;
- напряжение между катодом и подогревателем (при отрицательном потенциале последнего) — 900 В;
- максимальная мощность, рассеиваемая на аноде — 8 Вт;
- внутреннее сопротивление — 330 Ом.

Лампа 6Д22С превосходит практически любой доступный кенотрон, а единственным ее недостатком является наличие одного диода в баллоне. Неудивительно, что 6Д22С включена в базу данных знаменитой программы моделирования источников питания PSU Designer II (доступна www.duncanamps.com). Моделирование 6Д22С в программе PSU Designer II представлено на **рис. П6.1**.

Прямых аналогов не имеет. В крайнем случае заменяется другими демпферными диодами: **6Д20П**, обладающим более скромными параметрами, либо похожим, но достаточно дефицитным **6Ц17С**.

Отметим, что звуковая сигнатура 6Д22С получает весьма полярные оценки на аудиофорумах (вероятно, по причине косвенного накала).

Пример использования 6Д22С в блоке питания лампового одноконтурного усилителя:

<http://www.vestnikara.fromru.com/vestn/n6/ga12.gif>

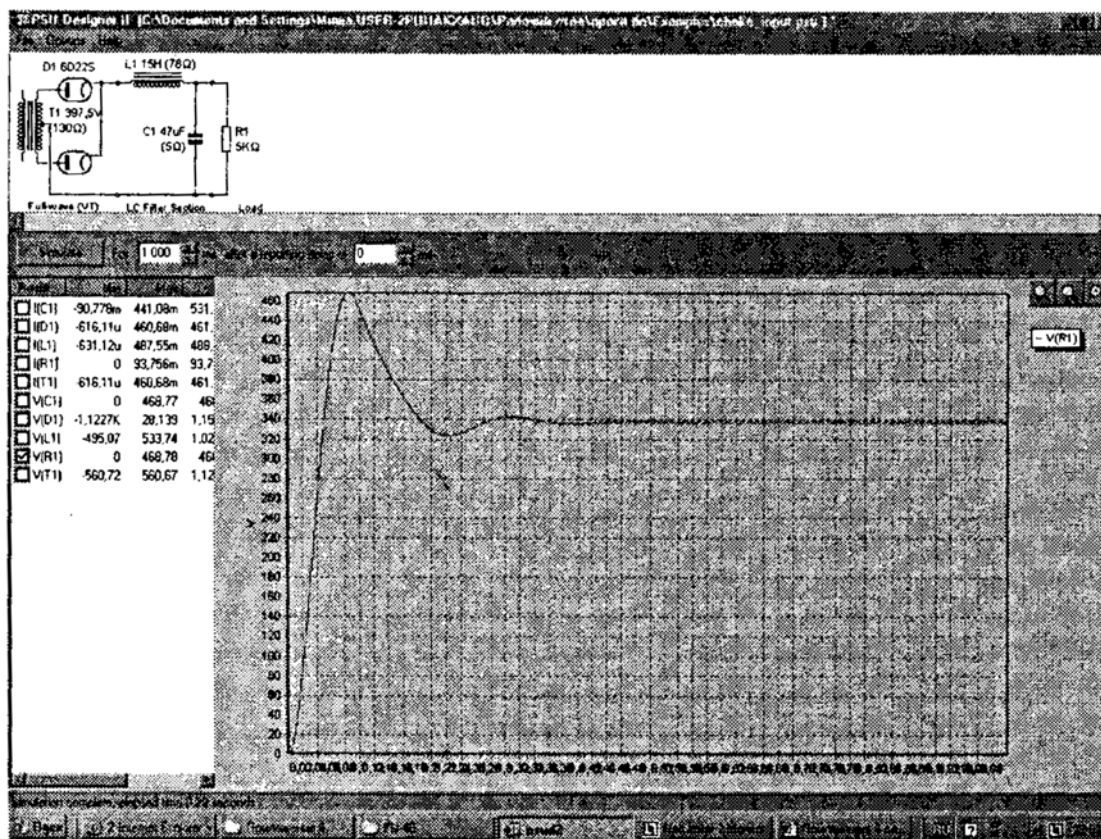


Рис. Пб.1. Моделирование 6D22C в программе PSU Designer II

ГУ-48 — генераторный триод. Накал — прямой, торированный, 10 В × 10 А! Оформление — бесцокольное. ГУ-48 обладает очень высоким статическим коэффициентом усиления (35) и большой мощностью. Является копией триода 833 американской фирмы RCA. Лампа упоминалась в первой главе настоящей книги как «непригодная» в звуковом применении вследствие высокого анодного напряжения (3000 В!). Однако автор изменил свою точку зрения, повторив несколько конструкций с использованием ГУ-48 в более скромных режимах, например:

<http://www.geocities.com/bobdanielak/se833nynoise.gif> (схема Боба Даниляка);

<http://www.geocities.com/bobdanielak/ps833nynoise.gif> (блок питания к ней).

Выходная мощность — 16 Вт на 10 кОм нагрузки. Рабочая точка выходной лампы: (650 В; 68 мА) при 0 В на сетке (класс А2). Можно реализовать и класс усиления А1: (840 В; 80 мА) при -10 В на сетке. Для удобства работы приводим ВАХ (рис. Пб.2).

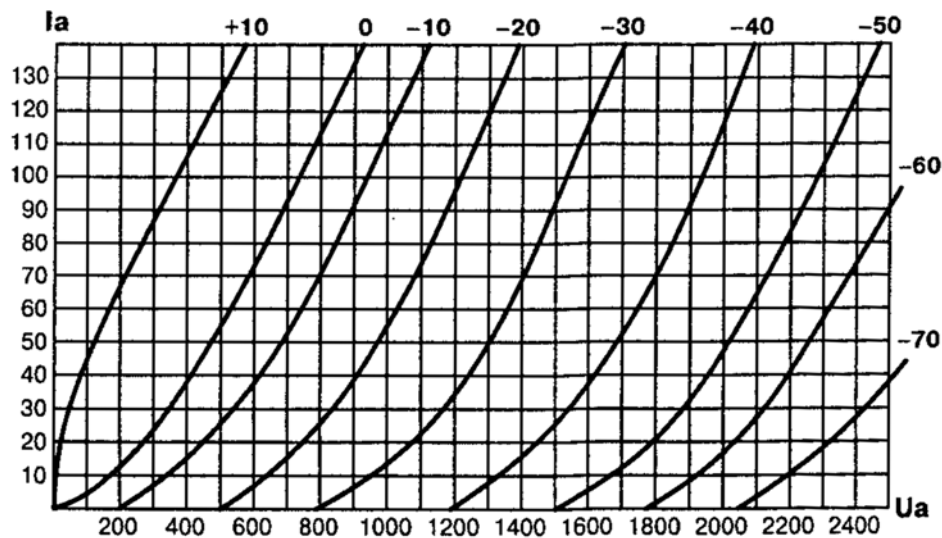


Рис. П6.2. ВАХ лампы ГУ-48

Благодаря программе SEAmrCAD стало возможным и моделирование однотактного выходного каскада на ГУ-48, так как в ламповой библиотеке данной программы имеется лампа SV572-30, ВАХ которой близка к ГУ-48 на соответствующем участке (рис. П6.3).

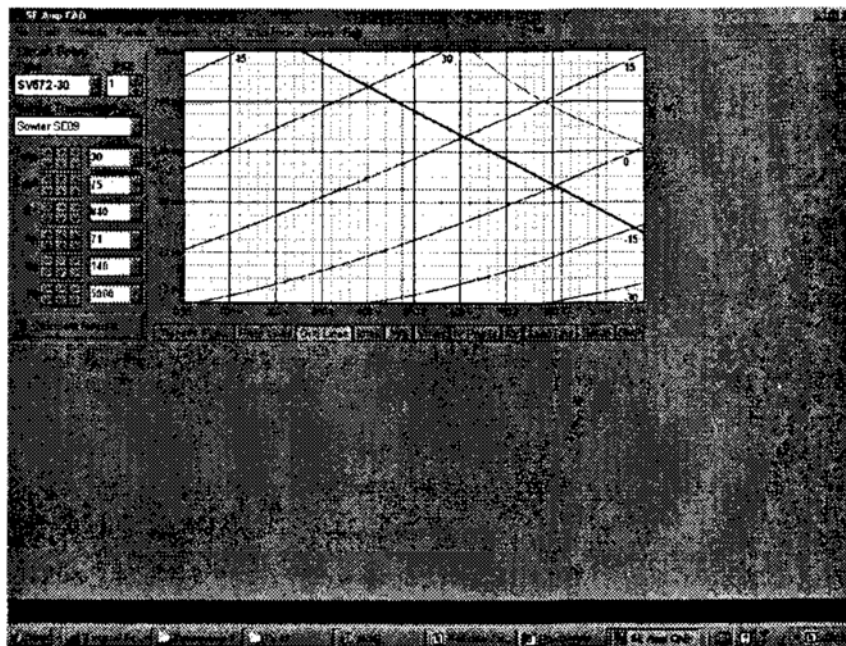


Рис. П6.3. Моделирование в программе SEAmrCAD

6Ж43П — пентод с двумя анодами. Лампа интересна своими параметрами в триодном включении (оба анода соединены параллельно): $\mu = 65$, $S = 40$ мА/В, $R_i = 1,4$ кОм, выходная мощность — до

2,5 Вт, позволяющими использовать ее в качестве миниоконечника (например, для хэдампа) или драйвером в трансформаторном каскаде. По звуковой сигнатуре (в триоде) лампа напоминает 6Э5П — одну из лучших российских/советских драйверных ламп косвенного накала. Имеет аналоги — 6Ж23П (практически полный) и пентодную часть лампы 6Ж43П (довольно близкий).

Лампа 6Ж43П очень надежна, что позволяет использовать ее в достаточно жестких режимах, например: (300 В; 30 мА) при $-4,5$ В на сетке; в подобных случаях желательно применять автоматическое или комбинированное смещение. В качестве стандартного можно порекомендовать следующий режим: (200—240 В; 30—35 мА) при -3 В на сетке (батареиное смещение), чего (вкуче с межкаскадным трансформатором 1:1,4) будет достаточно для раскачки лампы 300В.

6Н30П — двойной триод. Лампа, родственная 6Н6П, но отличается вдвое меньшим внутренним сопротивлением. Сравнительные ВАХ обеих ламп, снятые Николаем Онуфриевым (<http://www.klausmobile.narod.ru>), приведены на **рис. П6.4**.

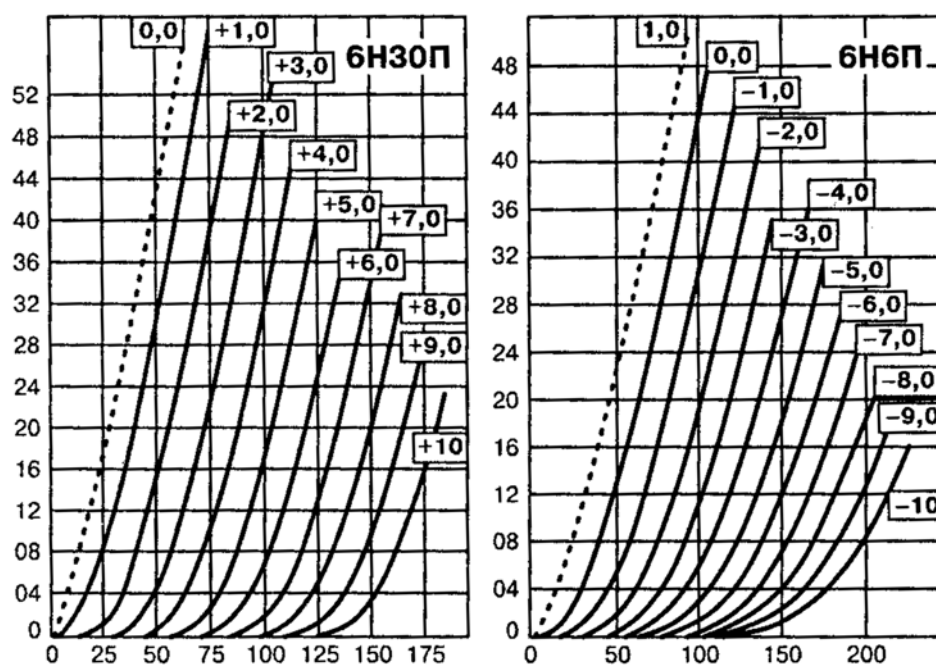


Рис. П6.4. Сравнительные ВАХ ламп 6Н6П и 6Н30П

Малое внутреннее сопротивление при неплохом раскрытии характеристик позволяет успешно применять лампу, например, на выходе предусилителя-корректора **рис. П6.5**.

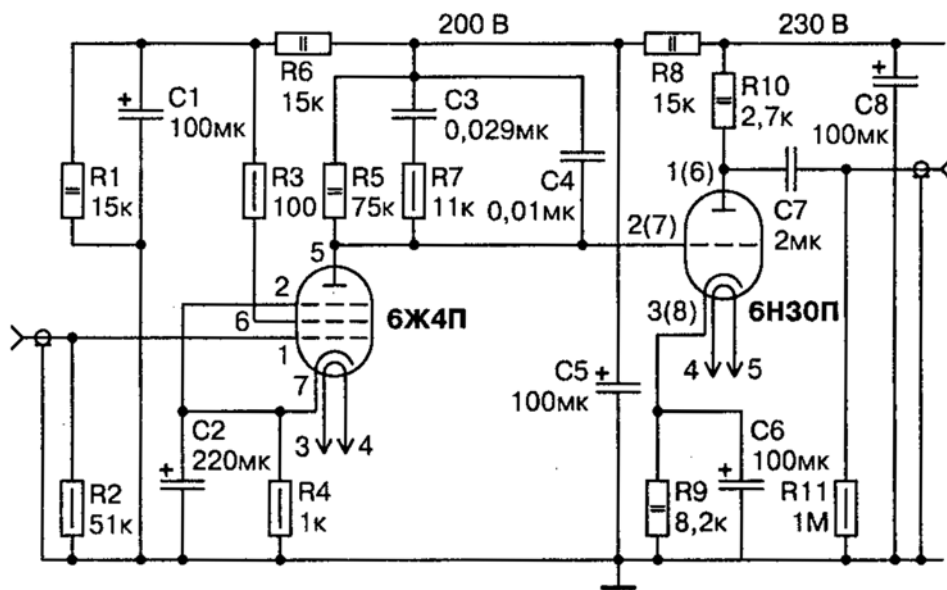


Рис. П6.5 «Народный корректор» Евгения Комиссарова (фрагмент схемы)

Все же решения, подобные рис. П6.5 или http://astral-for.narod.ru/index/tubes/prhrz_pre_riaa_mm5.jpg (разработчик — Владимир Ульянов), отдают по мнению автора книги некоторой натушностью. Возможная причина использования 6Н30П указанными разработчиками кроется в следовании принципам Сакумы и других японских гуру, предпочитающих лампы со средними значениями μ и S , но обладающими широким раскрытием ВАХ. Разумеется, даже спорная по звуковой сигнатуре 6Н30П лучше, чем, например, 6Н1П в усиленном SRPP (при равном выходном сопротивлении). Однако в целях достижения усиления выходного каскада, аналогичного рис. П6.5 (т.е. 11), можно применить псевдотриод 6Ж43П совместно с трансформатором ($K_{тр} = 5:1$), что позволит получить выходное сопротивление на порядок меньшей величины! В этом случае не мешает даже малый раскрыв ВАХ 6Ж43П, вследствие ослабленного (цепью коррекции) на 20 дБ сигнала с выхода первого каскада корректора.

Единственным недостатком последнего варианта является сравнительно высокая цена, но применительно к подходу Сакумы и Ко, — это скорее «продолжение достоинств». Отметим, что SRPP и непосредственная связь между каскадами использовались лишь

в ранних разработках Сакумы, в последствии отказавшегося от подобной схемотехники.

Еще один прием японских гуру — использование ламп со средним μ на деле нередко приводил их последователей к переходу на трехкаскадное построение схем усилителей там, где довольно и двухкаскадного (используя лампу с высоким μ). Ущербность такой схемотехники очевидна — дополнительный каскад явно не улучшает звучание усилителя в целом, но порой это единственный разумный вариант (например, при раскачке выходных ламп, работающих в классе А2). Слепое подражание гуру толкает некоторых разработчиков на применение трехкаскадных схем даже для раскачки левых триодов.

Не стоит заикливаться и на получении больших мощностей, особенно в одноканальных усилителях — 20, 50 и даже 100 Вт монстры строились явно не для того, чтобы приятно удивить своим звучанием.

Коммерческая направленность некоторых «бескомпромиссных» изделий выявляет интересные нюансы: в промышленных аппаратах (в т.ч. самых дорогостоящих) нечасто встречается фиксированное смещение, не говоря о его батарейном варианте! Оно и понятно: трудно убедить потенциального покупателя приобрести усилитель, в котором что-то нужно периодически проверять, подкручивать и заменять.

Смысл сего «лирического отступления» в том, чтобы убедить читателя в необходимости объективно оценивать те или иные решения, а по возможности, проверять их на практике и пытаться найти свой звук.

Удачи Вам!

Список литературы

1. Д. С. Гурлев. Справочник по электронным приборам. — К.: Техніка, 1966.
2. Г. С. Гендин. Высококачественные любительские усилители низкой частоты. — М.: Энергия, 1968.
3. А. Фрунджян. Акробатика ламповых каскадов // Class A. — 1997, февраль.
4. С. Симулкин. Ламповый калейдоскоп // Радиолюбби. — 2003. — №4. — С. 53.
5. Н. Трошкин. Триод из подручных материалов // Class A. — 1997, октябрь.
6. Н. Трошкин. Фазоинверторы // Class A. — 1997, апрель.
7. А. Белканов. Life in a Vacuum // Вестник А.Р.А. — №1.
8. А. Белканов. Life in a Vacuum // Вестник А.Р.А. — №6.
9. Дайджест зарубежной периодики // Радиолюбби. — 2001. — №5. — С. 15.
10. В. Коновалов. Рупор читателя. Из Иркутска о ГМ-70 // Вестник А.Р.А. — №4.
11. Г. В. Войшвилло. Руководство по проектированию усилителей звуковой частоты. — Л.: ЛЭИС, 1958.
12. Дайджест зарубежной периодики // Радиолюбби. — 1999. — №4. — С. 13.
13. В. Брускин. Определение параметров пентодов в триодном включении // Радио. — 1959. — №2. — С. 32.
14. Г. С. Гендин. Высококачественные усилители низкой частоты. — М.: Радио и связь, 1997.
15. Г. С. Цыкин. Трансформаторы низкой частоты. — М.: Связьиздат, 1955.
16. NATHAN R. GROSSNER. Transformers for electronic circuits. McGraw-Hill book company. New York.
17. Д. Андронников. Выходной трансформатор — почти просто, но не дешево / http://lynx-audio.h1.ru/state/trans/adv_trans.htm.
18. Г. С. Цыкин. Усилители электрических сигналов. Изд. 2-е, переработ. — М.: Энергия, 1969.
19. АудиоМагазин. 1998. №1. Статья доступна на сайте: http://www.igdrasil.narod.ru/audio/tips/trans_selection.djvu.
20. В твой альбом. Выходные трансформаторы НЧ // Радио. — 1967. — №3. — С. 49.

VISATON

ДИНАМИКИ КОМПОНЕНТЫ КОНСТРУКТОРЫ



W W W . a v c . r u

официальный дистрибьютор

АВ·Центр

С-Петербург, тел.(812) 325-07-76,

Москва, тел.(495) 230-63-82, e-mail: order@avc.ru