

Торопкин М. В. Андреев Д. А.

ЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

СВОИМИ РУКАМИ

Элементная база XXI века



Торопкин М. В.

Андреев Д. А.

ЛАМПОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ СВОИМИ РУКАМИ

Элементная база XXI века



Наука и Техника, Санкт-Петербург
2016

Торопкин М. В., Андреев Д. А.

Ламповый усилитель своими руками. Элементная база XXI века. — СПб.: Наука и Техника, 2016. — 288 с.

ISBN 978-5-94387-865-7

Книга является современным справочником по ламповой схемотехнике и электронным лампам XXI века выпуска, применяемым в аппаратуре высококачественного звукоусиления. Подробное руководство по конструированию усилительных каскадов сопровождается обзором наиболее интересных схемотехнических решений.

Собрана и систематизирована информация о наиболее популярных современных радиолампах, разработанных (или применимых) для использования в звукоусилении. Приводятся данные о цоколевках, электрические параметры, вольтамперные характеристики (ВАХ) радиоламп, рекомендации по их применению, включая различные схемы построения ламповых каскадов и аппаратуры звукоусиления.

Интересны методики расчета и создания готовых конструкций выходных трансформаторов. Ряд трансформаторов разработан и воплощен в опытных образцах с последующим тестированием специально для читателей этой книги!

Книга поможет читателю собрать самостоятельно свой первый Hi-Fi ламповый усилитель. Тем же, кто решил приобрести готовый усилитель или сравнить характеристики моделей заводского изготовления, будет интересен обзор рынка ламповых Hi-Fi усилителей. Материал поможет сделать правильный выбор при покупке.

Книга предназначена для широкого круга радиолюбителей, любителей качественного звука.



9 785943 878657

ISBN 978-5-94387-865-7

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

Контактные телефоны издательства
(812) 412-70-25, 412-70-26

Официальный сайт: www.nit.com.ru

© Торопкин М. В., Андреев Д. А.

© Наука и Техника (оригинал-макет), 2016

ООО «Наука и Техника».

Лицензия № 000350 от 23 декабря 1999 года.

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

Подписано в печать . Формат 70×100 1/16.

Бумага газетная. Печать офсетная. Объем 18 п. л.

Тираж 1000 экз. Заказ №

Отпечатано с готовых файлов заказчика
в АО «Первая Образцовая типография»
филиал «УЛЬЯНОВСКИЙ ДОМ ПЕЧАТИ»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

СОДЕРЖАНИЕ

От редактора	11
1. Основы схемотехники ламповых усилительных каскадов	14
1.1. Характеристики, особенности, обозначения радиоламп	14
Какие лампы рассматриваются в книге	14
Параметры электронных ламп	15
Основные термины	17
Классы усиления	18
Обозначения электронных приемо-усилительных и выпрямительных ламп	19
Обозначения электронных генераторных ламп	21
Европейская унифицированная система обозначений ламп	22
1.2. Основные виды ламповых каскадов	24
Каскад с нагрузкой в аноде	24
Каскод — каскад на триодах	26
Катодный повторитель	27
Каскад с катодной связью	27
Балансный каскад	28
Каскад с заземленной сеткой	28
Анодный повторитель	29
Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой	29
Каскад с динамической нагрузкой	30
Катодный повторитель Уайта	31
2. Схемотехника усилителей на отечественных лампах	32
2.1. Двойной триод с отдельными катодами 6Н1П	32
Общие характеристики	32
Основные параметры	33
Зарубежные и отечественные аналоги	34
Недостатки лампы	34
Достоинства лампы	35
Каскад с нагрузкой в аноде (каскад с резистивной нагрузкой)	35
Каскад с динамической нагрузкой, он же — SRPP	38
Мю-повторитель или усиленный SRPP	39
Полезные ссылки	40
2.2. Двойной диод-триод 6Г2	41
Общие характеристики	41
Основные параметры	41
Зарубежные и отечественные аналоги	42
Достоинства и недостатки	42
Примеры построения каскадов с различными способами подачи смещения	43
2.3. Двойной диод-триод 6Г7	46
Общие характеристики	46
Основные параметры	46
Зарубежные и отечественные аналоги	47
Достоинства и недостатки	47

2.4. Пентод высокой частоты с короткой характеристикой 6Ж4	48
Общие характеристики	48
Основные параметры	48
Зарубежные и отечественные аналоги	49
Достоинства и недостатки пентодного (штатного) включения лампы	49
Схемная реализация пентодного включения лампы.	50
Параметры лампы в триодном включении	50
Пример построения каскада на лампе в триодном включении.	51
Триодное включение пентодов: кто следующий?	53
2.5. Двойной триод с отдельными катодами 6Н6П	54
Общие характеристики	54
Основные параметры	54
Зарубежные и отечественные аналоги	55
Достоинства и недостатки	55
Усилитель Ongaku	56
Примеры конструкций	58
2.6. Двойной триод с отдельными катодами 6Н8С	59
Общие характеристики	59
Основные параметры	59
Зарубежные и отечественные аналоги	60
Достоинства и недостатки	60
Схемотехника: винил-корректор	61
Схемная реализация входного и драйверного каскадов	62
2.7. Двойной триод с отдельными катодами 6Н9С	64
Общие характеристики	64
Основные параметры	64
Зарубежные и отечественные аналоги	65
Достоинства и недостатки	65
Схемотехника: винил-корректор	67
Фазоинверсный каскад	67
2.8. Двойной триод с отдельными катодами и малым внутренним сопротивлением 6Н13С	68
Общие характеристики	68
Основные параметры	68
Зарубежные и отечественные аналоги	69
Достоинства и недостатки	69
Однотактный усилитель	70
Бестрансформаторный усилитель	71
2.9. Двойной универсальный триод 6Н23П	73
Общие характеристики	73
Основные параметры	73
Зарубежные и отечественные аналоги	74
Достоинства и недостатки	74
Предварительный усилитель с низковольтным питанием	75
Бестрансформаторный (OTL) телефонный усилитель	76
Схема винил-корректора с батарейным смещением	77
2.10. Выходной лучевой тетрод 6П7С	78
Общие характеристики	78
Основные параметры	78
Зарубежные и отечественные аналоги	79

Достоинства и недостатки	79
Схема однотактного усилителя с выходным каскадом на лампе 6П7С	80
2.11. Широкополосный выходной пентод 6П9	82
Общие характеристики	82
Основные параметры	82
Зарубежные и отечественные аналоги	83
Триодное включение	83
Пентодное (штатное) включение лампы	84
Входной/драйверный каскад	84
Одноламповый/однокаскадный усилитель	85
2.12. Выходной лучевой тетрод 6П13С	86
Общие характеристики	86
Основные параметры	86
Зарубежные и отечественные аналоги	87
Достоинства и недостатки	87
Схемотехника: пример схемы однотактного усилителя	87
Схемотехника: пример схемы двухтактного усилителя	88
2.13. Выходные пентоды 6П14П, 6П18П, 6П43П	89
Общие характеристики	89
Основные параметры	89
Зарубежные и отечественные аналоги	90
Достоинства и недостатки	91
Схемотехника: пример схемы однотактного усилителя	91
Схемотехника: пример схемы двухтактного выходного каскада	92
Полезные ссылки	93
2.14. Выходной лучевой тетрод 6П45С	94
Общие характеристики	94
Основные параметры	94
Зарубежные аналоги	94
Достоинства и недостатки	95
Схемотехника: классический однотактный усилитель	95
Однотактный усилитель с нестандартным включением лампы	96
Схема двухтактного усилителя	99
2.15. Триод высокой частоты с низким уровнем внутриламповых шумов 6С3П. ...	100
Общие характеристики	100
Основные параметры	100
Зарубежные и отечественные аналоги	101
Достоинства и недостатки	101
Схемотехника: винил-корректор	102
Однотактный усилитель	103
2.16. Триод 6С19П	104
Общие характеристики	104
Основные параметры	104
Зарубежные и отечественные аналоги	104
Достоинства и недостатки	105
Схемотехника: драйверный каскад и однотактный усилитель	105
2.17. Триод 6С33С	107
Общие характеристики	107
Основные параметры	107
Зарубежные и отечественные аналоги	108

Достоинства и недостатки	108
Схемотехника: однотактный усилитель	109
Схемотехника: двухтактный усилитель	110
Схемотехника: бестрансформаторный усилитель	110
2.18. Триод-пентод 6ФЗП	113
Общие характеристики	113
Основные параметры	113
Зарубежные и отечественные аналоги	115
Достоинства и недостатки	115
Схемотехника: однотактный усилитель на одном баллоне	115
Схемотехника: винил-корректор	116
Входные и драйверные каскады	117
Схема Лофтина-Уайта, драйвер на катодном повторителе	117
Трансформаторный драйверный каскад	117
Драйверный каскад по дроссельной схеме	118
2.19. Широкополосный триод-пентод 6Ф12П	119
Общие характеристики	119
Основные параметры	119
Зарубежные и отечественные аналоги	120
Достоинства и недостатки	120
Схемотехника: винил-корректор	120
Усиленный SRPP (мю-повторитель)	122
Дополнительная информация	122
2.20. Выходной тетрод высокой частоты 6Э5П	123
Общие характеристики	123
Основные параметры	123
Зарубежные и отечественные аналоги	124
Достоинства и недостатки	124
Тетродное (штатное) включение	125
Пример реализации тетродного включения лампы: входной/драйверный каскад	125
Пример реализации триодного включения лампы	125
2.21. Генераторный лучевой тетрод Г-807	127
Общие характеристики	127
Основные параметры	127
Зарубежные и отечественные аналоги	129
Достоинства и недостатки	129
Тетродное включение: пример однотактного усилителя	129
Тетродное включение: двухтактный оконечный каскад	131
2.22. Генераторный триод с высоким коэффициентом усиления Г-811	132
Общие характеристики	132
Основные параметры	132
Зарубежные и отечественные аналоги	132
Достоинства и недостатки	133
Схемотехника: двухтактный оконечный каскад	133
Схемотехника: однотактный оконечный каскад	134
2.23. Мощный модуляторный триод ГМ-70	136
Общие характеристики	136
Основные параметры	136

Зарубежные и отечественные аналоги	137
Достоинства и недостатки	138
Схемотехника: однотактный оконечный каскад	139
Схемотехника: двухтактные драйверный и оконечный каскады	140
2.24. Генераторный лучевой пентод ГУ-50	141
Общие характеристики	141
Основные параметры	141
Зарубежные и отечественные аналоги	141
Достоинства и недостатки	143
Триодное включение: однотактный оконечный каскад	143
Пентодное включение: двухтактный оконечный каскад	143
Схемотехника	144
2.25. Двуханодный кенотрон 5Ц3С	145
Общие характеристики	145
Основные параметры	145
Зарубежные и отечественные аналоги	145
Достоинства и недостатки	146
Схемотехника: двухполупериодный выпрямитель	147
Схемотехника: блок питания	147
2.26. Двуханодный кенотрон 5Ц4С	149
Общие характеристики	149
Основные параметры	149
Зарубежные и отечественные аналоги	149
Достоинства и недостатки	150
Схемотехника: двухполупериодный выпрямитель	150
2.27. Двуханодный кенотрон 5Ц8С	152
Общие характеристики	152
Основные параметры	152
Зарубежные и отечественные аналоги	152
Достоинства и недостатки	153
Схемотехника: двухполупериодный выпрямитель	153
3. Схемотехника усилителей на зарубежных лампах	155
3.1. Триод 2А3	155
Общие характеристики	155
Основные параметры	156
Особенности лампы	157
Зарубежные и отечественные аналоги	157
Достоинства и недостатки	157
Схемотехника: драйверный каскад	158
Схемотехника: однотактный усилитель с входным каскадом на триоде ..	158
Схемотехника: однотактный усилитель с входным каскадом на пентоде ..	160
Усилитель, выполненный по схеме Лофтин-Уайта	162
Современный вариант схемы Лофтин-Уайта, разработанный Е. Комиссаровым	163
3.2. Триод 300В	165
Общие характеристики	165
Основные параметры	165
Зарубежные и отечественные аналоги	165

Достоинства и недостатки	166
Схемотехника: однотактные усилители	167
Схемотехника: двухтактные усилители	171
3.3. Триод 6В4Г	173
Общие характеристики	173
Основные параметры	173
Зарубежные и отечественные аналоги	173
Достоинства и недостатки	174
Схемотехника: однотактные усилители	174
Схемотехника: двухтактный усилитель с фазоинверсным трансформатором	175
Схемотехника: двухтактный усилитель, выполненный по классической схеме Вильямсона	175
4. Секреты аудиотехники	178
4.1. Входные разъемы	178
4.2. Соединительные (межблочные) кабели	180
4.3. Сборка усилителя	181
Монтажный провод	181
Припой	183
Шасси и корпус	183
Монтаж	184
4.4. Регулятор громкости	185
4.5. Селектор входов	189
4.6. Предварительный усилитель	191
4.7. Регулировка стереобаланса	193
4.8. Регулировка тембра	193
4.9. Предусилители-корректоры (фонокорректоры)	195
4.10. Усилитель для головных телефонов (хэдамп)	197
4.11. Разъемы для подключения акустических систем (акустические терминалы)	198
4.12. Акустический кабель	199
5. Собираем ламповые усилители своими руками	200
5.1. Простой одноламповый усилитель класса Hi-Fi на 6С45П	200
Что будем разрабатывать?	200
Техническое задание на разработку	201
Выбор лампы	202
Триод с высокой крутизной 6С45П	203
Начинаем расчет усилителя	204
Определение основных параметров каскада	206
Выбор оптимальной рабочей точки	209
Особенности расчетов для резистивного каскада	210
Переходим к схеме усилителя	211
Пути улучшения параметров	213
Комплектующие для усилителя	214
Возможные замены	215
Заключение	217

5.2. Однотактный усилитель мощности на 6Ф12П/6550.....	218
Особенности однотактных усилителей и выбор лампы.....	218
Расчеты.....	219
Режимы ламп.....	219
Драйвер.....	220
Схема усилителя.....	220
Изготавливаем выходной трансформатор.....	221
Еще несколько слов об элементной базе.....	223
Изготовление корпуса.....	225
Настройка усилителя.....	228
Параметры усилителя.....	228
6. Обзор рынка ламповых Hi-Fi усилителей.....	230
6.1. Как сделать правильный выбор при покупке Hi-Fi усилителя.....	230
6.2. Полезные советы по выбору усилителя.....	231
7. Обзор ресурсов Интернет по ламповой Hi-Fi усилительной технике.....	233
7.1. Многопрофильные сайты.....	233
7.2. Специализированные сайты.....	235
7.3. Магазины радиодеталей, звуковоспроизводящей аппаратуры и сопутствующих товаров.....	235
7.4. Доски объявлений.....	236
8. Полезные методики расчета ламповых усилителей.....	237
8.1. Определение параметров пентодов в триодном включении.....	237
8.2. SE Amp CAD — программа моделирования выходных каскадов однотактных усилителей.....	239
8.3. Программа расчета блоков питания.....	241
8.4. Принципы расчета и конструирования выходного трансформатора.....	242
Авторская методика расчета выходного трансформатора.....	242
Альтернативная методика расчета выходного трансформатора.....	250
Расчет выходного трансформатора.....	251
Трансформатор для однотактного лампового каскада.....	251
Трансформатор для двухтактного лампового каскада.....	254
Трансформатор для ультралинейного (сверхлинейного) каскада.....	255
8.5. Примеры конструкций выходных трансформаторов.....	255
Универсальный выходной трансформатор для однотактного каскада на лампе 300В и 6М-70.....	256
Универсальный выходной трансформатор для однотактного каскада на лампе 2А3/6С4С/6В4G.....	256
Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6П45С в триодном включении.....	257
Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на двух параллельных лампах 6С19П.....	258
Выходной трансформатор для усилителя «цирклотрон» на лампах 6П41С, 6П3С, EL34.....	259
Выходной трансформатор для двухтактного выходного каскада на лампах ГУ-50.....	260

Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6550 (в триодном включении, $R_a = 2,7 \text{ кОм}$)	261
Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6ПЗ6С (в триодном включении)	261
8.6. Ламповый калейдоскоп	262
Приложения	268
Приложение 1.	
Трансформатор выходной SE 3,5K / 8,0 и 16,0 Ом для использования с лампами 6EA7, 6C4C	268
Приложение 2.	
Трансформатор выходной SE 3,5K / 8,0 и 16,0 Ом для использования с лампами 6C4C, 2A3 и их аналогами	270
Приложение 3.	
Трансформатор выходной SE 7K / 8,0 Ом для использования с лампой ГМ-70 (возможно использование с лампой 300B)	272
Приложение 4.	
Трансформатор выходной SE 5K / 4,0 Ом для использования с лампой ГУ-50 (возможно использование с лампами 300B и SV572-10) ..	274
Приложение 5.	
Трансформатор выходной SE 3,7K / 4,0 и 8,0 Ом для использования с лампой 6ФЗП в триодном включении (возможно использование с лампами 6Ф5П, 6П14П — обе в триодном включении)	276
Приложение 6.	
Трансформатор выходной SE 4K / 8,0 и 16,0 Ом для использования с лампой EL156 (возможно использование с лампой 300B)	278
Приложение 7.	
Трансформатор выходной SE 1K / 8 Ом для использования с лампой 6C41C (возможно использование с двумя лампами 6C19П, соединенными параллельно)	280
Приложение 8.	
Трансформатор выходной SE 5K / 8 и 16 Ом для использования с лампами 6Э5П или 6П14П — обе в триодном включении, а также с УО-186, 6C4C и ее аналогами	282
Приложение 9.	
Трансформатор TB3 SE 5 кОм (3,67 кОм; 2,55 кОм) / 4,0 и 8,0 Ом для использования с лампой 300B	284
Список литературы	286

ОТ РЕДАКТОРА

Ламповая аппаратура звукоусиления в XXI веке переживает второе рождение. Фотографии ламповых конструкций «прописались» на обложках популярных аудиожурналов. Выпуск радиоламп вновь освоен 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 систем. 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, вольтамперные характеристики (ВАХ) радиоламп, но и рекомендации по их применению, включая различные схемы построения ламповых каскадов и аппаратуры звукоусиления.

Авторы умышленно избегают 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 одной стороны, на экране спектроанализатора и прочих измерительных приборов;
- ♦ с другой стороны, в литературе по психологии и физиологии.

А магические пассы и заклинания лучше оставить глянцевым аудиопубликациям, насквозь пропитанным рекламой.

Эта уникальная ПРАКТИЧЕСКАЯ книга адресована любителям высококачественного звуковоспроизведения: следование приведен-

ному материалу позволит собрать свой первый ламповый усилитель класса Hi-Fi.

Начинающим радиолюбителям адресованы **главы по основам схемотехники ламповых усилительных каскадов**.

Книга также является справочным пособием по 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 **справочных главах** (отдельно по отечественным и зарубежным электровакуумным приборам) 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;
- ♦ вольтамперные характеристики (ВАХ);
- ♦ аналоги, рекомендации по замене;
- ♦ типовые схемы включения;
- ♦ рекомендации по звуковому применению, включая рассмотрение различных схемотехнических решений;
- ♦ полезные ссылки на Интернет-ресурсы.

Главная часть книги посвящена созданию *практических конструкций ламповых усилителей* своими руками. Специально для читателей этой книги авторы разработали **миниусилитель класса Hi-Fi**. Характерная его особенность — применение всего одной лампы 6С45П на канал. Беглый взгляд наводит на мысли об очередном усилителе «для начинающих», но не торопитесь с выводами...

Кроме того авторами подробно рассмотрен процесс изготовления **мощного усилителя на 6Ф12П/6550**. Лампа 6550 обычно используется в гитарных усилителях РР и практически не встречается в однотактных схемах. Авторы также поначалу сомневались в «аудиофильском» характере звука, который можно ожидать от этой лампы, но любопытство взяло верх. И они оказались правы!

Для каждой конструкции приведены: техническое задание на разработку, выбор лампы, расчеты каскадов и выходных трансформа-

торов, принципиальная схема, комплектующие, возможные замены, методика сборки.



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.

Тем, кто решил приобрести готовый усилитель или сравнить характеристики моделей заводского изготовления будет интересна глава «Обзор рынка ламповых Hi-Fi усилителей». Она поможет сделать правильный выбор при покупке.

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.

В заключительной главе приведены методики расчета и готовые примеры конструкций выходных трансформаторов.

Все рассмотренные в Приложении конструкции трансформаторов для выходных каскадов ламповых усилителей разработаны и воплощены в реальные изделия авторами этой книги и публикуются впервые!

Желаю больших успехов на пути создания ваших собственных конструкций ламповых усилителей.

*Сергей Корякин-Черняк, главный редактор
Санкт-Петербург, 2015 год*

ОСНОВЫ СХЕМОТЕХНИКИ ЛАМПОВЫХ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ

Глава дает общее представление и систематизированную информацию по отечественным и зарубежным электронным лампам: их обозначениям, параметрам.

Приведены основные типы 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).

1.1. Характеристики, особенности, обозначения радиоламп

Какие лампы рассматриваются в книге

В книге рассматриваются как отечественные, так и зарубежные радиолампы. Авторы сознательно исключили 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 Vaic Valve стоимостью несколько сотен долларов за одну лампу);
- ♦ выпуск лампы давно прекращен, возможность приобретения — минимальна (AD1, УО-, УБ- и т. п.). Предпочтение отдано ши-

роко 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.

Внутреннее сопротивление обусловлено плотностью электронного облака, окружающего катод, которое, обладая отрицательным электрическим потенциалом, препятствует прохождению электронов на участке катод-анод.

Коэффициент усиления — 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 А 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 $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ вследствие теплового движения электронов возникает напряжение шумов, равное напряжению шумов лампы, приведенному к управляющей сетке.

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

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

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

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

Сопротивление нагрузки R_n , 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_k , А — величина общего тока, протекающего через лампу, равная сумме токов всех остальных электродов.

**Внимание.**

Превышение предельно допустимой величины тока катода резко снижает срок службы радиоламп, а также надежность их работы!

**Примечание.**

Все напряжения измеряются только относительно катода! Например, анодное напряжение (напряжение на аноде) U_a измеряется между выводом анода и выводом катода.

Основные термины

Лампа с катодом прямого накала (прямонакальная 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 них (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

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: А, АВ, В. При наличии сеточных токов добавляют индекс 2, например, А2 — класс А с токами сетки. Отсутствие сеточных токов обозначается индексом 1 либо без индекса вообще: В1 или В — класс В без токов сетки.

Класс А — режим усиления, при котором анодный ток протекает через лампу в течение всего периода, и форма его переменной составляющей точно воспроизводит форму переменного напряжения, приложенного к управляющей сетке. Наименее экономичен — КПД не превышает 20 %. Характеризуется минимальными нелинейными искажениями.

Класс В — 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 В протекает также в течение полупериода. Наиболее экономичен, но характеризуется максимальными нелинейными искажениями, вследствие чего используется лишь в эстрадных усилителях большой мощности.

Класс АВ — промежуточный (между классами А и В) 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 А, и большая, чем в классе В.

По экономичности и уровню нелинейных искажений занимает промежуточное (между классами А и В) положение.

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

Обозначения электронных приемо-усилительных и выпрямительных ламп

Современная система обозначения отечественных радиоламп введена в начале 1950-х гг. (ГОСТ 5461-50) и с тех пор несколько раз уточнялась. По ней обозначение лампы состоит из пяти элементов (пятый элемент является необязательным). Следует заметить, что для некоторых ламп старых выпусков сохранены прежние названия.

Первый элемент — число, соответствующее округленному значению напряжения накала, выраженного в вольтах (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.):

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

**Примечание.**

Октоды обозначения не имеют, так как эти лампы не выпускались ни в СССР, ни в России.

Комбинированные лампы:

- Б — пентод с одним либо несколькими диодами;
- Г — триод с одним либо несколькими диодами;
- Е — электронно-световой индикатор;
- И — триод-гептод;
- Р — двойной тетрод, двойной лучевой тетрод или двойной пентод;
- Ф — триод-пентод (исключения — триод 6Ф5 и пентод 6Ф6 (6Ф6С) старого выпуска).

Второй элемент может содержать более одной буквы, например:

СР — двойной пентод-триод.

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

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

- А — миниатюрный стеклянный баллон диаметром 6 мм, выводы электродов — гибкие проволочные;
- Б — миниатюрный стеклянный баллон диаметром 10 мм («дробь»), выводы электродов — гибкие проволочные;
- Г — миниатюрный стеклянный баллон диаметром более 10,2 мм с гибкими проволочными выводами;
- Д — керамический баллон с дисковыми выводами (т. н. «маячковые» лампы);
- Ж — лампа типа «желудь» — миниатюрный стеклянный баллон с жесткими радиальными выводами;
- К — керамический баллон со штыревыми выводами;
- Л — баллон с замковым (loctal) цоколем, исключающим выпадение лампы из панельки при тряске;
- М — малогабаритный стеклянный баллон с октальным цоколем уменьшенной высоты. Буква сохранена лишь для некоторых ламп старых выпусков (2К2М, 2Ж2М, 2П9М, 30Ц1М и т. д.);
- Н — нувистор (миниатюрная лампа в металлокерамической оболочке);
- П — пальчиковый стеклянный баллон с пуговичным цоколем и штырьковыми выводами электродов (7 или 9 штырьков);

Р — миниатюрный стеклянный баллон диаметром менее 5 мм с гибкими проволочными выводами;

С — стеклянный крупногабаритный баллон (с октальным штырьковым либо специальным цоколем);

Нет буквы — металлический (обычно стальной) баллон с октальным цоколем.

Пятый элемент присваивается лампам с повышенными параметрами:

В — повышенная механическая прочность и надежность;

Д — особо высокая долговечность (10000 часов и более);

Е — повышенный срок службы (5000 часов и более);

И — пригодность для работы в импульсном режиме;

К — высокая виброустойчивость;

Р — повышенная повторяемость и стабильность параметров во времени.



Примечание.

Некоторые источники расшифровывают индекс «Р», как повышенную радиационную стойкость. Авторам книги такой вариант представляется сомнительным. Существует и другая версия: повышенная механическая прочность и надежность (лучше, чем В; однако, для замены лампы группы В, в обозначении должны присутствовать и Р, и В).

Пятый элемент отделяется знаком дефис, например, **6Ж43П-Е**.

Допускается несколько букв (при соответствующих параметрах лампы), например, **6Н23П-ЕВ** — лампа с повышенной механической прочностью, надежностью и сроком службы, **6Н30П-ДР** и даже **6Н1П-ЕВ-ОС!**

Обозначения электронных генераторных ламп

Обозначения электронных генераторных ламп 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;
- ♦ К — контактное;
- ♦ П — испарительное;
- ♦ Нет буквы — естественное воздушное.



Внимание.

Следует отметить, что не все обозначения ламп соответствуют системе.

Но это бывает крайне редко. Например, для лампы ГУ-72 максимальная рабочая частота — 10 МГц (но никак не 25—600 МГц!), а ГК-71, паспортная предельная рабочая частота которой 20 МГц, может работать на частотах до 60 МГц (такие лампы обычно обозначаются ГУ!).

Также некоторые приемно-усилительные лампы, маркируемые как выходные (1П24Б, 4П1Л, 6ПЗС, 6П6С, 6П7С, 6П13С, 6П20С, 6П21С, 6П31С, 6П36С, 6П41С, 6П42С, 6П44С, 6П45С и др.), могут работать в качестве генераторных.

Европейская унифицированная система обозначений ламп

Большинство европейских фирм, изготавливающих приемно-усилительные лампы, много лет применяют для своих изделий унифицированную систему обозначений. Согласно этой системе условное обозначение приемно-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):

Д — напряжение накала до 1,4 В;

Е — 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 А (4 В), В (180 мА), С (200 мА), F (12,6 В), К (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:

CC — двойной триод;

AF — диод-пентод;

ABC — 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» (Magnoval);

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.



Примечание.

Лучшим справочником по отечественным и зарубежным электронным лампам можно считать ресурс <http://tdsl.duncanamps.com/tubearch.php>.

1.2. Основные виды ламповых каскадов

Каскад с нагрузкой в аноде



Определение.

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

Авторы книги считают, что создание подлинно качественного усилителя начинается с выбора ламп по их субъективному характеру звучания, по звуковой сигнатуре, если угодно...

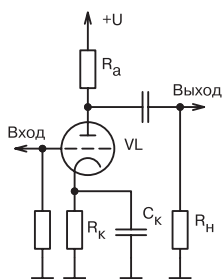


Рис. 1.1. Схема каскада с резистивной нагрузкой в аноде

Схемотехника призвана подчеркивать их сильные стороны и скрывать недостатки. Неправильный выбор типа или электрических параметров каскада способен испортить впечатление от самых лучших ламп!

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**.

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, например, возможно моделирование с помощью программы TubeCAD;
- ♦ простота реализации цепи смещения;
- ♦ низкая стоимость (для резистивного каскада).

Следует отметить, что возможно **фиксированное смещение**, например:

- ♦ или 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);
- ♦ или при помощи аккумулятора («плюс» к катоду, C_k исключить, ток катода не должен превышать допустимого значения тока заряда аккумулятора; другой вариант — батарейка — включается в разрыв цепи входного сигнала, «минус» к сетке, катод лампы соединяется с общим — землей).

Недостатки каскада с анодной нагрузкой:

- ♦ усиление каскада всегда заметно 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 — каскад на триодах

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 фирм AudioNote/Kondo);
- ♦ низкая нагрузочная способность.

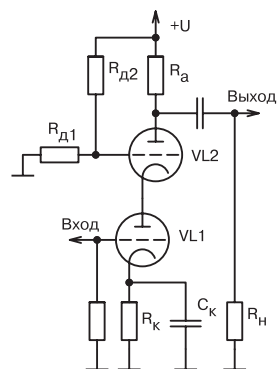


Рис. 1.2. Схема каскода

Катодный повторитель

Схема катодного повторителя приведена на рис. 1.3.

Преимущества:

- ♦ очень низкое выходное сопротивление (теоретически равно $1/S$, 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», «транзисторным». Есть и обратная точка зрения: Х. Кондо (ведущий разработчик фирм AudioNote/Kondo) утверждал, 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 превысить допустимое значение — **будьте внимательны!**

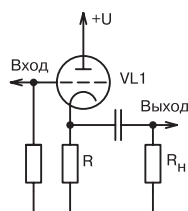


Рис. 1.3. Схема катодного повторителя



Примечание.

Каскад не инвертирует фазу сигнала. Лампы с высокой крутизной позволяют получить минимальное выходное сопротивление, а лампы с высоким коэффициентом усиления — минимальное снижение последнего. В целях уменьшения 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.

Преимущества:

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

Недостатки:

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

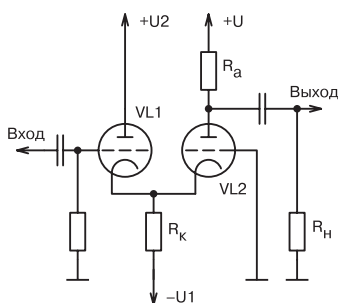


Рис. 1.4. Схема каскада с катодной связью

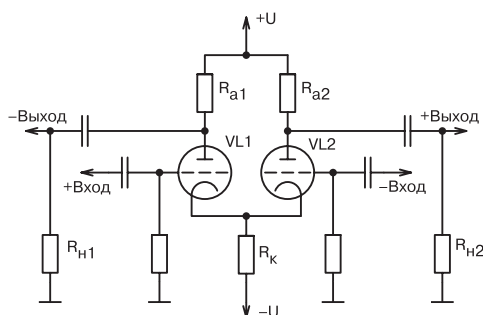


Рис. 1.5. Схема балансного каскада



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.

Преимущества:

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

Недостаток:

- ♦ требуется источник отрицательного напряжения.

Каскад с заземленной сеткой

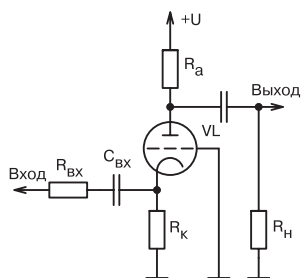


Рис. 1.6. Схема каскада с заземленной сеткой

Применяется во входных каскадах винил-корректоров для головок звукоснимателей типа МС (с подвижной катушкой), а также в выходных каскадах усилителя мощности, работающего с токами сетки. В последнем случае заметно увеличивается линейность усиления (относительно стандартной раскачки по сетке). Это каскад **неинвертирующий**.

На рис. 1.6 показана 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).

Анодный повторитель

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

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 R2.

Преимущества аналогичны каскаду с анодной нагрузкой. Из дополнительных следует отметить возможность регулирования усиления (в зависимости от соотношения величин R1 и R2).

Недостатки:

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

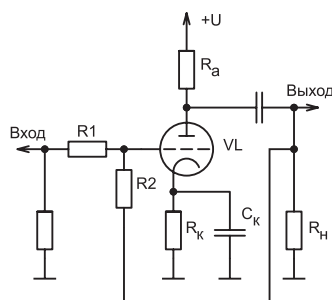


Рис. 1.7. Схема анодного повторителя

Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой

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

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 к входу усилителя.



Примечание.

Использование ламп с большим коэффициентом усиления снижает потери усиления каскада.

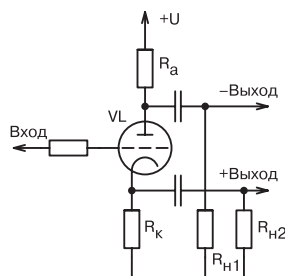


Рис. 1.8. Схема фазоинверсного каскада с разделенной нагрузкой

Каскад с динамической нагрузкой

Другие названия: μ -повторитель (или мю-повторитель), в зарубежной литературе — SRPP (Shunt Regulated Push-Pull). Можно встретить и прямую транслитерацию — СРПП. Каскад универсального назначения (рис. 1.9).

Преимущества:

- ♦ низкое выходное сопротивление (оценочное значение для однотипных ламп $0,25R_L$);
- ♦ низкий уровень нелинейных искажений. Для оптимизации уровня к.н.и. следует подбирать соотношение величин резисторов в катодах ламп: одинаковые резисторы не всегда дают лучший результат;
- ♦ малая чувствительность к пульсациям напряжения питания;

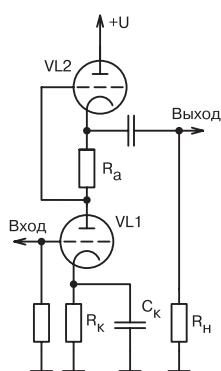


Рис. 1.9. Схема каскада SRPP (каскад с динамической нагрузкой)

- ♦ коэффициент усиления ближе к μ лампы, чем у каскада с нагрузкой в аноде (отсюда и название «мю-повторитель»);
- ♦ возможности улучшения ряда параметров с помощью незначительных схемотехнических изменений;
- ♦ гарантированное качество звучания, удовлетворяющее большинство меломанов. А с учетом простоты реализации — настоящая находка для начинающих радиолюбителей.

Недостатки:

- ♦ отдельные варианты каскада довольно сложны;
- ♦ высокое напряжение между катодом и подогревателем;

- ♦ некоторые специалисты считают звучание каскада «транзисторным, сухим, плоским».

Следует понимать, что по своей сути SRPP — прежде всего катодный повторитель, а не каскад с нагрузкой в аноде! Поэтому SRPP свойственны все субъективные недостатки катодного повторителя! Кроме того, в каскад входят две лампы, что также негативно сказывается на звучании.

Катодный повторитель Уайта

Другое название — катодный повторитель каскодного типа.

Напоминает одновременно SRPP, 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}).

Преимущества:

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

Недостатки:

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

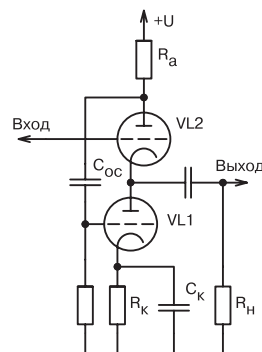


Рис. 1.10. Схема катодного повторителя Уайта

СХЕМОТЕХНИКА УСИЛИТЕЛЕЙ НА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ЛАМПАХ

Эта глава — **современный справочник** по самым распространенным отечественным приемно-усилительным радиолампам. Для удобства читателя описываемые лампы расположены в алфавитном порядке.

Исключение сделано только для лампы **6Н1П**, которая идет первой, т. к. она наиболее широко распространена, а ее параметры хорошо известны радиолюбителям.

На **каждую лампу приводится** цоколевка, основные параметры, достоинства и недостатки, схемная реализация каскадов на данной лампе, дополнительная полезная информация.

2.1. Двойной триод с отдельными катодами 6Н1П

Общие характеристики

Лампа 6Н1П (рис. 2.1) разработана для усиления напряжения низкой частоты. Применяется в предварительных каскадах, фазоинверторах [11].

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

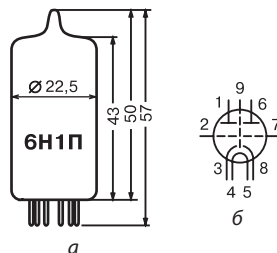


Рис. 2.1. Лампа 6Н1П:

а — основные размеры; б — схематическое изображение (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)

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
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	2,2
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В	250
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм	1

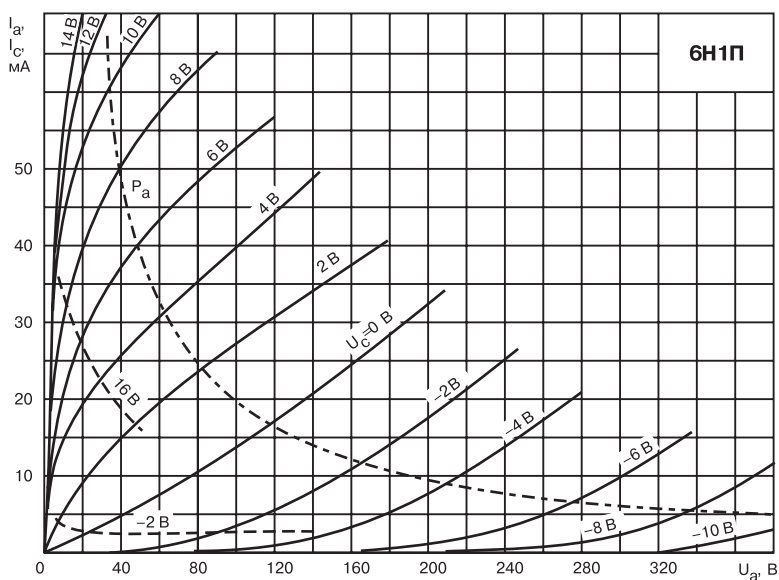


Рис. 2.2. Типовые вольтамперные характеристики 6Н1П:

сплошная линия — ток в цепи анода; штриховая с пробелами линия — ток в цепи сетки;
штрих-пунктирная линия — наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде

Зарубежные и отечественные аналоги



Примечание.

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). Гораздо ближе по параметрам лампа 13D3: <http://www.r-type.org/pdfs/13d1.pdf>.

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 лампы

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 20—50 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 лампы

Имеются ли контраргументы? Да, имеются.

Аргумент 1 — «плохозвучащие» лампы приобретают гранды мирового аудиорынка, а предприятия объединения «Светлана» (крупнейший производитель радиоламп в России) и вовсе куплены «на корню» американцами;

Аргумент 2 — 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 радиолюбителей. Современная продукция продается заводами-изготовителями по сравнительно высоким ценам. Стоимость российских ламп и должна быть ниже импортных, ибо цены на металл, электроэнергию (не говоря об оплате труда) уступают мировым;

Аргумент 3 — по электрическим параметрам 6Н1П и 6Н8С хотя и близки, но не идентичны. Прямое сравнение не вполне корректно...

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 (лампы серии «Б»: 6С7Б, 6Н16Б, 6С28Б и т. п.). С другой стороны, вопрос использования некоторых «крупногабаритных» ламп (ГУ-50, 6РЗС, 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;

Аргумент 4 — не следует забывать, что в схеме работает не лампа, а целый каскад;

Аргумент 5 — 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.

Каскад с нагрузкой в аноде (каскад с резистивной нагрузкой)

Рассмотрим типичное для 60—70 гг. прошлого века построение каскада на примере схемы, представленной на рис. 2.3 [9]. Подробный пример расчета такого каскада представлен в главе 8.

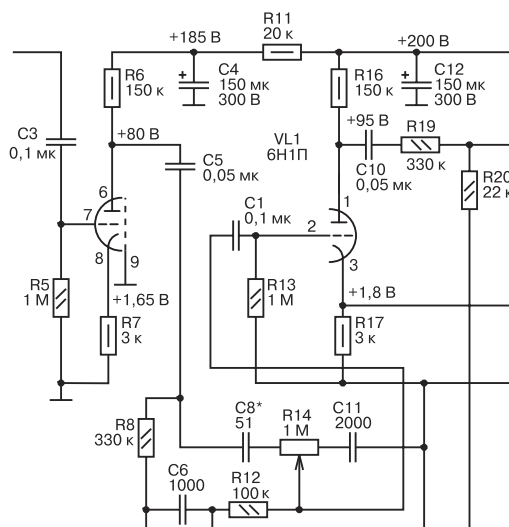


Рис. 2.3. Пример реализации каскада с резистивной нагрузкой

Первое, что бросается в глаза — завышенное значение величины сопротивления анодной нагрузки R_6 , чреватое возрастанием уровня нечетных гармоник, пагубно влияющих на звучание.



Примечание.

Степень восприятия искажений человеческим ухом пропорциональна квадрату номера гармоники. Наиболее остро ощущается присутствие в звуковом сигнале нечетных гармоник, диссонирующих с основным тоном.

В данном каскаде можно ограничиться значением $40\text{—}80\text{ кОм}$ (от $5R_i$ до $10R_i$, где R_i — внутреннее сопротивление лампы в рабочей точке, равное 8 кОм).

Величину сопротивления анодной нагрузки в $(5\text{—}10)R_i$ рекомендуется подбирать для триода, работающего во входном каскаде, что обеспечивает большой коэффициент усиления.

Для выходных триодных каскадов оптимальна величина $(2\text{—}5)R_i$, как компромисс между коэффициентом гармоник и выходной мощностью. Кроме того, значительная величина тока анода выходных ламп приводит к заметному падению напряжения на анодной нагрузке. Это влечет за собой необходимость повышения напряжения питания, напрямую связанного с массогабаритными показателями блока питания и его стоимостью.

У тетродов и пентодов величину сопротивления анодной нагрузки следует подбирать в пределах от $0,1R_i$ до $0,2R_i$ по минимуму искажений. Так 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, снижаю-

щая 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 вольтамперной характеристики (ВАХ).

Чтобы убедиться в этом, отметим 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 $I_a \times R_6 = 12,5 \text{ мА} \times 40 \text{ кОм} = 500 \text{ В}$!



Примечание.

*Посмотрите внимательно на типовые схемы усилителей тех лет: двухтактные каскады, класс усиления **AB** или **AB2**, даже **B**, широкое использование тетродов и пентодов. Налицо стремление удерживать массогабаритные показатели и себестоимость в определенных рамках, характерных для серийного производства.*

В настоящее время ситуация обратная: однотактные (нередко трансформаторные) каскады, чистый класс А, 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. Пример такого каскада приведен на рис. 2.4.

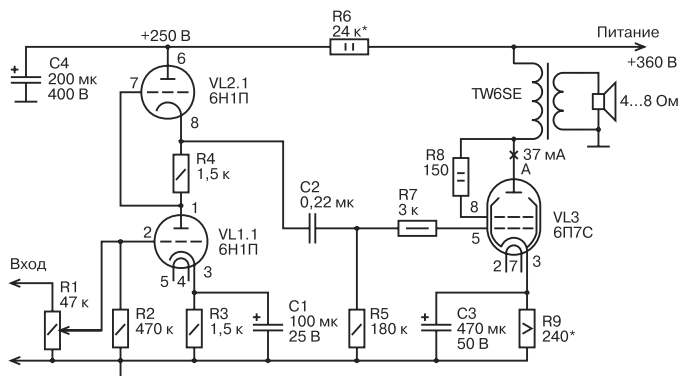


Рис. 2.4. Пример усилителя с SRPP-каскадом на входе

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;
- ♦ некоторое улучшение (по сравнению с предыдущей схемой) 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), использование 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, Хосе Эсмилья (скрипач-виртуоз, основатель фирмы JE Labs) рекомендует применять в SRPP только лампы с внутренним сопротивлением более 10 кОм.

Со своей стороны, авторы книги предлагают предварительно прослушивать звучание макета SRPP с различными лампами (при соответствующем выборе рабочих точек и соотношений величин катодных резисторов) и самостоятельно решать как вопрос применимости этих ламп в SRPP, так и использования SRPP вообще.

**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.

В глазах многих разработчиков 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 дросселем 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, $U_{cm} = -3$ В. Это 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) показан на **рис. 2.5** [15].

В зарубежной литературе под термином mu-follower часто подразумевают SRPP. Авторы считают, что следует разделить эти понятия,

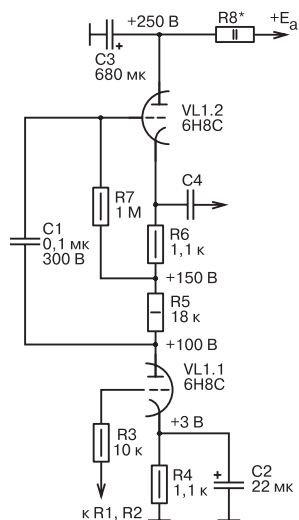


Рис. 2.5. Мю-повторитель на лампе 6H8C

например, использовать терминологию: «SRPP» и «усиленный SRPP» как предложено в [18].

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 («мю») к аналогичному параметру нижнего триода, недостижимому в предыдущих схемах. Кстати, Киммел предложил и другие варианты развития схмотехники SRPP, подробно рассмотренные в [18].



Примечание.

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

Но следует понимать, что конечная цель — качество звучания, а не изящество схмотехнических решений и даже не формальные параметры! Обеспечить должное качество удастся только при грамотном выборе лампы (по звуковой сигнатуре) и типа каскада.

Полезные ссылки

1. BAX лампы 6H1П — <http://www.klausmobile.narod.ru/testerfiles/6n1p.htm>
2. Ссылка на статью Э. Барбура, посвященную шумам: 6H1П вошла в тройку лучших — <http://audiportal.su/showthread.php?t=9754>

2.2. Двойной диод-триод 6Г2

Общие характеристики

Лампа 6Г2 (рис. 2.6) разработана для детектирования и усиления напряжения низкой частоты. Применяется в прямо-усилительной и измерительной аппаратуре.

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

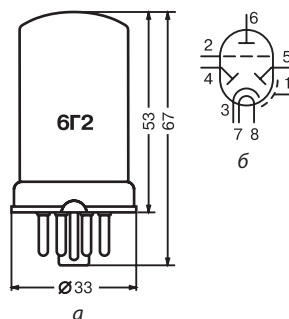


Рис. 2.6. Лампа 6Г2:

a — основные размеры; *б* — схематическое изображение (1 — баллон; 2 — сетка; 3 — катод; 4 — анод второго диода; 5 — анод первого диода; 6 — анод триода; 7 и 8 — подогреватель (накал))

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 ±0,65
крутизна характеристики, мА/В	1,1 ±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

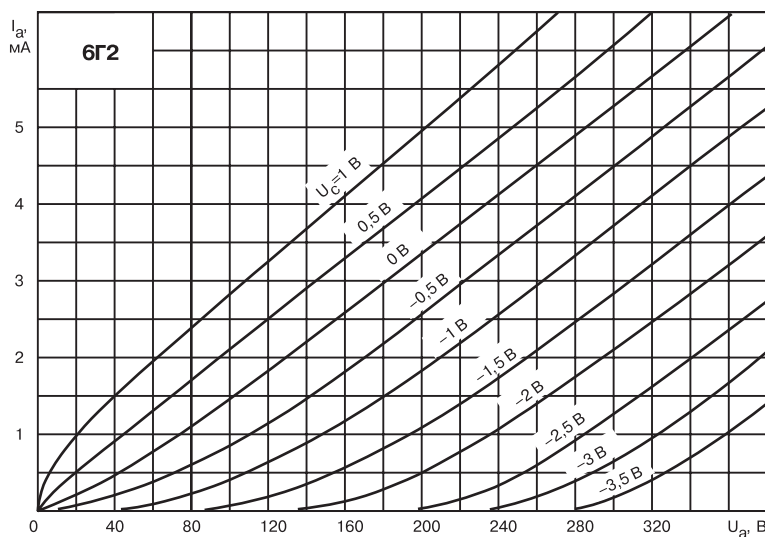


Рис. 2.7. Типовые вольтамперные характеристики 6Г2

Зарубежные и отечественные аналоги

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 и недостатки

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.

Для устранения отмеченных недостатков требуется полная реализация возможностей лампы, особенно — высокого коэффициента усиления. Например, используя SRPP или мю-повторитель, можно заметно увеличить усиление каскада, а его выходное сопротивление снизить до $20\text{—}25$ кОм. Ввиду дефицитности лампы 6Г2 неэффективно ее использование в качестве верхнего триода SRPP; 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 SRPP-каскада на этих лампах необходимо подать на подогреватель положительный потенциал порядка $+120$ В (например, при помощи резистивного делителя анодного напряжения).

Примеры построения каскадов с различными способами подачи смещения

Рассмотрим реализацию каскадов звукоусиления на лампе 6Г2.

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!!!) позволяет получить коэффициент усиления $40\text{—}45$ 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 $60\text{—}65$, но приведут к серьезному росту уровня нелинейных искажений. Более подробно эта проблема и пути ее решения описаны в разделе 2.1, посвященном лампе 6Н1П.

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

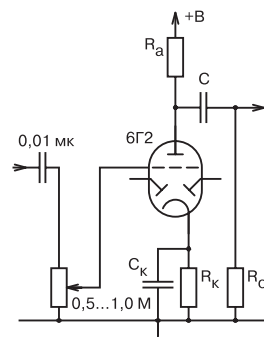


Рис. 2.8. Типовая схема построения резистивного каскада

Обратите внимание, что 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 встретиться везде.



Примечание.

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 термотоков 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. Впрочем, без конденсатора не обойтись, т. к. в противном случае возникнет местная ООС по току, увеличивающая внутреннее сопротивление лампы и нелинейные искажения, а также

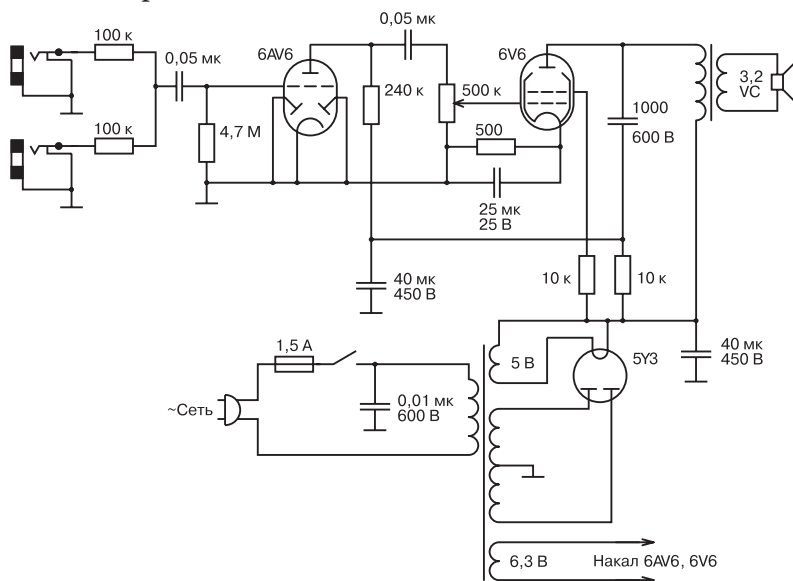


Рис. 2.9. Пример построения входного каскада на лампе 6Г2

снижающая усиление. 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 работающих в жестких условиях.

Существуют лампы, нормальная работа которых возможна только в режиме автосмещения (либо в комбинированном: одна доля напряжения смещения подается с источника, другая задается катодным резистором соответственно меньшей величины, что положительно сказывается на звучании), т. к. в остальных случаях возникает сильный саморазогрев (например, 6П14П, 6С33С).

Второй способ является устаревшим. Он применим только для малосигнальных ламп во входных каскадах микрофонных и гитарных усилителей.

Смещение может быть реализовано и другими (порой экзотическими) методами:

- ♦ батарейным, в разрыв цепи сигнала (рис. 2.16) или последовательно с резистором утечки (рис. 2.62, второй каскад);
- ♦ автоматическим за счет резистора, включенного в разрыв цепи накала (рис. 4.10);
- ♦ батарейным, с установкой аккумулятора в разрыв катодной цепи (рис. 5.12);
- ♦ фиксированным (рис. 2.14, второй каскад);
- ♦ псевдофиксированным, на светодиодах (рис. 2.22, первый каскад) и стабилитронах (рис. 2.22, второй каскад);
- ♦ автоматическим за счет резистора, включенного между средней точкой анодной обмотки силового трансформатора и «землей» (рис. 2.110,);
- ♦ комбинированным за счет разности напряжений: на аноде лампы первого каскада и на катодном резисторе второго при непосредственной связи между каскадами — схема Лофтин-Уайта (рис. 2.19, первый и второй каскады). Существует разновидность схемы Лофтин-Уайта без резистора в цепи катода (рис. 3.7).

2.3. Двойной диод-триод 6Г7

Общие характеристики

Лампа 6Г7 (рис. 2.10) разработана для детектирования и усиления напряжения низкой частоты. Применяется в приемно-усилительной и измерительной аппаратуре.

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

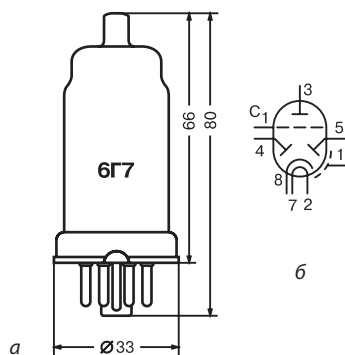


Рис. 2.10. Лампа 6Г7:

a — основные размеры, *б* — схематическое изображение (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)

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 ±0,8
крутизна характеристики, мА/В	1,3 ±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

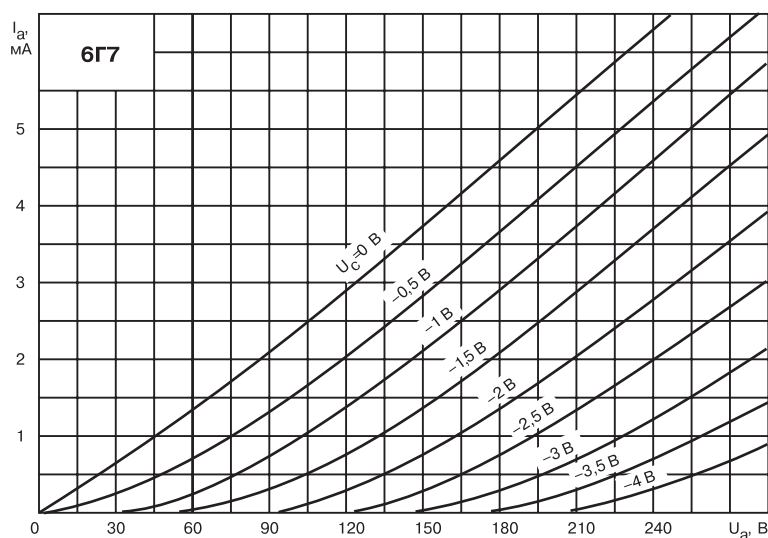


Рис. 2.11. Типовые вольтамперные характеристики 6Г7

Зарубежные и отечественные аналоги

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 и недостатки

Достоинства:

- ♦ по звуковой сигнатуре превосходит 6Г2, 6Н9С и многие другие лампы;
- ♦ меньшее, чем у 6Г2, внутреннее сопротивление;
- ♦ прочный металлический баллон (впрочем, существовало и стеклянное оформление — 6Г2С).

Недостатки:

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

2.4. Пентод высокой частоты с короткой характеристикой 6Ж4

Общие характеристики

Лампа 6Ж4 (рис. 2.12) предназначена для усиления напряжения высокой частоты.

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

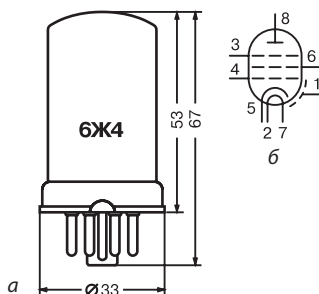


Рис. 2.12. Лампа 6Ж4:

a — основные размеры; *б* — схематическое изображение (1 — баллон; 2 и 7 — подогреватель (накал); 3 — третья сетка; 4 — первая сетка; 5 — катод; 6 — вторая сетка; 8 — анод)

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 ± 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

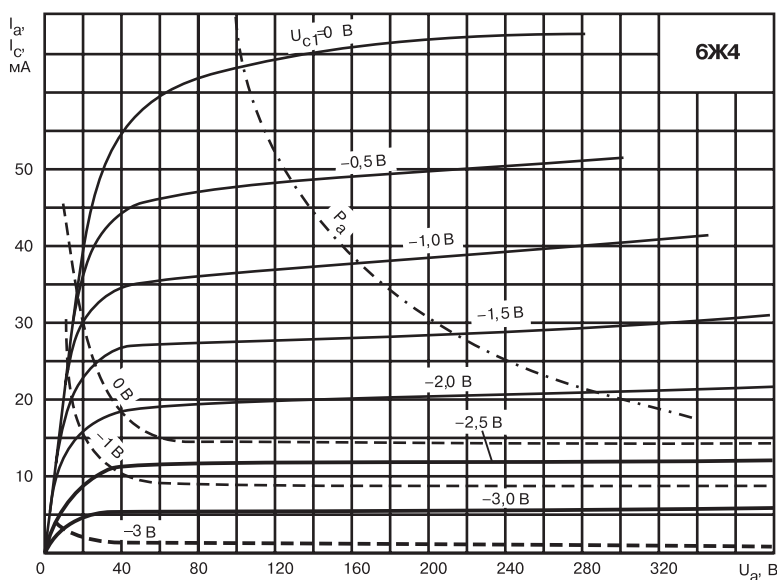


Рис. 2.13. Типовые вольтамперные характеристики 6Ж4 при напряжении на второй сетке 150 В и напряжении на третьей сетке 0 В

Зарубежные и отечественные аналоги

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

Достоинства и недостатки пентодного (штатного) включения 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: для штатного (пентодного) включения 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 (и, разумеется, тетрод) нетрудно превратить в триод.

Схемная реализация 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.

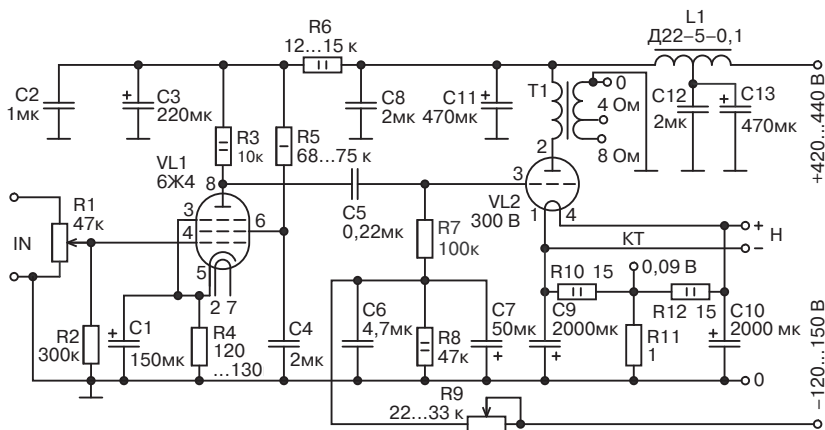


Рис. 2.14. Схема усилителя с входным каскадом на лампе 6Ж4 в пентодном включении

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.



Примечание.

В конце концов, значение одного параметра допускается превысить. При этом важно, чтобы следом за напряжением не оказалась превышена допустимая рассеиваемая на второй сетке мощность.

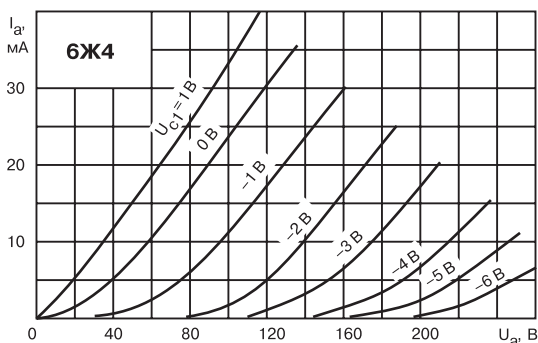


Рис. 2.15. Типовые вольтамперные характеристики 6Ж4 в триодном включении

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 [16].

Смещение каскадов — **батарейное**. Такой способ организации смещения обладает рядом **преимуществ**: не требуется катодный резистор и конденсатор, минимальны шумы, т. к. катод заземлен; нет термоток сетки, можно использовать с любыми лампами; не нужен дополнительный источник напряжения смещения.

К **недостаткам** можно отнести: необходимость подбора батареек по минимальному влиянию на звучание усилителя; периодическую (раз в 1—3 года) замену батареек вследствие саморазряда.

Теоретически существует также опасность выхода ламп из строя в случае перенапряжения электрической 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 $3/2$). Проблема может быть решена и с использованием **стабилизаторов анодного напряжения**. Стабилизатор — конструкция громоздкая, недешевая.

На практике избыточный ток вызывает рост падения напряжения на обмотках анодного трансформатора, дросселя фильтра и внутреннем сопротивлении кенотрона.

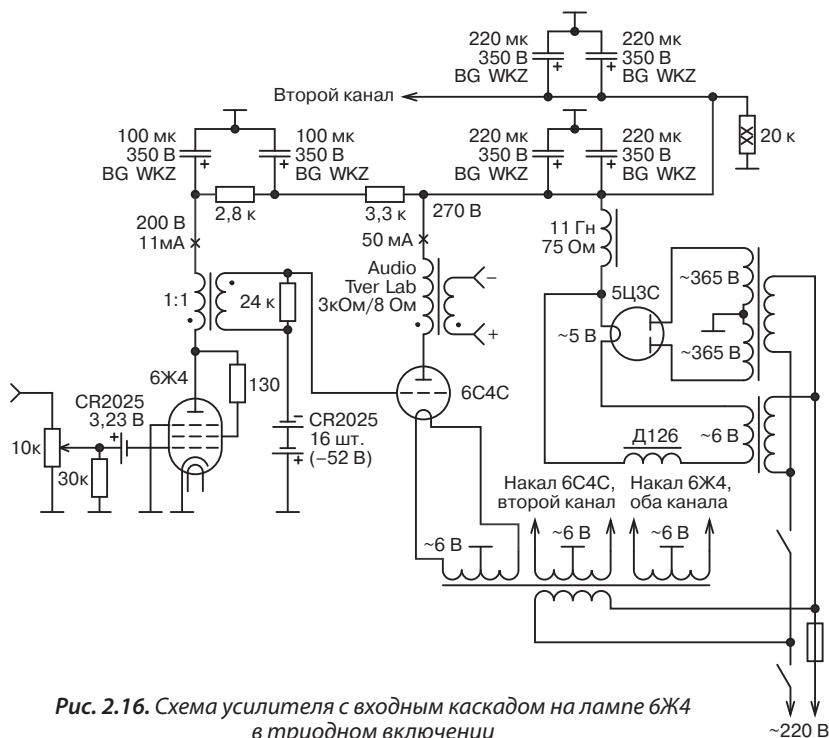


Рис. 2.16. Схема усилителя с входным каскадом на лампе 6Ж4 в триодном включении



Примечание.

Разумным компромиссом будет выбор рабочей точки лампы несколько ниже расчетной.

Первый каскад построен по схеме с трансформаторной нагрузкой. Рассмотрим преимущества и недостатки.

Преимущества трансформаторного каскада перед резистивным следующие: высокий КПД; возможность согласования с любой нагрузкой; меньшее напряжение питания каскада; максимально возможное усиление; субъективно 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.

Рекомендуем ознакомиться с работами Н. Парtridge:

http://www.audiofaidate.org/it/articoli/Partridge_disttrafcores_1.pdf

http://www.audiofaide.org/it/articoli/Partridge_disttrafcores_2.pdf

http://www.audiofai date.org/it/articoli/Partridge_disttrafcores_3.pdf
http://www.audiofai date.org/it/articoli/Partridge_disttrafcores_4.pdf
 и других специалистов (обратите особое внимание на списки используемой литературы в конце каждой из этих статей):

<http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n4/izmer.htm>

<http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n6/crowh.htm>

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.

Рекомендуются к использованию в триодном включении следующие пентоды: 6Ж9П, 6Ж10П, 6Ж11П, 6Ж43П, 6Ж51П, 6Ж52П. Соответствующие режимы приведены в (табл. 2.1 и табл. 2.2).

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

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 $U_{\text{пит}} = 250 \text{ В}$, $R_a = 4,75 \text{ кОм}$, $R_k = 160 \text{ Ом}$, $C_k = 470 \text{ мкФ}$, $U_{\text{вх}} \sim 1 \text{ В}$)

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



Примечание.

Таблицы 2.1 и 2.2 составлены Анатолием Манаковым.

К сожалению, в справочниках крайне редко встречаются параметры пентодов в триодном включении. В главе 8 приводится методика их определения.

2.5. Двойной триод с раздельными катодами 6Н6П

Общие характеристики

Лампа 6Н6П (рис. 2.17) предназначена для усиления мощности низкой частоты.

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.

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

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

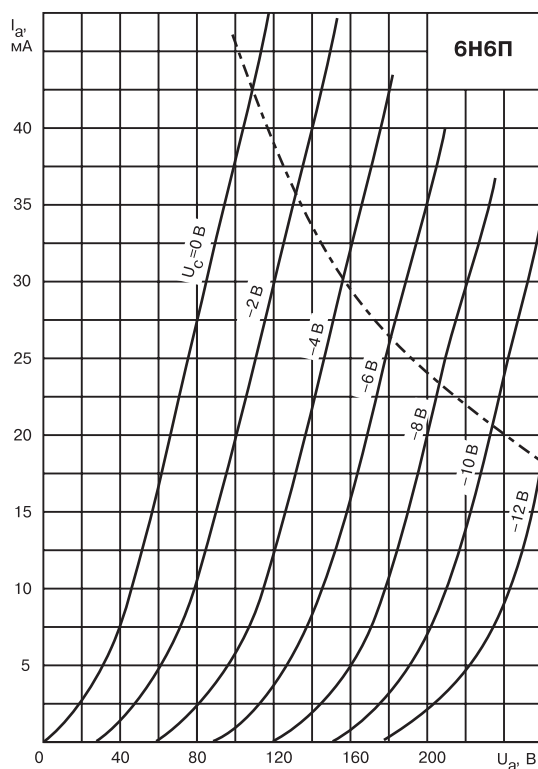


Рис. 2.18. Типовые вольтамперные характеристики 6Н6П

Зарубежные и отечественные аналоги

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

Достоинства и недостатки

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 лампо-

вые 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.

Усилитель Ongaku на 5687

Хирояши Кондо (руководитель фирм AudioNote Japan и позднее Kondo, разработчик экстракласса) применил аналогичную двойному триоду с отдельными катодами 6Н6П лампу 5687 в знаменитом усилителе Ongaku (рис. 2.19). Рассмотрим особенности усилителя Ongaku.

Блок питания выполнен по мостовой схеме.



Примечание.

Влияние блока питания на звучание одноканальных усилителей сопоставимо с влиянием всех остальных каскадов (сразу неочевидно, поэтому просто представьте, что «усилительная» часть является модулятором напряжения питания, подаваемого в нагрузку!). Относитесь к его разработке и изготовлению с предельным вниманием.

Входной каскад выполнен по схеме SRPP. 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. На первый взгляд, отсутствие разделительного элемента благотворно сказывается на звучании усилителя, но надо понимать, что его роль в схеме Лофтина-Уайта играет конденсатор в источнике анодного питания!

Третий каскад выполнен по схеме катодного повторителя, обладающего крайне низким выходным сопротивлением. Ведь он охвачен глубокой (100 %) местной ООС.



Примечание.

Хотя использование подобных каскадов часто критикуется именно из-за наличия ООС, альтернатива — использование трансформа-

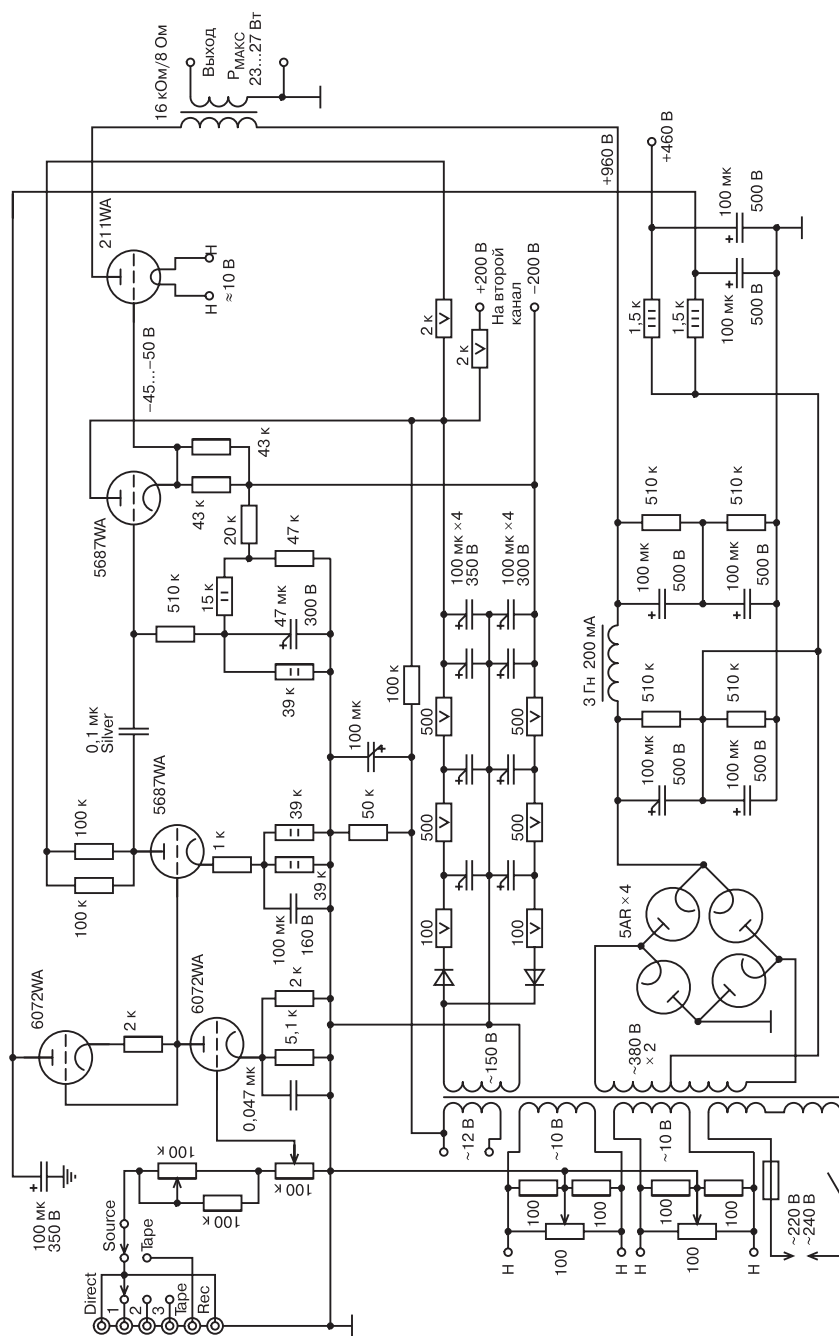


Рис. 2.19. Принципиальная схема усилителя Ондэки

торного каскада — также не лишена недостатков. Право выбора остается за разработчиком.

Удивительно, что иные специалисты, критикуя SRPP, 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!

Авторы книги считают, что звучание Ongaku отражает взгляды на качественный звук со стороны японских аудиофилов, чья музыкальная культура и музыкальное восприятие отличаются от, например, российских. Повторять эту схему не имеет смысла.

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

Примеры конструкций

1. Хедамп (трансформаторный каскад) — <http://www.radiolamp.ru/shem/unch/79/>
2. Ламповый буфер для CD-проигрывателя (катодный повторитель) — <http://sergeev21.narod.ru/6n6p.BMP>
3. Ламповый буфер для CD-проигрывателя (трансформаторный каскад на базе ТВЗ-1-9) — <http://sergeev21.narod.ru/6n6ptr.bmp>
4. Однотактный усилитель на лампе 300В (6Н6П — во входном каскаде) — <http://www.radiolamp.ru/shem/unch/99/1.jpg>
5. Бестрансформаторный (OTL) хедамп — <http://steblyansky.livejournal.com/4026.html>
6. Однотактный усилитель на лампе 6С33С (входной и драйверный каскады на 6Н6П) — <http://datagor.ru/amplifiers/tubes/951-usilitel-se-6n6p6s33s.html>
7. Двухтактный миниоконечник (выходной каскад на 6Н6П) — <http://forum.cxem.net/index.php?showtopic=82503>

2.6. Двойной триод с отдельными катодами 6Н8С

Общие характеристики

Лампа 6Н8С (рис. 2.20) разработана для усиления напряжения низкой частоты. Применяется в предварительных каскадах усиления низкой частоты и каскадах фазоинверторов.

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

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

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ	
входная первого триода	2,8
выходная первого триода	0,8
проходная первого триода	3,8
входная второго триода	3,0
выходная второго триода	1,2
проходная второго триода	4,0
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	9 ±3,5
крутизна характеристики, мА/В	2,6 ±0,53
внутреннее сопротивление, кОм	7,7
коэффициент усиления	20,5 ±2,5
Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода)	
наибольшее напряжение накала, В	7,0
наименьшее напряжение накала, В	5,7
наибольшее напряжение на аноде, В	330
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	2,75
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В	100
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм	0,5

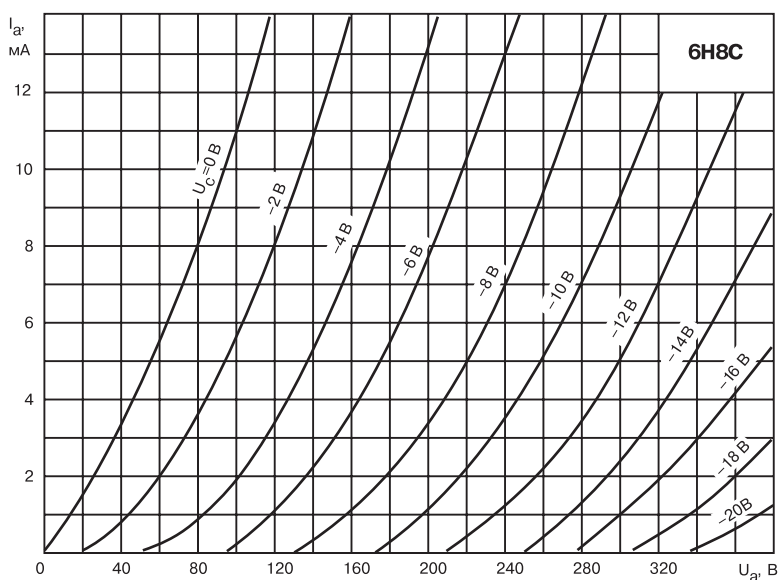


Рис. 2.21. Типовые вольтамперные характеристики 6Н8С

Зарубежные и отечественные аналоги

Лампа 6Н8С имеет пальчиковый аналог (условный) 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 и недостатки

Достоинства:

- ♦ лампа изначально разработана для звукового применения и обладает хорошей сигнатурой;
- ♦ два триода в баллоне;
- ♦ высокая линейность, широкий раскрыт 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 SRPP.

Схемотехника на 6Н8С: 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 SRPP, 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.

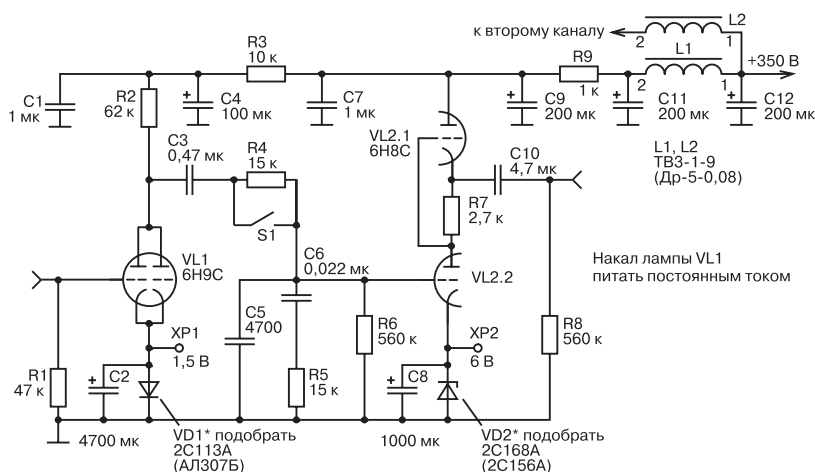


Рис. 2.22. Схема винил-корректора

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.



Примечание.

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.

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. К сожалению, многие фирмы грамзаписи (и даже одни и те же фирмы в разные годы) допускали отклонения от стандарта.

Разработчик винил-корректора руководствовался аналогичными соображениями, введя дополнительный элемент — переключатель, позволяющий слушателю выбрать подходящий режим. Стоит отметить, что подобные вольности в отношении цепей коррекции являются своего рода высшим пилотажем. Авторы книги рекомендуют начинающим разработчикам строго следовать стандарту RIAA!

Корректор обладает великолепным звучанием, схема настоятельно рекомендуется радиолюбителям.



Внимание.

При повторении схемы необходимо подать на подогреватель лампы VL2 (6H8C) положительный потенциал порядка 100 В (например, используя резистивный делитель для анодного напряжения).

Схемная реализация входного и драйверного каскадов

Как упоминалось выше, 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 («Плоть и кровь») разработки Х. Рейчерта.

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.

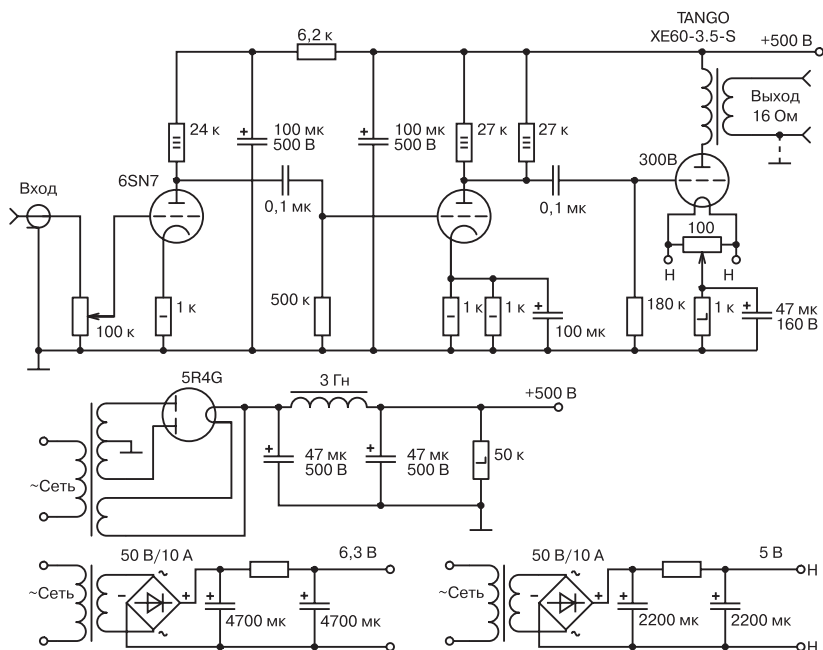


Рис. 2.23. Однотактный усилитель *Flesh&Blood*

Любопытный факт: при необходимости использования составного резистора в цепи катода следует соединять его «половинки» последовательно — звучание при этом субъективно улучшается (по сравнению с параллельным соединением).

На сайте одной российской фирмы-производителя ламповой техники красуется схема, аналогичная представленной на рис. 2.23, «доработанная» горе-специалистами: катодный резистор первого каскада шунтирован конденсатором, а резисторы второго каскада — одиночные!

Основные параметры выходного трансформатора TANGO XE60-3.5-S (выпускается по сей день — современное наименование FC-30-3.5S):

- 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.

Возможно, стоит попробовать применить в первом каскаде батарейное смещение.

2.7. Двойной триод с отдельными катодами 6Н9С

Общие характеристики

Лампа 6Н9С (рис. 2.24) разработана для усиления напряжения низкой частоты. Применяется в предварительных каскадах усиления низкой частоты и каскадах фазоинверторов.

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

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

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)	
напряжение накала, В	6,3
ток накала, мА	300 ±25
напряжение на аноде, В	250
ток в цепи анода, мА	2,3 ±0,9
крутизна характеристики, мА/В	1,6 ±0,4
внутреннее сопротивление, кОм	44
коэффициент усиления	70 ±15
Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода)	
наибольшее напряжение накала, В	7,0
наименьшее напряжение накала, В	5,7
наибольшее напряжение на аноде, В	275
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	1,1
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В	100
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм	0,5

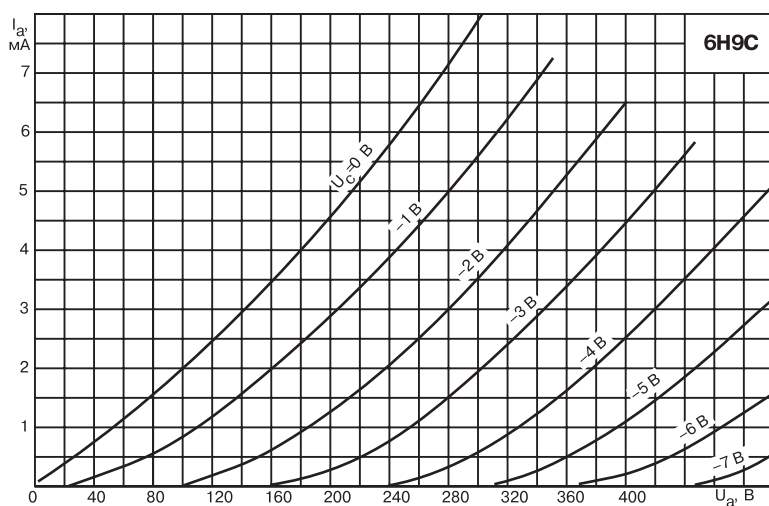


Рис. 2.25. Типовые вольтамперные характеристики 6Н9С

Зарубежные и отечественные аналоги

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 и недостатки

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 SRPP.

Схемотехника: винил-корректор

Вернемся к схеме винил-корректора, представленной ранее 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.



Примечание.

К сожалению, не все так гладко: у 6Н9С велика проходная емкость (по сравнению с зарубежными аналогами), что, с учетом высокого коэффициента усиления, делает нежелательным параллельное включение «половинок». Проблема решается использованием лампы 12SL7.

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, пожалуй, **наилучшей реализации** фазоинверсного каскада на лампе 6Н9С (разработчик — А. Манаков) представлен на рис. 2.26.

Переменным резистором (470 Ом) в катode 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 [17].

2.8. Двойной триод с отдельными катодами и малым внутренним сопротивлением 6Н13С

Общие характеристики

Лампа 6Н13С (рис. 2.27) предназначена для работы в схемах электронной стабилизации. Может быть использована как усилитель мощности низкой частоты в выходных каскадах, собранных по двухтактной схеме.

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.

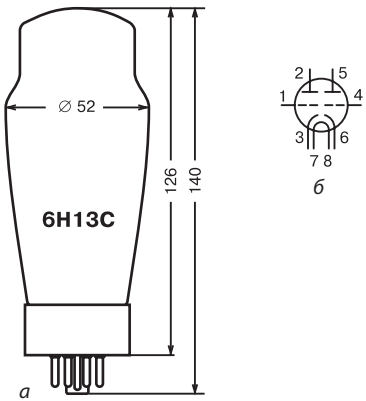


Рис. 2.27. Лампа 6Н13С:
а — основные размеры; б — схематическое изображение
(1 — сетка первого триода; 2 — анод первого триода;
3 — катод первого триода; 4 — сетка второго триода;
5 — анод второго триода; 6 — катод второго триода;
7 и 8 — подогреватель (накал))

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)	
напряжение накала, В	6,3
ток накала, А	2,8
напряжение на аноде, В	90
ток в цепи анода, мА	80
крутизна характеристики, мА/В	5,0 ± 1,5
внутреннее сопротивление, Ом	460
коэффициент усиления	2,3
Предельно допустимые электрические параметры (для каждого триода)	
наибольшее напряжение накала, В	6,9
наименьшее напряжение накала, В	5,7
наибольшее напряжение на аноде, В	250
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	13
наибольшее напряжение между катодом и подогревателем, В	300
наибольшее сопротивление в цепи сетки, МОм	1,0

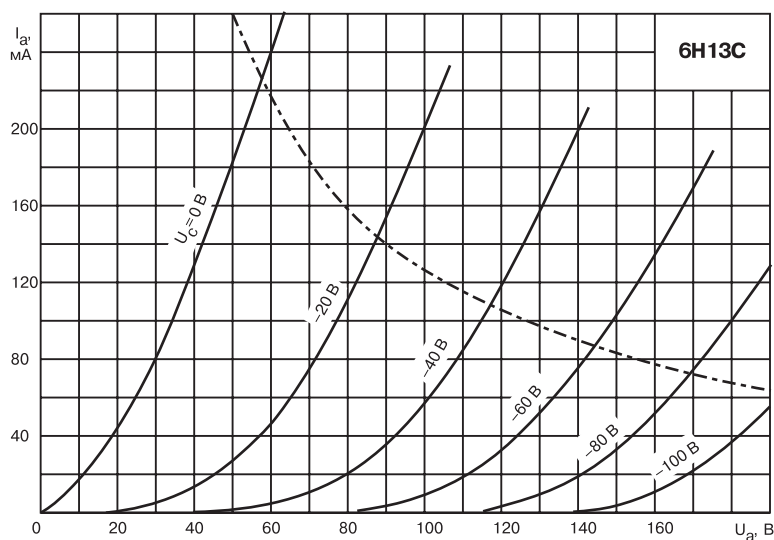


Рис. 2.28. Типовые вольтамперные характеристики 6Н13С

Зарубежные и отечественные аналоги

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 и недостатки

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.



Примечание.

Лампу 6Н13С по непонятным причинам игнорируют отечественные радиолюбители.

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 А), с сохранением преимуществ однотактного усилителя.

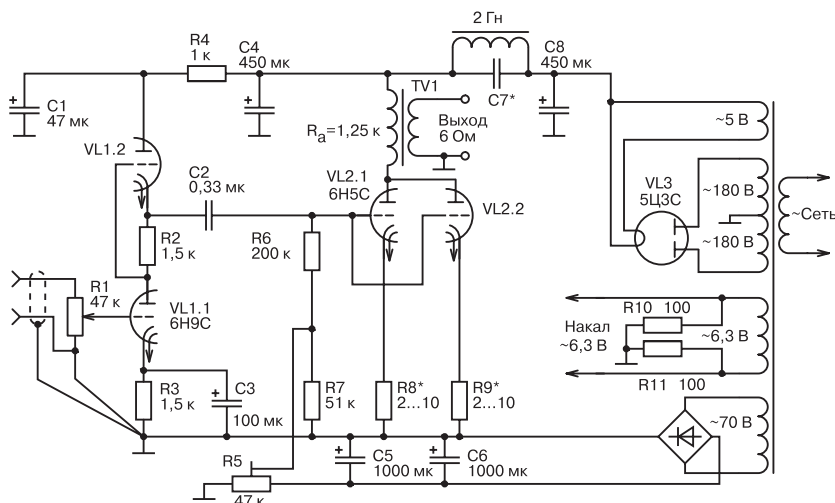


Рис. 2.29. Однотактный усилитель с параллельным включением выходных ламп

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.

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



Примечание.

Что касается конкретной схемы, то можно преобразовать первый каскад по схеме мю-повторителя («усиленный» вариант SRPP). Кроме того, увеличить напряжение питания первого каскада, а в

качестве выходного использовать трансформатор, обеспечивающий $R_a = 500\text{—}600\text{ Ом}$, 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.



Примечание.

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. Требуется 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). Это 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.



Примечание.

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

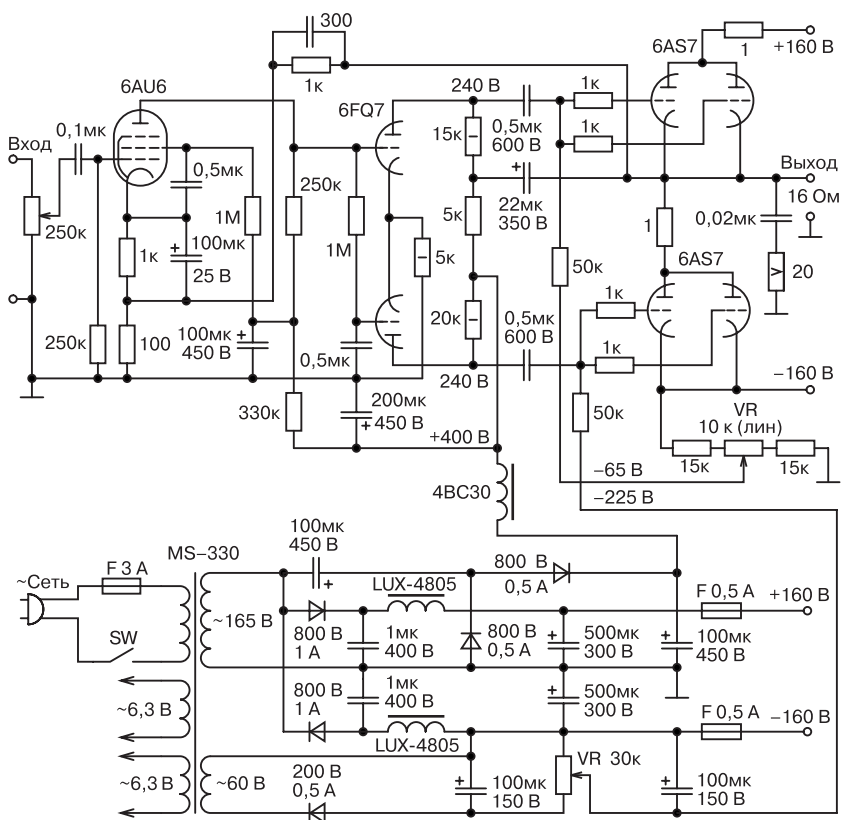


Рис. 2.30. Схема бестрансформаторного усилителя

Недостатки схемы следующие:

- ♦ выходное сопротивление остается высоким, несмотря на все ухищрения (кстати, безвредные для звучания);
- ♦ 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 сразу, не дожидаясь их прогрева). Это существенно сокращает срок службы дорогостоящих ламп выходного каскада.

2.9. Двойной универсальный триод 6Н23П

Общие характеристики

Лампа 6Н23П (рис. 2.31) предназначена для усиления напряжения высокой частоты, генерирования и маломощного усиления импульсов.

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

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

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

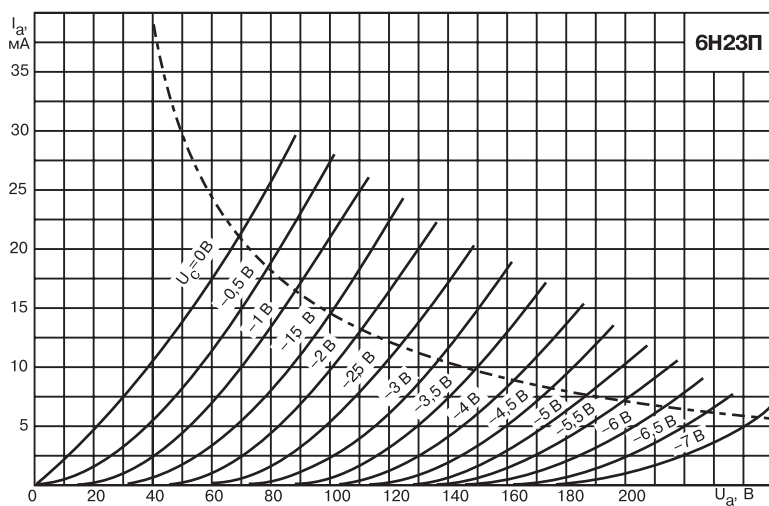


Рис. 2.32. Типовые вольтамперные характеристики 6Н23П

Зарубежные и отечественные аналоги

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 [4] (будьте внимательны!).

Достоинства и недостатки

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) [4];
- ♦ в гармоническом спектре слишком велика доля 3-й гармоники (сопоставимая по уровню со 2-й гармоникой. Подобное соотно-

шение придает звучанию некоторую «стеклянность»), может потребоваться прослушивание для отбора ламп с наилучшей звуковой сигнатурой;

- ♦ раннее (начиная с напряжения $-1,2$ В на сетке) появление сеточных токов.

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 серьезные 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.

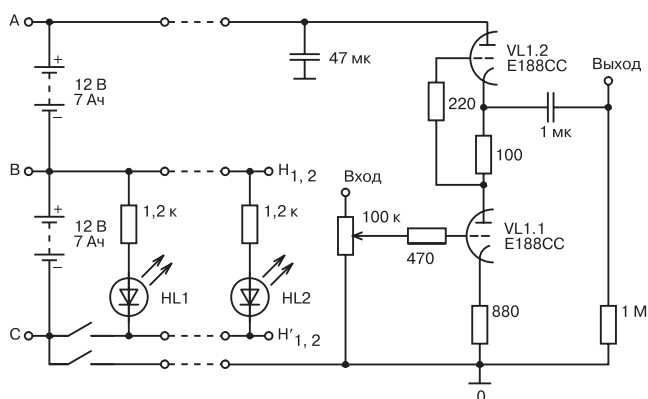


Рис. 2.33. Усилитель с питанием от двух аккумуляторных батарей

Бестрансформаторный (OTL) телефонный усилитель



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-масляным (Jensen) конденсатором легко преодолевают 500-долларовый барьер, т. е. стоимость вполне приличного выходного трансформатора.

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.

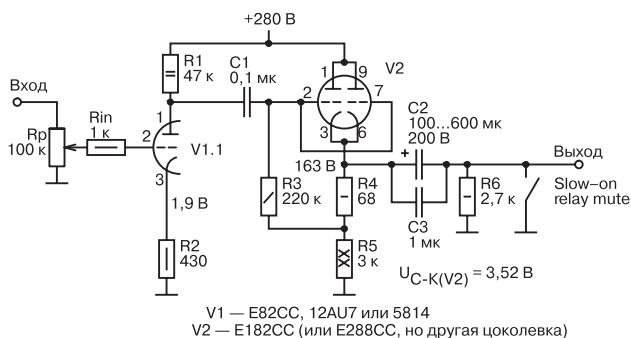


Рис. 2.34. Усилитель для головных телефонов

**Примечание.**

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.

Схема винил-корректора с батарейным смещением

Винил-корректор, схема которого приведена на рис. 2.35, — пример хорошо продуманной конструкции (разработчик — А. Лэш).

Характерные особенности этой схемотехники 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), упрощающая подбор ее элементов. Напомним, что отклонение их номиналов не должно превышать 1%(!!!);
- ♦ возможность использования различных типов ламп (разумеется, с соответствующим перерасчетом каскадов);
- ♦ отдельные источники питания для каждого каскада.

Недостатки схемы следующие:

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

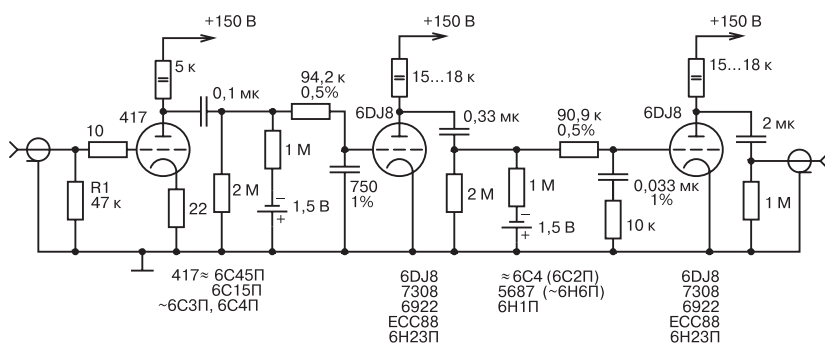


Рис. 2.35. Винил-корректор с батарейным смещением

2.10. Выходной лучевой тетрод 6П7С

Общие характеристики

Лампа 6П7С (рис. 2.36) предназначена для усиления мощности высокой частоты. Применяется в выходных каскадах строчной развертки телевизионных приемников, а также в передающих устройствах и выходных двухтактных каскадах усилителей низкой частоты.

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

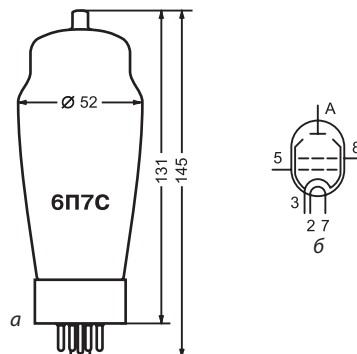


Рис. 2.36. Лампа 6П7С:

а — основные размеры; б — схематическое изображение (1, 4, 6 — не используются; 2 и 7 — подогреватель (накал); 3 — катод и лучеобразующие пластины; 5 — первая сетка; 8 — вторая сетка; А — анод (верхний колпачок на баллоне))

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

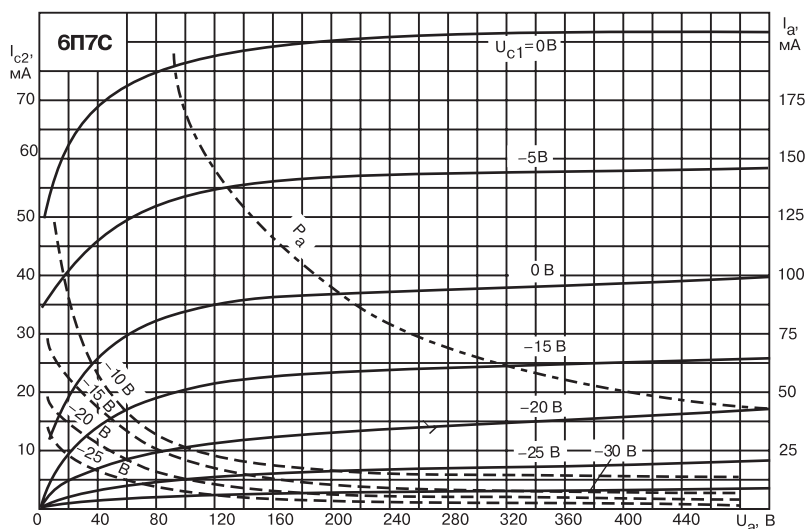


Рис. 2.37. Типовые вольтамперные характеристики 6П7С при напряжении на второй сетке 250 В

Зарубежные и отечественные аналоги

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 лампа 6П7С может быть заменена лампой 6П3С (6L6).

Достоинства и недостатки

Достоинства:

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

Недостатки:

- ♦ невысокая выходная мощность при работе в каскадах класса А1;
- ♦ 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 $(2—5)R_i$ у тетрода.

Значение R_a пентодов и тетродов следует уточнять экспериментально.

Схема 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

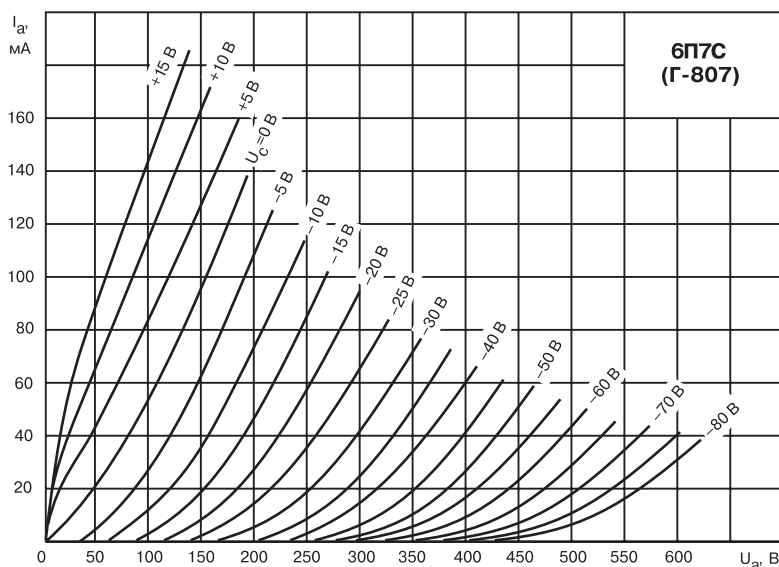


Рис. 2.38. Типовые вольтамперные характеристики 6П7С (Г-807) в триодном включении

комнаты (16—20 м²), требуется акустика чувствительностью не менее 92 дБ/Вт.

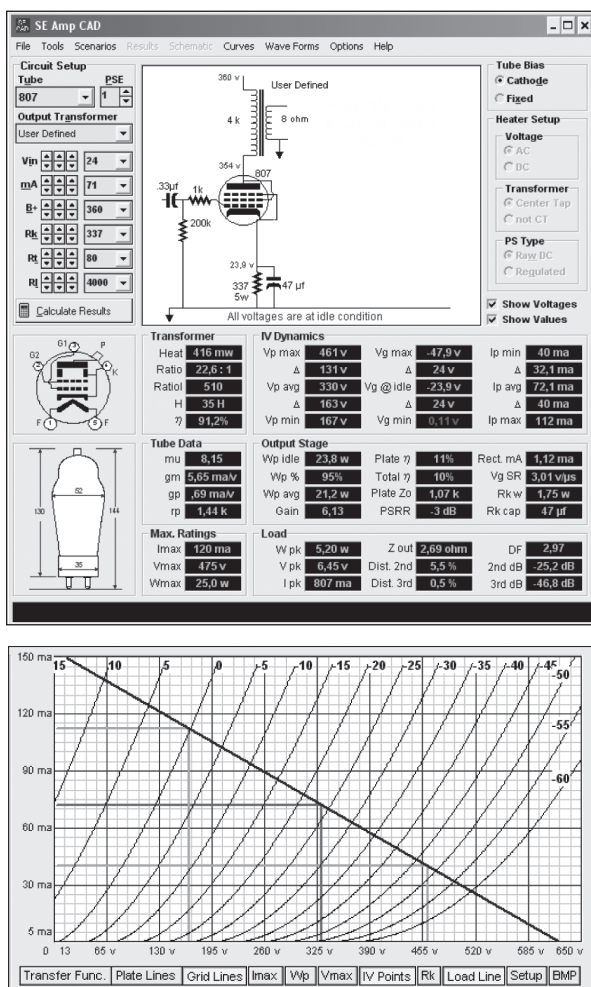
Недостаток схемы — выбор неоптимальной рабочей точки, в частности, низкое значение величины анодного тока.

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 [16].

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

Для моделирования использовалась программа SE Amp CAD фирмы GlassWare. Подробное рассмотрение этой программы приводится в главе 8.



2.11. Широкополосный выходной пентод 6П9

Общие характеристики

Лампа 6П9 (рис. 2.40) предназначена для широкополосного усиления мощности. Может применяться в одноламповых усилителях мощности низкой частоты.

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.

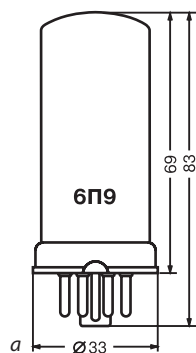


Рис. 2.40. Лампа 6П9:

a — основные размеры; *б* — схематическое изображение (1 — баллон и третья сетка; 2 и 7 — подогреватель (накал); 3 — внутренний экран; 4 — первая сетка; 5 — катод; 6 — вторая сетка; 8 — анод)

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

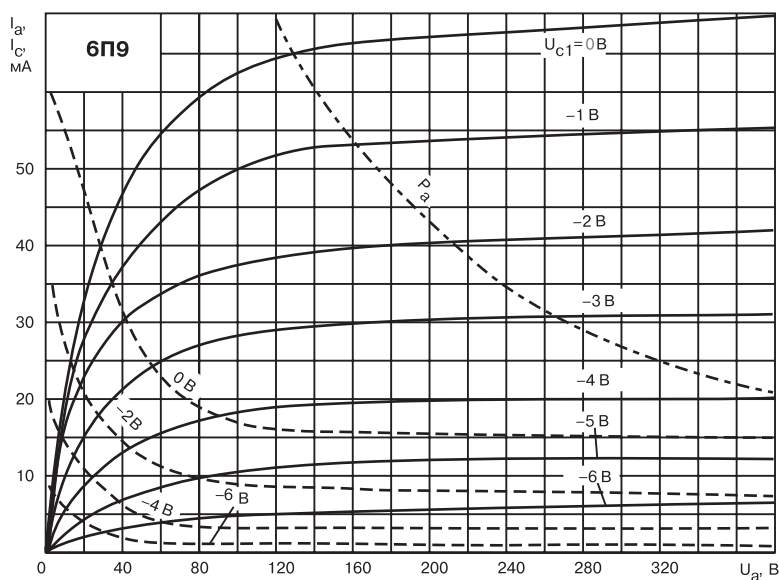


Рис. 2.41. Типовые вольтамперные характеристики 6П9 при напряжении на второй сетке 150 В

Зарубежные и отечественные аналоги

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

Триодное включение

На рис. 2.42 показаны анодные характеристики лампы 6П9 в триодном включении. Псевдотриод обладает следующими параметрами: $\mu = 23$, $S = 14$ мА/В, $R_i = 1,6$ кОм. Это наряду с большой мощностью анода позволяет применять его в драйверном каскаде для раскачки мощных выходных ламп.

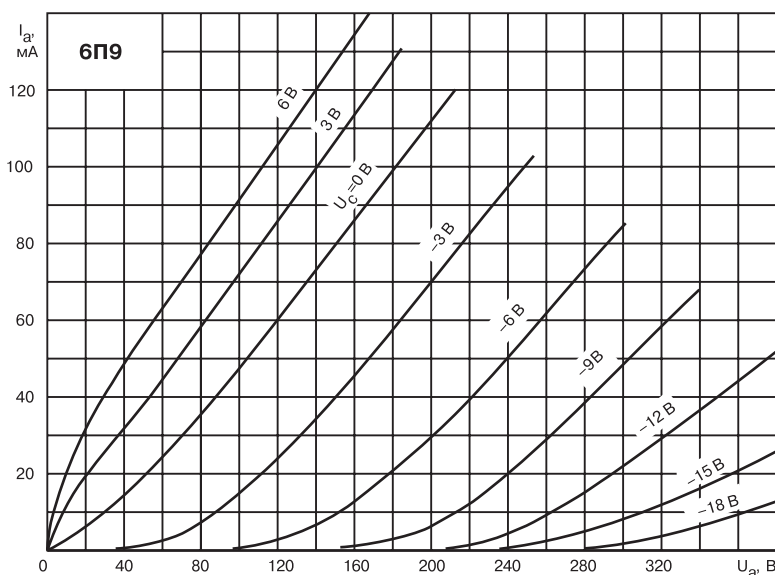


Рис. 2.42. Типовые вольтамперные характеристики 6П9 в триодном включении

Пентодное (штатное) включение лампы 6П9

Достоинства:

- ♦ высокая линейность, хорошая звуковая сигнатура;
- ♦ 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.

Рассмотрим 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 составляет 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 [4].

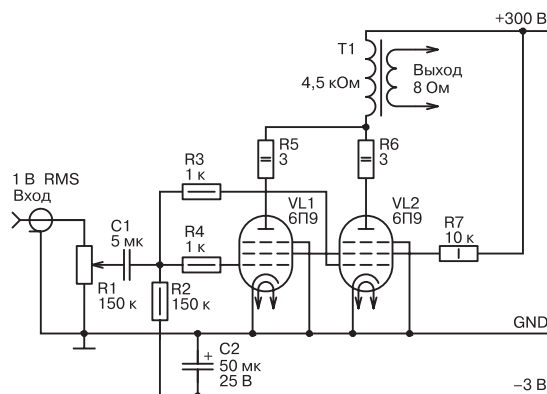


Рис. 2.43. Схема однокаскадного усилителя на лампах 6П9

2.12. Выходной лучевой тетрод 6П13С

Общие характеристики

Лампа 6П13С (рис. 2.44) предназначена для работы в схемах строчной развертки телевизионных приемников.

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.

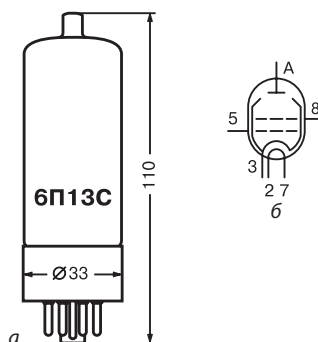


Рис. 2.44. Лампа 6П13С:

a — основные размеры; *б* — схематическое изображение (1, 4, 6 — не используются; 2 и 7 — подогреватель (накал); 3 — катод и лучеобразующие пластины; 5 — первая сетка; 8 — вторая сетка; А — анод (верхний колпачок на баллоне))

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 ± 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

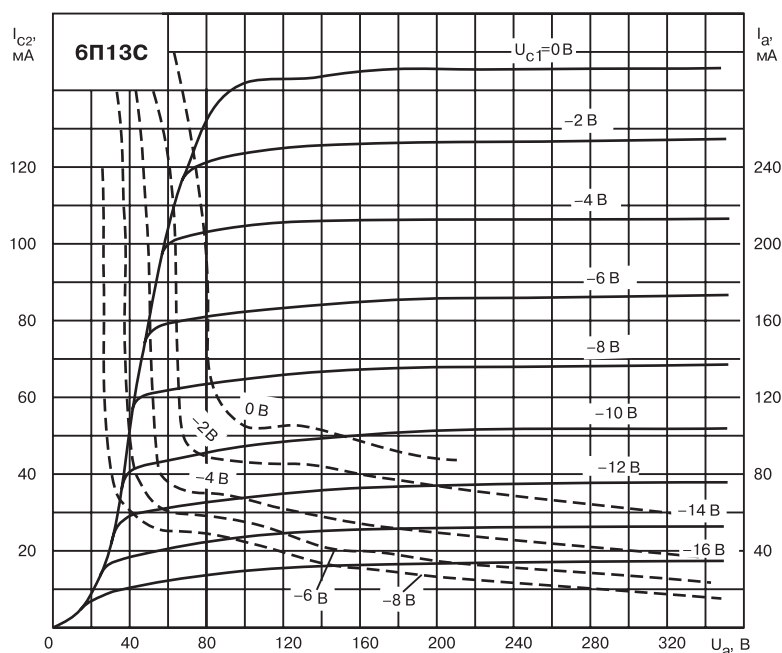


Рис. 2.45. Типовые вольтамперные характеристики 6П13С при напряжении на второй сетке 150 В

Зарубежные и отечественные аналоги

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

Достоинства и недостатки

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

Недостаток: невысокая выходная мощность при работе в каскадах класса А1.

Схемотехника: пример схемы 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 каче-

стве 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 (6П13С недорого и недефицитна).

Схемотехника: пример схемы 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 однотактного 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.

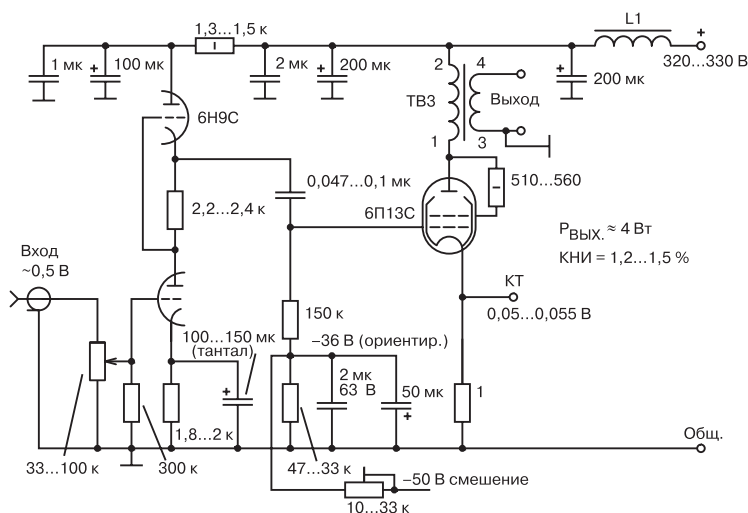


Рис. 2.46. Схема однотактного усилителя на лампе 6П13С

2.13. Выходные пентоды 6П14П, 6П18П, 6П43П

Общие характеристики

Лампы 6П14П (рис. 2.47), 6П18П, 6П43П предназначены для усиления мощности низкой частоты.



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

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

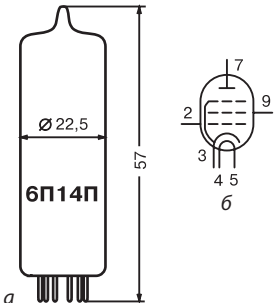


Рис. 2.47. Лампа 6П14П:
а — основные размеры; б — схематическое изображение (1, 6, 8 — не используются; 4 и 5 — подогреватель (накал); 2 — первая сетка; 3 — катод и третья сетка; 7 — анод; 9 — вторая сетка)

Основные параметры

Параметр	6П14П	6П18П	6П43П
Междуэлектродные емкости, пФ			
входная	11,0	11,5	Нет данных
выходная	7,0	6,0	Нет данных
проходная	0,2	0,2	Нет данных
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	Нет данных
крутизна характеристики, мА/В	11,3	11,0	7,5
внутреннее сопротивление, кОм	30	Нет данных	Нет данных
Предельно допустимые электрические параметры			
наибольшее напряжение накала, В	6,9	7,0	Нет данных
наименьшее напряжение накала, В	5,7	5,7	Нет данных
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	Нет данных
наибольшее постоянное напряжение между катодом и подогревателем, В	100	100	Нет данных
наибольшее сопротивление в цепи первой сетки, МОм	1,0	1,0	Нет данных

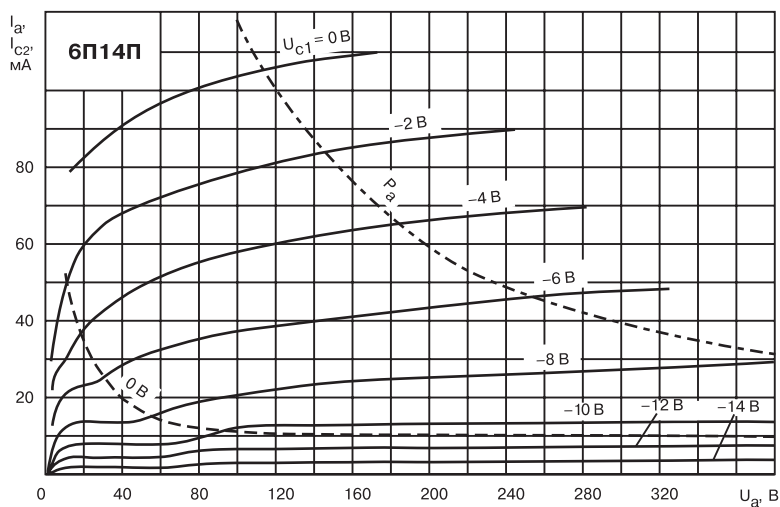


Рис. 2.48. Типовые вольтамперные характеристики 6П14П при напряжении на второй сетке 250 В

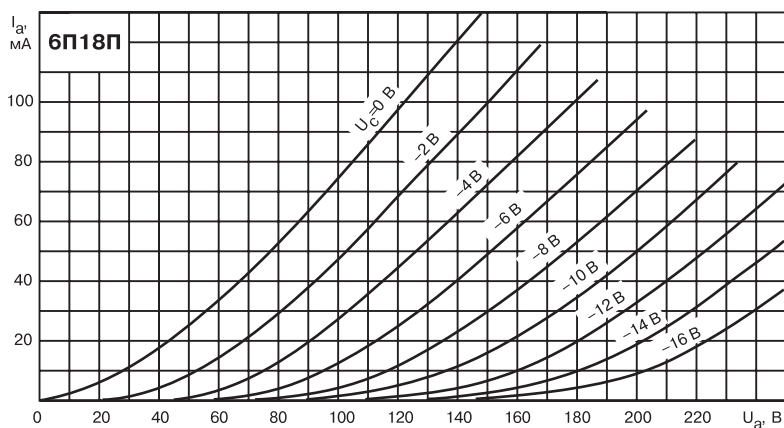


Рис. 2.49. Типовые вольтамперные характеристики 6П18П в триодном включении

Зарубежные и отечественные аналоги

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

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- ♦ хорошая звуковая сигнатура (в триодном и пентодном включениях), т. к. была разработана для звукового применения. Отметим, что наилучшей звуковой сигнатурой из данного семейства ламп (по мнению авторов книги) обладают не 6П14П, а 6П18П и, особенно, 6П43П. Импортные лампы (прежде всего немецкого производства) звучат еще лучше;
- ♦ высокое допустимое напряжение на второй сетке, равное допустимому напряжению на аноде;
- ♦ сравнительно высокая крутизна;
- ♦ малое (для пентода) внутреннее сопротивление и, соответственно, величина оптимальной анодной нагрузки (3—3,6 кОм);
- ♦ широкое распространение, невысокая цена.

Недостаток:

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

Схемотехника: пример схемы однотактного усилителя

На рис. 2.50 приведена схема однотактного усилителя, выходной каскад которого реализован на лампе 6П43П (6П18П) в триодном включении (разработчик — А. Манаков).

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 познаться 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».

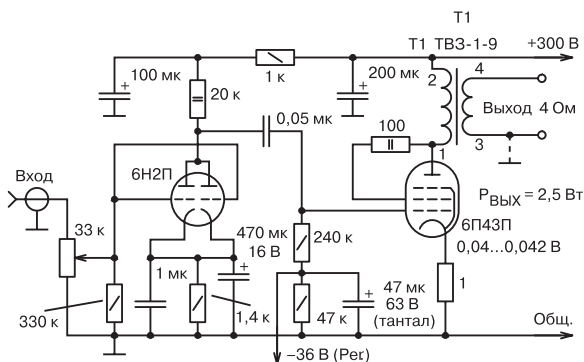


Рис. 2.50. Однотактный усилитель на лампе 6П43П

Схемотехника: пример схемы двухтактного выходного каскада

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

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

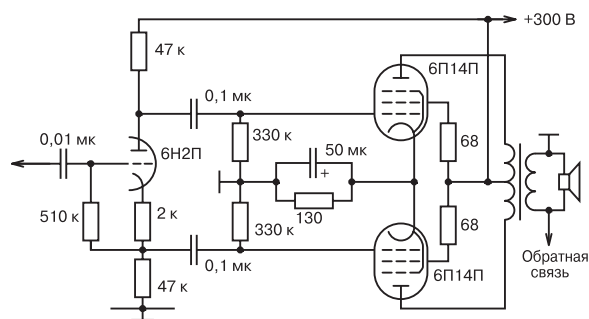


Рис. 2.51. Схема двухтактного каскада на лампах 6П14П

них, были высокочувствительными);

- ♦ технологичность, т. е. 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);
- ♦ снижением общего коэффициента нелинейных искажений (вследствие применения общей отрицательной обратной связи — ООС).

Т. е. используются методы, подвергающиеся 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 одноконтурной схеме.

Во-вторых, использование ООС приводит к появлению интермодуляционных искажений (интермодуляций), обусловленных взаимодействием гармоник разных порядков.

А **большая выходная мощность** усилителя достигается использованием 6П14П в штатном (пентодном) включении. Но 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 быстросзатухающий «спектральный хвост», т. е. гармонический ряд, в котором вторая гармоника намного превышает третью, третья — четвертую и т. д.



Примечание.

Следует отметить, что быстросзатухающий «спектральный хвост» не является параметром лампы, а пентода — тем более! Соотношения гармоник порой принципиально изменяются даже с ростом выходной мощности, не говоря о других факторах!

Отсутствие четных гармоник не позволяет двухтактным схемам обеспечить подобный гармонический ряд, что и является причиной неприятия звучания двухтактных усилителей рядом экспертов.

Есть и другая причина — выходной трансформатор двухтактного усилителя работает с «переходом через ноль» — по общей петле гистерезиса, что вносит свои дополнительные искажения.

Полезные ссылки

1. ВAX в триодном режиме лампы 6П14П — <http://www.klausmobile.narod.ru/testerfiles/el84.htm>, а также ее клонов: http://www.klausmobile.narod.ru/testerfiles/el_clones_r.htm.
2. Одноламповый миниоконечник А. Воробьева — <http://diyaudio.s-audio.com/viewtopic.php?f=17&t=188>.

2.14. Выходной лучевой тетрод 6П45С

Общие характеристики

Лампа 6П45С (рис. 2.52) предназначена для работы в схемах строчной развертки телевизионных приемников.

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

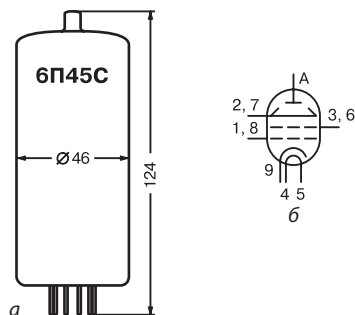


Рис. 2.52. Лампа 6П45С:

а — основные размеры; б — схематическое изображение (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))

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

Зарубежные аналоги

Лампа 6П45С имеет близкие зарубежные аналоги — EL509, 6KG6.

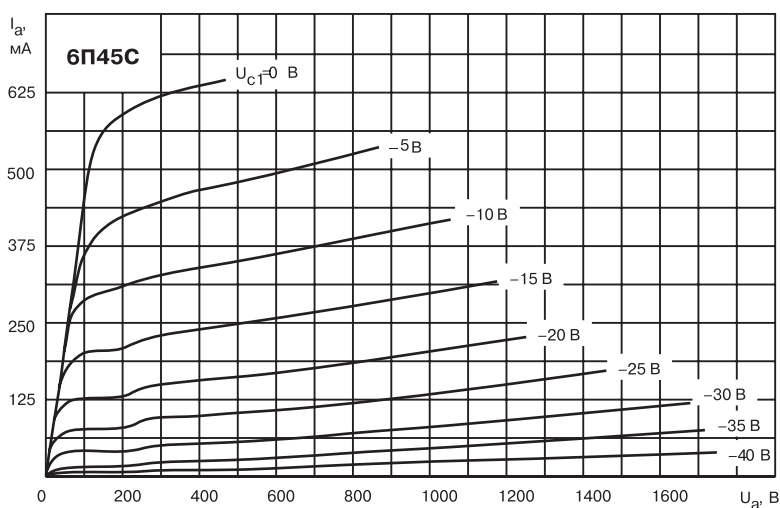


Рис. 2.53. Типовые вольтамперные характеристики 6П45С при напряжении на второй сетке 140 В

Достоинства и недостатки

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:

- ♦ высокая входная емкость приводит к раннему завалу высокочастотной области АЧХ;
- ♦ требует большой величины напряжения раскачки.

Схемотехника: классический однотактный усилитель

В однотактном усилителе (рис. 2.54) выходной каскад выполнен на лампе 6П45С в триодном включении с фиксированным смещением (разработчик — А. Манакон). Выходная мощность достигает 12 Вт (очень большая величина для однотактного усилителя!).

Анодные характеристики псевдотриода 6П45С представлены на рис. 2.55. Он обладает низким внутренним сопротивлением (350 Ом), что существенно снижает требования к индуктивности первичной

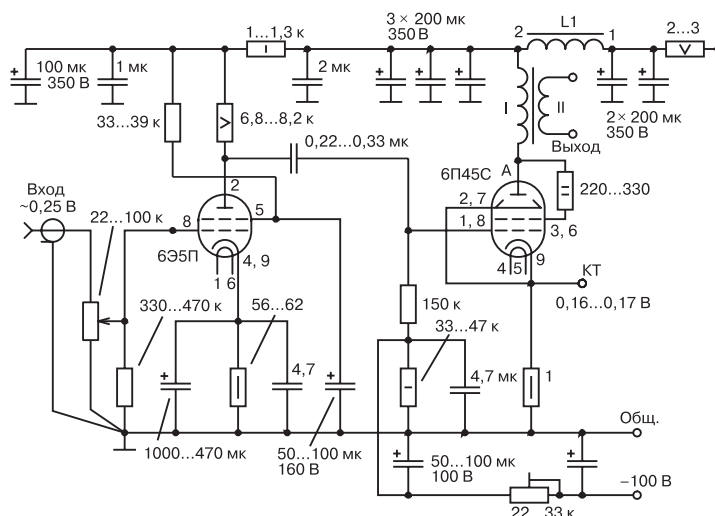


Рис. 2.54. Схема классического однотактного усилителя на лампе 6П45С

обмотки выходного трансформатора (достаточно $R_a = 1 \text{ кОм}$). Режимы выходной лампы:

$$U_a = 250\text{—}260 \text{ В}, I_a = 160\text{—}170 \text{ мА}, U_c = -50 \text{ В}.$$

Напряжение питания усилителя — 280 В.



Примечание.

Не рекомендуется использовать лампы, бывшие в употреблении.

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.

Сравнение анодных характеристик, представленных на рис. 2.55 и рис. 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 под-

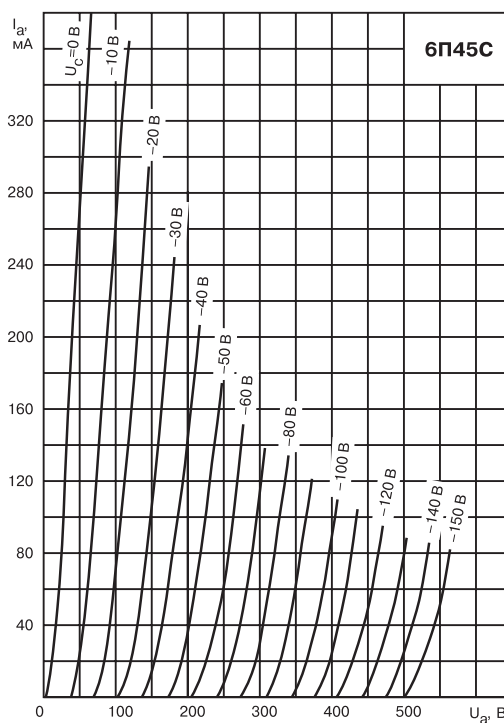


Рис. 2.55. Анодные характеристики лампы 6П45С в триодном включении

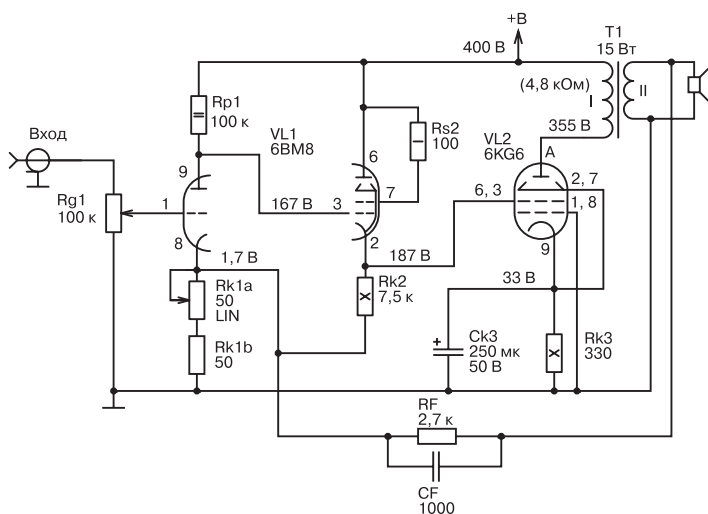


Рис. 2.56. Однотактный усилитель с нестандартным включением лампы EL509/6KG6

тверждается 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.

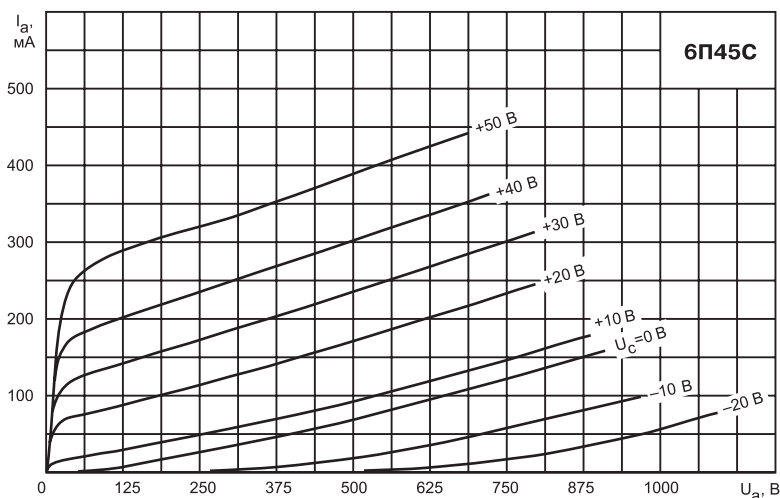


Рис. 2.57. Анодные характеристики лампы EL509/6KG6 с раскачкой по второй сетке

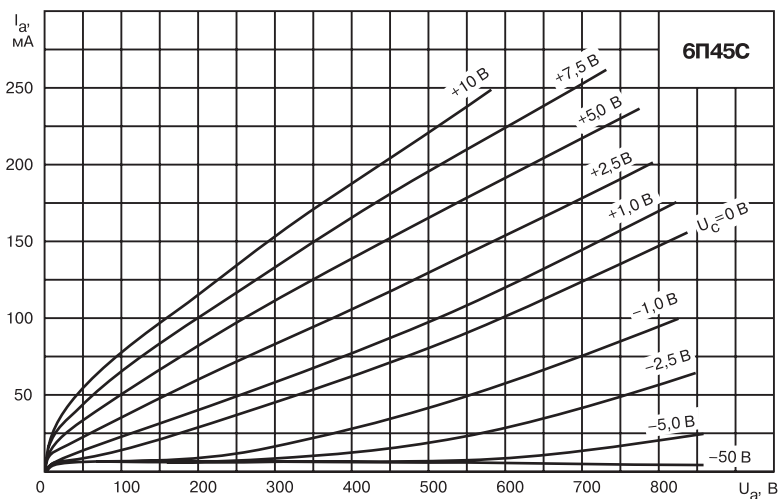


Рис. 2.58. Анодные характеристики лампы EL509/6KG6 при раскачке по первой и второй сеткам одновременно

**Внимание.**

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

Схема двухтактного усилителя

Усилитель (разработчик — А. Манаков), схема которого приведена на рис. 2.59, выполнен по схеме Вильямсона (подробное изложение концепции Вильямсона: <http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n2/scott.htm>):

- ♦ первый каскад — на лампе 6НЗП является усилителем сигнала. (Отметим эту лампу как одну из лучших малосигнальных наряду с 6Н1П);
- ♦ второй каскад — фазоинвертором;
- ♦ третий каскад — дифференциальным драйвером на лампе 6Н6П.

Выходной каскад двухтактный на лампах 6П45С.

Предварительные и драйверный каскады в настройке не нуждаются. 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.

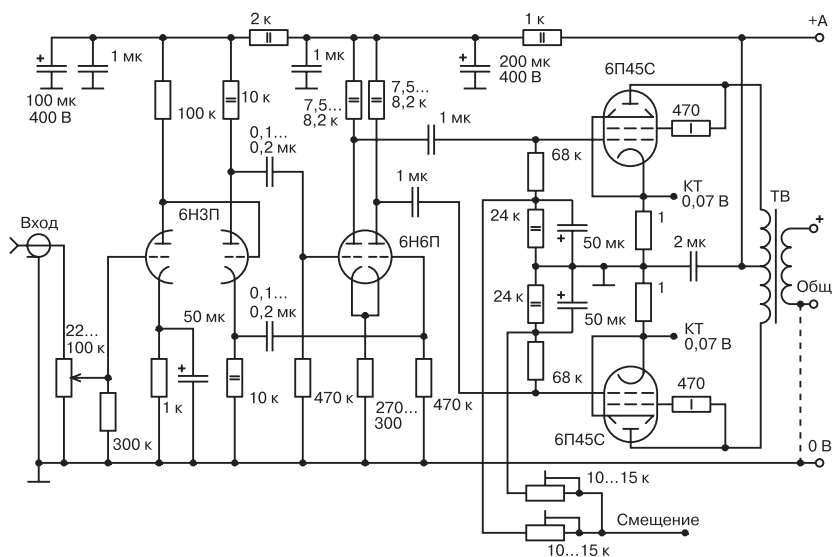


Рис. 2.59. Двухтактный усилитель на лампах 6П45С

2.15. Триод высокой частоты с низким уровнем внутриламповых шумов 6СЗП

Общие характеристики

Лампа 6СЗП (рис. 2.60) предназначена для усиления напряжения высокой частоты.

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

Рис. 2.60. Лампа 6СЗП:
а — основные размеры; б — схематическое изображение (1 — не используется; 2 — сетка; 3, 6, 7, 8—катод; 4 и 5 — подогреватель (накал); 9 — анод)

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ	
входная	6,7 ±1,1
выходная	1,65 ±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 ±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

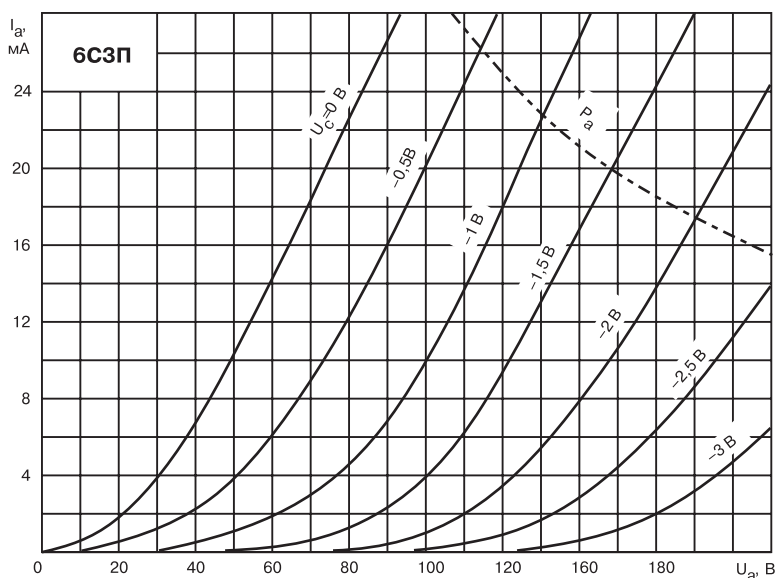


Рис. 2.61. Типовые вольтамперные характеристики 6С3П

Зарубежные и отечественные аналоги

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. Остальные контакты должны быть свободны!

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- ♦ хорошая звуковая сигнатура;
- ♦ высокая крутизна характеристики;
- ♦ высокий коэффициент усиления;
- ♦ низкое внутреннее сопротивление;
- ♦ малый уровень шумов;
- ♦ лампа недорогая и распространенная.

Недостатки:

- ♦ необходим отбор по минимальному уровню микрофонного эффекта;
- ♦ 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).

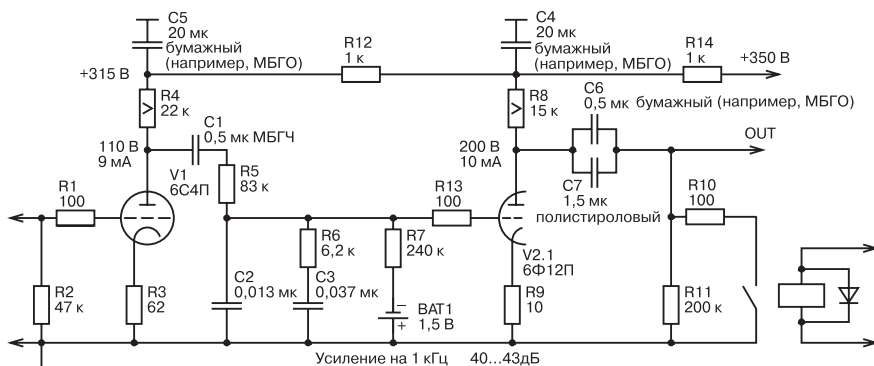


Рис. 2.62. Схема винил-корректора

Низкое внутреннее сопротивление ($2,5$ кОм) позволяет применить в анодной нагрузке резистор небольшого номинала. Ввиду большого коэффициента усиления лампы, автор схемы отказался от шунтирования катодного резистора электролитическим конденсатором, негативно влияющим на звучание.

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

Однотактный усилитель

Достоинства лампы 6СЗП 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).

Данную схему можно рекомендовать опытным радиолюбителям.



Примечание.

Информация по трансформаторам, используемым в схеме, находится на сайте фирмы «Аудиоинструмент» по адресу <http://www.audioinstrument.narod.ru>; E-mail: audioinstrument@mail.ru.

Следует отметить хорошее качество начального уровня и доступные цены моточных изделий данной фирмы.

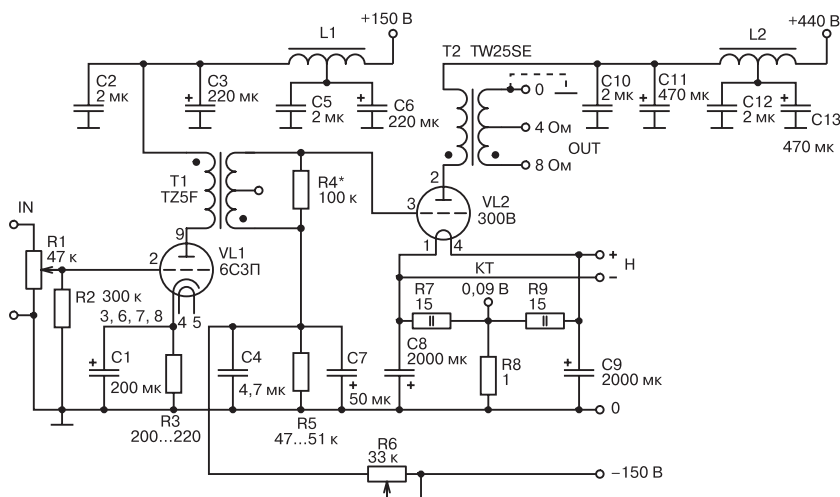


Рис. 2.63. Схема высококачественного однотактного усилителя

2.16. Триод 6С19П

Общие характеристики

Лампа 6С19П (рис. 2.64) предназначена для работы в качестве регулирующей в электронных стабилизаторах напряжения.

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

Рис. 2.64. Лампа 6С19П:
а — основные размеры; б — схематическое изображение (1, 3, 6, 8 — анод; 2, 7 — сетка; 4 и 5 — подогреватель (накал); 9 — катод)

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

Зарубежные и отечественные аналоги

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

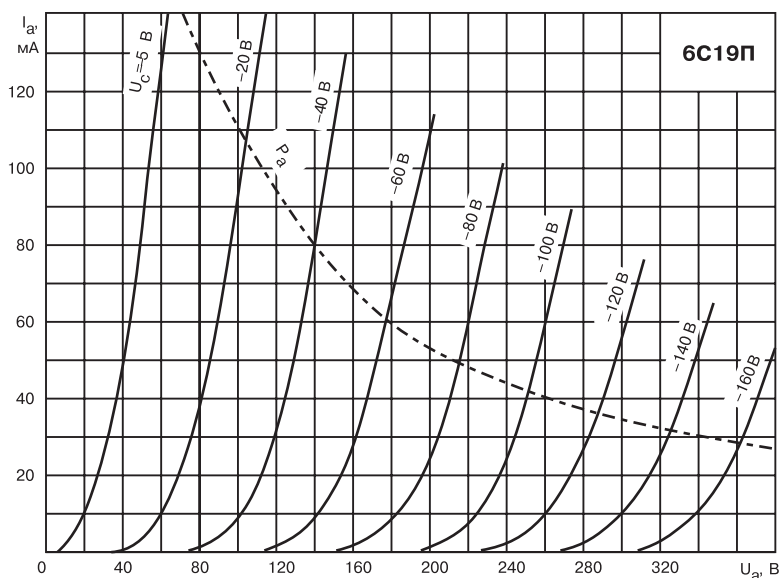


Рис. 2.65. Типовые вольтамперные характеристики 6С19П

Достоинства и недостатки

Достоинства:

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

Недостатки:

- ♦ сложность раскочки, малая (для выходного каскада) мощность;
- ♦ низкий коэффициент усиления;
- ♦ по мнению авторов книги в звучании этой лампы заметны некоторая «транзисторность» и отсутствие слитности. Например, разрекламированный усилитель «Маэстро Гроссо» (разработчик Ю. Макаров) с 3 (тремя!) параллельно включенными 6С19П выходного каскада, среди всего многообразия музыкального материала отдает заметное предпочтение ...тестовым дискам.

Схемотехника: драйверный каскад и однотактный усилитель

Драйверный каскад (рис. 2.66) построен на лампе 6С19П, т. к. для раскочки транзисторной части гибридного усилителя требуются зна-

чительная мощность и амплитуда выходного сигнала, малое выходное сопротивление (разработчик — А. Манаков).

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 большего числа ламп не следует:

- ♦ **во-первых**, затрудняется налаживание усилителя;
- ♦ **во-вторых**, существенно возросший суммарный ток анода потребует усложнения конструкции выходного трансформатора.

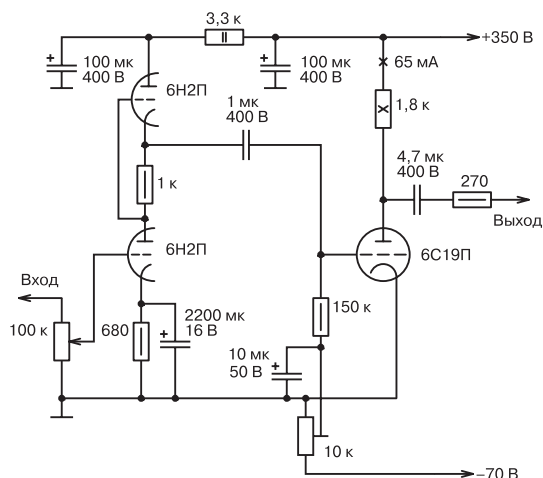


Рис. 2.66. Схема входного и драйверного каскадов гибридного усилителя

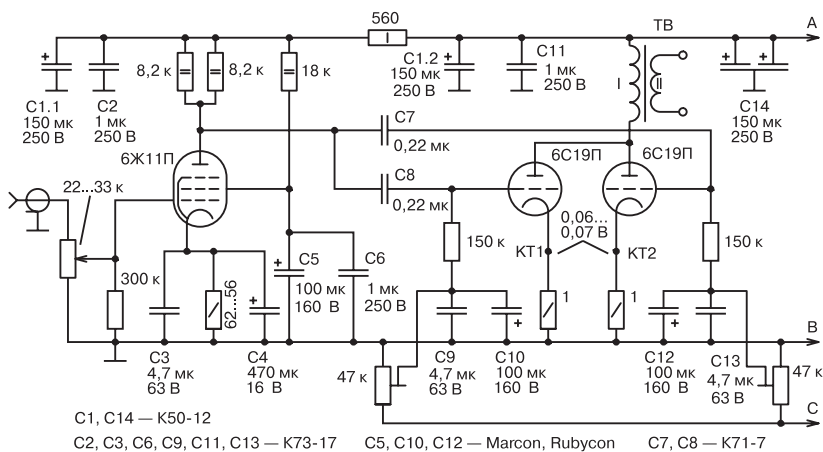


Рис. 2.67. Однотактный усилитель

2.17. Триод 6С33С

Общие характеристики

Лампа 6С33С (рис. 2.68) предназначена для работы в качестве регулирующей в электронных стабилизаторах напряжения.

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

Рис. 2.68. Лампа 6С33С:
а — основные размеры; б — вид со стороны выводов;
в — схематическое изображение (1, 2 и 6, 7 — подогреватель (накал); 3 — катод; 4 — анод; 5 — сетка)

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

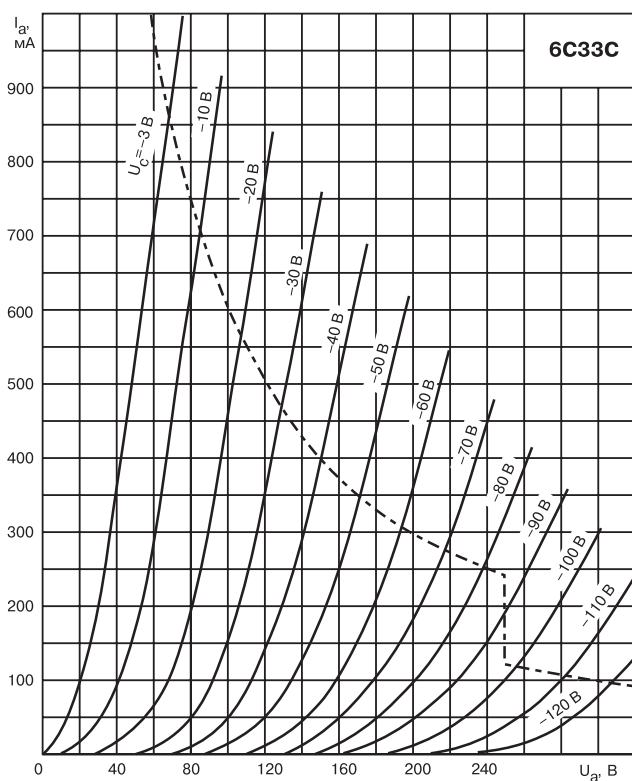


Рис. 2.69. Типовые вольтамперные характеристики 6С33С

Зарубежные и отечественные аналоги

Лампа 6С33С имеет прямой аналог — 6С18С. Зарубежных аналогов не имеет.

Достоинства и недостатки

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 раскачки.

**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.

Схемотехника: однотоктный усилитель

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

Лампе 6С33С свойственна температурная и временная нестабильность. Чтобы не допустить саморазогрева, необходимо использовать автоматическое (либо комбинированное) смещение.

Возможен и такой вариант: лампа выдерживается в рабочем режиме каскада с автосмещением 2-3 часа, измеряется величина смещения, а затем каскад переводится на фиксированное смещение измеренной величины.

Однако подобную процедуру придется выполнять при каждой замене ламп (лучше измерить величину смещения сразу для всех 6С33С, имеющих в наличии!), да и неплохо стабилизировать анодное питание (или сетевое напряжение с помощью стабилизатора переменного тока).

Но это все скорее технические изыски, а не борьба за качество звучания. Многочисленные эксперименты авторов книги показали, что наилучший вариант организации питания выходных каскадов на 6С33С — непосредственное, т. е. от сети 220 В к выпрямителю без силового (анодного) трансформатора!

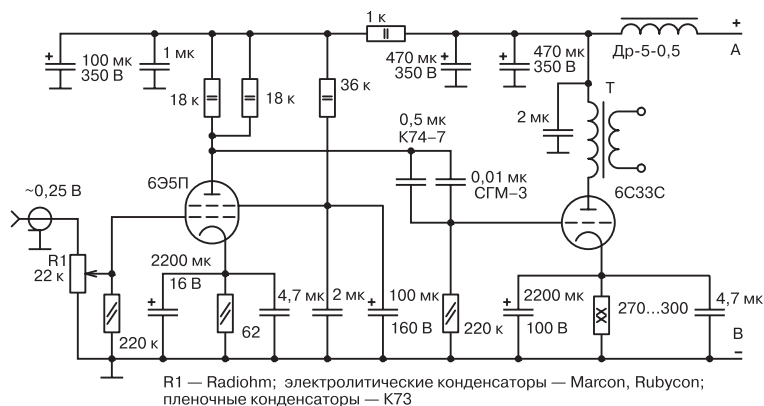


Рис. 2.70. Схема однотоктного усилителя на лампе 6С33С

**Внимание.**

В этом случае обязателен входной трансформатор для гальванической развязки, межобмоточная изоляция которого должна выдерживать воздействие напряжения не ниже 380 В!

При этом сопротивление первичной и вторичной обмоток переменному току должно составлять не менее 5 кОм, частотный диапазон 20—20000 Гц при минимальными нелинейностью и межобмоточной (между первичной и вторичной обмотками) емкостью (через нее анодное напряжение проникает на выход источника сигнала).

**Внимание.**

Изготовление такого устройства — сложнейшая инженерная задача. Во избежание поражения электрическим током данный вариант не рекомендуется радиолюбителям, не имеющим опыта работы с высокими напряжениями!

Схемотехника: двухтактный усилитель

Особенность схемотехники С. Сакумы — построение всех каскадов по трансформаторной схеме. Выходной каскад усилителя (рис. 2.71) на лампах 6С33С построен по двухтактной схеме.

Видимо, разработчик стремился получить максимально возможную выходную мощность, что объясняет работу каскада в классе АВ. Некоторые специалисты считают 6С33С «двухтактной» лампой, т. е. раскрывающей все возможности именно в таких схемах!

Схемотехника: бестрансформаторный усилитель

Схема, показанная на рис. 2.72, — пример типичного построения ОТЛ: выходной SEPP-каскад, класс усиления АВ, 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!

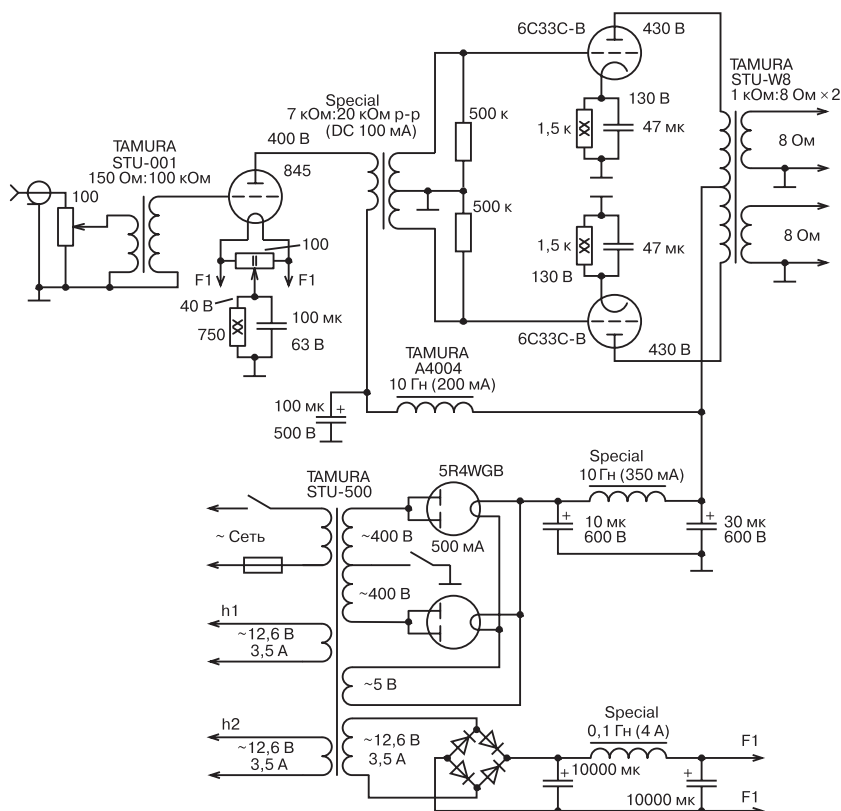


Рис. 2.71. Схема двухтактного усилителя на лампах 6С33С

Двуполярное питание, кроме того, требует удвоенного количества конденсаторов фильтра. Помимо удорожания блока питания увеличатся масса и габариты шасси (корпуса). В итоге лишь дополнительные затраты на элементы блока питания и корпус могут превысить стоимость приличного выходного трансформатора!



Примечание.

Качество звучания усилителя, охваченного глубокой общей ООС и с высоким выходным сопротивлением, однозначно уступает собратьям с трансформаторным выходом, лишенным подобных недостатков.

Создается ощущение, что OTL-идеология служит не для достижения качественного звукоусиления, а в целях демонстрации изящных схемотехнических решений.

2.18. Триод-пентод 6Ф3П

Общие характеристики

Лампа 6Ф3П (рис. 2.73) предназначена для работы в усилителях низкой частоты и блоках кадровой развертки телевизионных приемников.

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

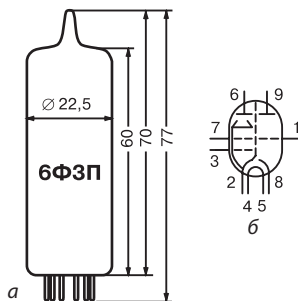


Рис. 2.73. Лампа 6Ф3П:

а — основные размеры; б — схематическое изображение (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)

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	
напряжение накала, В	6,3
ток накала, мА	850 ±80
напряжение на аноде триода, В	170
ток в цепи анода триода, мА	2,5 ±1,2
крутизна характеристики триода, мА/В	2,5
коэффициент усиления триода	75
внутреннее сопротивление триода, кОм	30
напряжение на аноде пентода, В	170
напряжение на второй сетке пентода, В	170
ток в цепи анода пентода, мА	41 ±13
крутизна характеристики пентода, мА/В	7 ±2
внутреннее сопротивление пентода, кОм	15
Предельно допустимые электрические параметры	
наибольшее напряжение накала, В	6,9
наименьшее напряжение накала, В	5,7
наибольшее напряжение на аноде триода, В	250

наибольшее напряжение на аноде пентода, В	275
наибольшее напряжение на второй сетке пентода, В	250
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде триода, Вт	1,0
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде пентода, Вт	8,0
наибольшая мощность, рассеиваемая на второй сетке пентода, Вт	2,5
наибольший ток в цепи катода триода, мА	15
наибольший ток в цепи катода пентода, мА	60
наибольшее сопротивление в цепи первой сетки пентода при автоматическом смещении, МОм	1,0
наибольшее сопротивление в цепи сетки пентод при фиксированном смещении, МОм	0,5
наибольшее сопротивление в цепи первой сетки триода при автоматическом смещении, МОм	3,0
наибольшее сопротивление в цепи первой сетки триода при фиксированном смещении, МОм	1,0

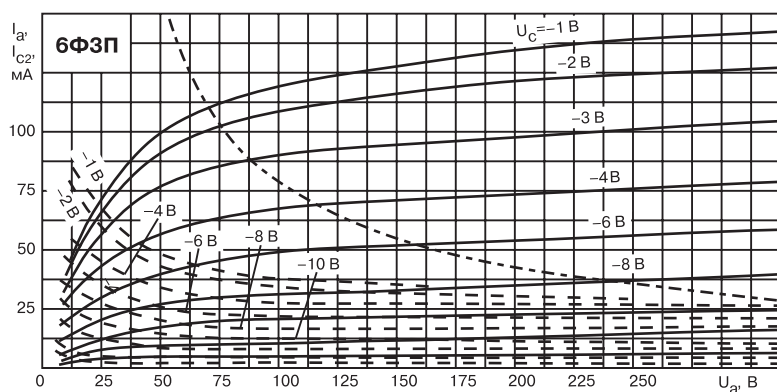


Рис. 2.74. Типовые вольтамперные характеристики пентода 6ФЗП при напряжении на второй сетке 150 В

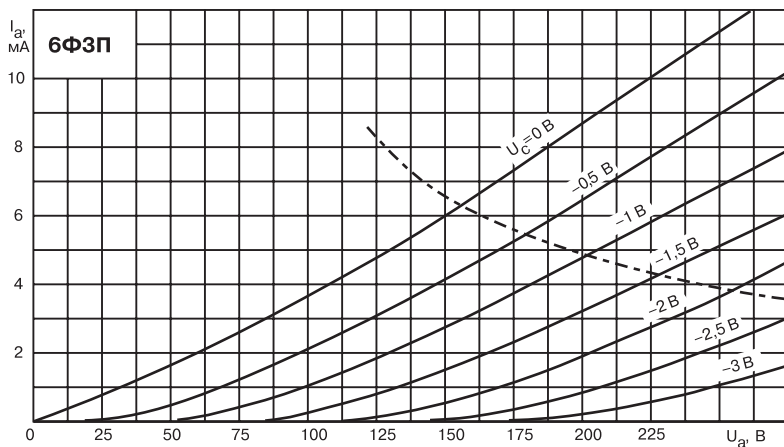


Рис. 2.75. Типовые вольтамперные характеристики триода 6ФЗП

Зарубежные и отечественные аналоги

Лампа 6Ф3П имеет прямые зарубежные аналоги — 6BM8, ECL82.

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

Достоинства и недостатки

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.



Примечание.

Усилитель, схема которого разработана А. Манаковым и показана на рис. 2.76, — пожалуй, идеальный вариант для начинающих!

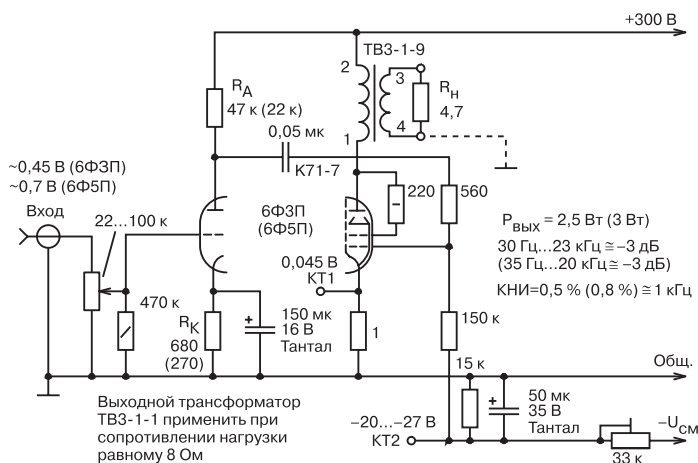


Рис. 2.76. Однотактный усилитель на одном баллоне

Все детали можно извлечь из старого лампового телевизора, радиолы, магнитофона. Настройка сводится лишь к установке тока анода 45 мА (контролируется по падению напряжения в 45 мВ на катодном резисторе).

Если реализация фиксированного смещения вызовет затруднения, то можно использовать автоматическое: заменить катодный резистор резистором номиналом 500 Ом (2 Вт), зашунтировать его конденсатором емкостью 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. Если, конечно, в этом есть необходимость: 6ФЗП — одна из самых недорогих и распространенных ламп.

Подробное руководство по изготовлению одного из вариантов этого усилителя находится здесь:

<http://datagor.ru/amplifiers/tubes/1535-usilitel-6f3p-montazh.html>

Схемотехника: винил-корректор

В схеме винил-корректора (рис. 2.77, разработчик — К. Рочельт) [11] пентодная часть лампы ECL86 используется в штатном включении для достижения максимального усиления.

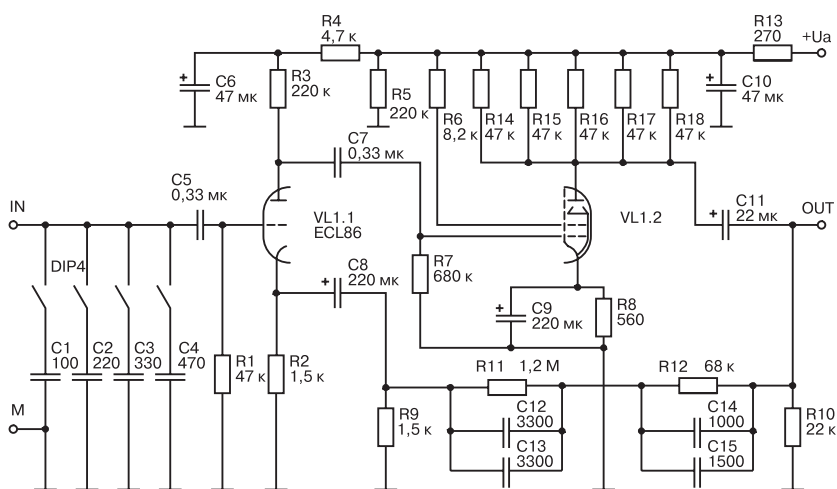


Рис. 2.77. Схема винил-корректор на одном баллоне

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).

**Примечание.**

Кстати, процедуру подбора придется повторять при каждой замене ламп!

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 усиления.

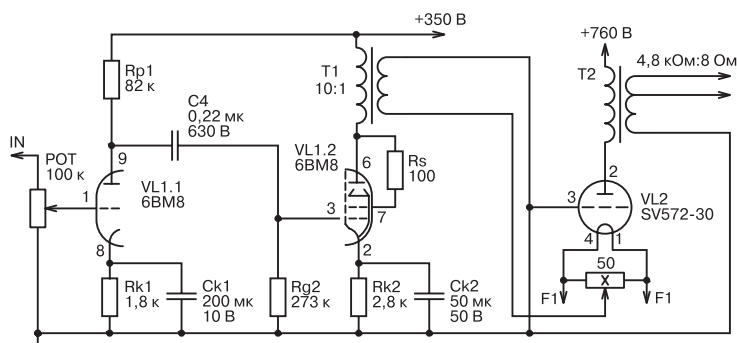


Рис. 2.78. Входной и драйверный трансформаторный каскады на лампе 6ФЗП

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.

Лампа SV572-3 является левой и работает без токов сетки (класс A1) в отличие от правой лампы SV572-30, работающей в классе A2. 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.

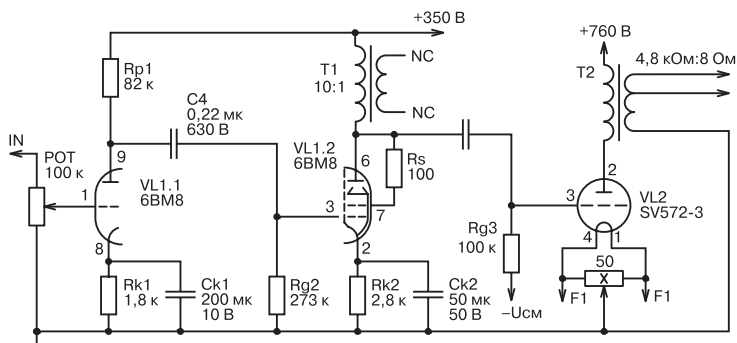


Рис. 2.79. Входной и драйверный дроссельные каскады на лампе 6ФЗП

2.19. Широкополосный триод-пентод 6Ф12П

Общие характеристики

Лампа 6Ф12П (рис. 2.80) предназначена для работы в частотно-преобразовательных каскадах и усилителях напряжения высокой и низкой частоты.

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

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

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 ±2,5
крутизна характеристики пентода, мА/В	15 ±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



Примечание.

Отметим, что пентодная часть по своим параметрам идентична лампе 6Ж43П.

Зарубежные и отечественные аналоги

Лампа 6Ф12П не имеет прямых аналогов.

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- ♦ хорошая звуковая сигнатура;
- ♦ очень высокие усиление, крутизна триода и пентода (в штатном и триодном включениях);
- ♦ малое 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.

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.



Примечание.

По мнению авторов, звучание пентодной части 6Ф12П в триодном включении гораздо предпочтительнее!

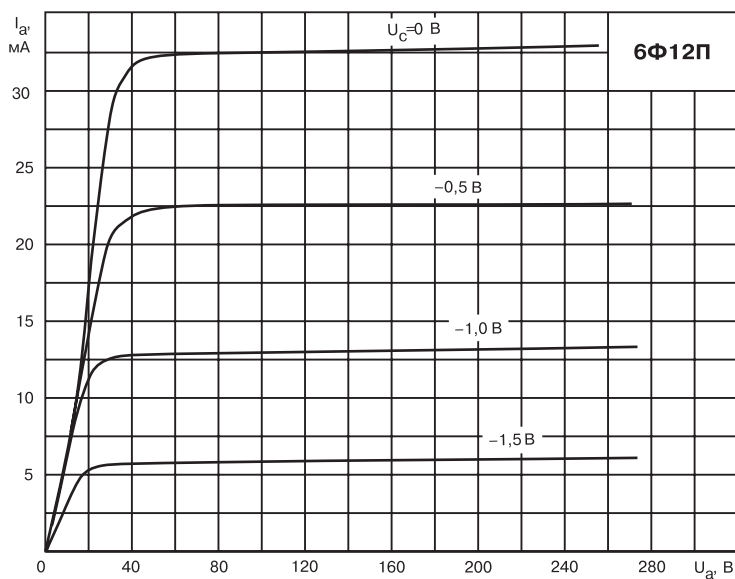


Рис. 2.81. Типовые вольтамперные характеристики пентода 6Ф12П при напряжении на второй сетке 150 В

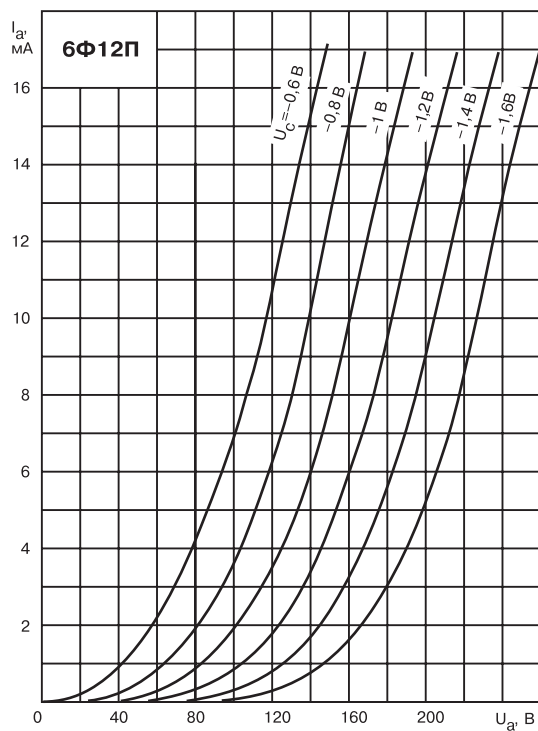


Рис. 2.82. Типовые вольтамперные характеристики триода 6Ф12П

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)

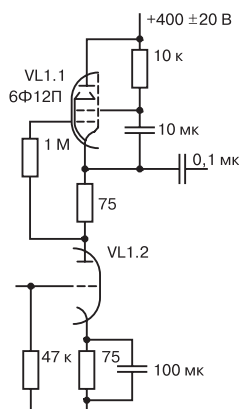


Рис. 2.83. Схема мю-повторителя на 6Ф12П

Триод лампы 6Ф12П обладает очень высоким (более 100) коэффициентом усиления. Реализовать его в полной мере можно двумя способами:

- ♦ построением трансформаторного каскада;
- ♦ одного из вариантов SRPP.

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.

Дополнительная информация

Весьма перспективным представляется использование пентода лампы в триодном включении. Оптимальная рабочая точка выглядит так:

$$U_a = 220—250 \text{ В}, U_c = -3 \text{ В}, I_a = 30—35 \text{ мА}.$$

Это также соответствует лампе 6Ж43П в триодном включении.

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

2.20. Выходной тетрод высокой частоты 6Э5П

Общие характеристики

Лампа 6Э5П (рис. 2.84) предназначена для усиления напряжения и мощности на частотах до 200 МГц. Может применяться в выходных каскадах низкой частоты.

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.

Рис. 2.84. Лампа 6Э5П:
а — основные размеры; б — схематическое изображение (1 и 6 — подогреватель (накал); 2 — анод; 4, 9 — катод и экран; 5 — вторая сетка; 8 — первая сетка)

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 ±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

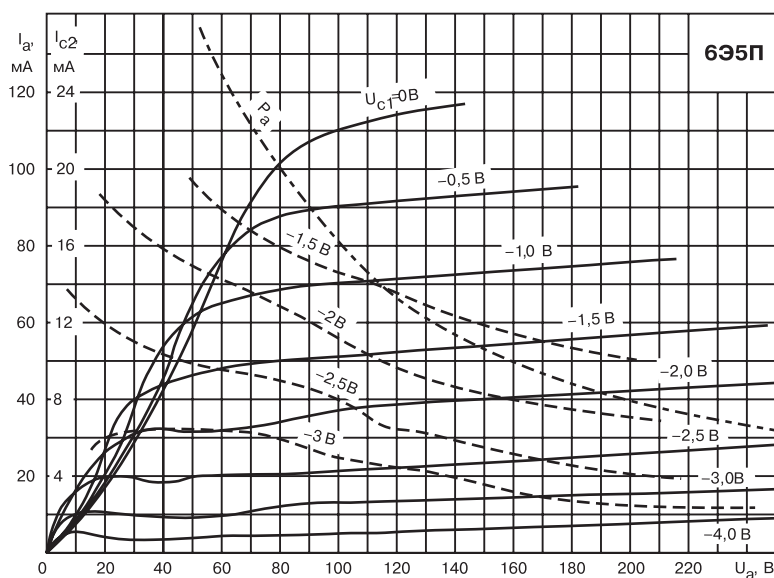


Рис. 2.85. Типовые вольтамперные характеристики 6Э5П в тетродном включении при напряжении на второй сетке 150 В

Зарубежные и отечественные аналоги

Лампа не имеет прямых отечественных и зарубежных 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.

Достоинства и недостатки

Достоинства: высокая линейность, превосходная звуковая сигнатура в обоих включениях (пентодном и триодном); большой коэффициент усиления, высокая крутизна, позволяющие реализовать двухкаскадный усилитель; большая мощность, рассеиваемая на аноде; лампа может использоваться в качестве драйверной и даже выходной; очень низкое (для тетрода) внутреннее сопротивление; низкий уровень шумов; низкая цена.

Недостатки: редкий случай, когда крайне сложно найти таковые! Можно отметить лишь несколько затянутый фронт сигнала, но, повторимся, это по гамбургскому счету!

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: $K = 200$, $U_{\text{вых}} = 100 \text{ В}$ (среднеквадратичное).

Этого достаточно для построения двухкаскадного усилителя, т. е. каскад на лампе 6Э5П является одновременно входным и драйверным (для раскачки выходных ламп).

Пример 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 110 В, на экранной сетке — около 100 В, смещение $-1,5 \text{ В}$.



Примечание.

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.

При подборе величины этого резистора необходимо следить, чтобы анодное напряжение превышало напряжение на второй сетке во избежание возникновения динаatronного эффекта.

Благодаря таким параметрам, как $\mu = 200$, $S = 30 \text{ мА/В}$, $R_i = 8 \text{ кОм}$, $R_a = 6,2—8,2 \text{ кОм}$, $C_{\text{пр}} = 0,6 \text{ пФ}$, $R_{\text{ш}} = 350 \text{ Ом}$, лампа может быть с успехом применена даже в первом каскаде винил-корректора (примеры на сайте Владимира Ульянова <http://astral-for.narod.ru/> — настоятельно рекомендуем ознакомиться с его конструкциями!).

Пример реализации триодного включения лампы 6Э5П

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 рис. 2.88, разработчик — А. Манаков).

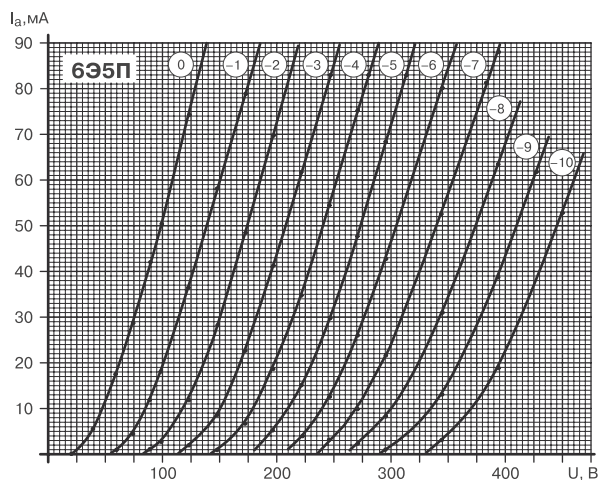


Рис. 2.86. ВАХ лампы 6Э5П в триодном включении

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 составляет 250—280 В, а 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.



Примечание.

Эту замечательную лампу открыл для аудиосообщества Анатолий Манаков.

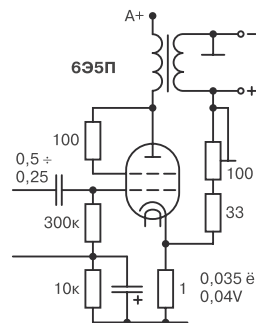


Рис. 2.87. Усилитель для головных телефонов (фиксированное смещение)

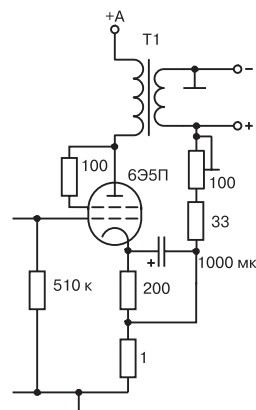


Рис. 2.88. Усилитель для головных телефонов (автосмещение)

2.21. Генераторный лучевой тетрод Г-807

Общие характеристики

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

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.

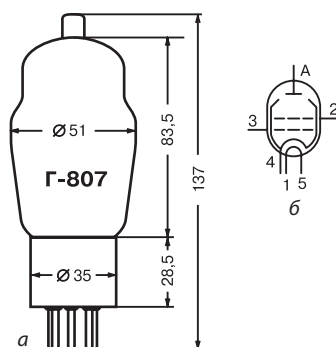


Рис. 2.89. Лампа Г-807:

а — основные размеры; б — схематическое изображение (1 и 5 — подогреватель (накал); 2 — вторая сетка; 3 — первая сетка; 4 — катод и лучеобразующие пластины; А — анод (верхний колпачок на баллоне))

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

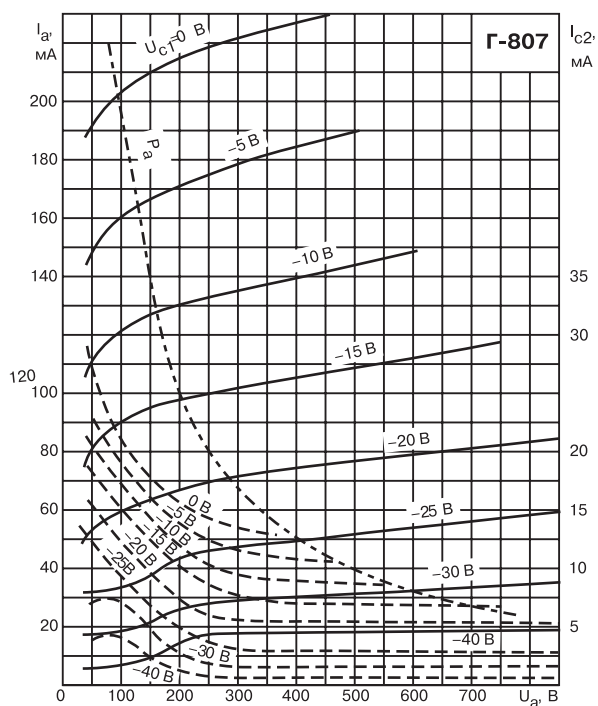


Рис. 2.90. Типовые вольтамперные характеристики Г-807 в тетродном включении при напряжении на второй сетке 300 В

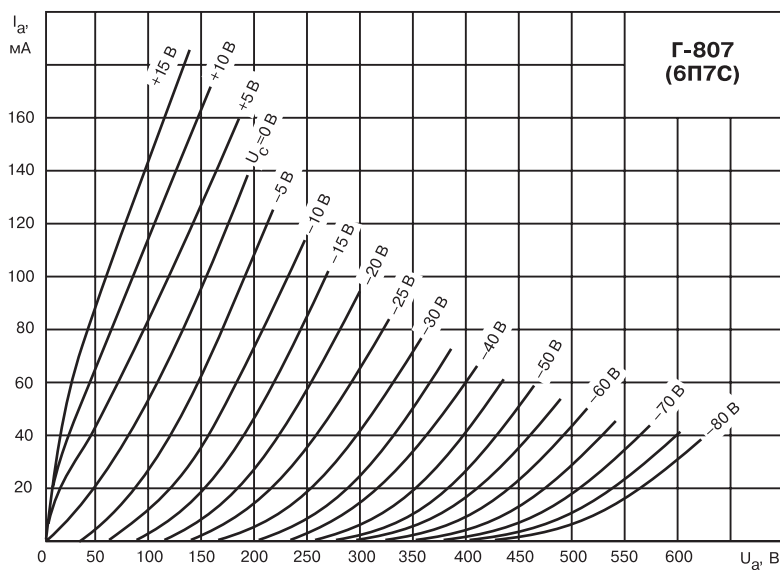


Рис. 2.91. Типовые вольтамперные характеристики Г-807 в триодном включении [16]

Зарубежные и отечественные аналоги

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 и недостатки

Достоинства: хорошая звуковая сигнатура (в триодном и тетродном включениях); 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.

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.

В качестве драйверной использована лампа 6Н2П, имеющая высокий коэффициент усиления. Обе половинки соединены параллельно для снижения выходного сопротивления каскада.

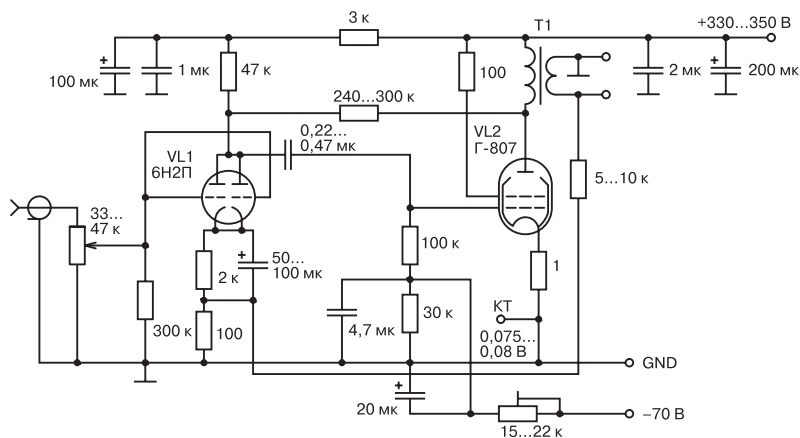


Рис. 2.92. Однотактный усилитель на Г-807

Особенностью усилителя является наличие двух ООС:

- ♦ **общей**, с 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.



Авторы рекомендуют.

Не применяйте лампы, бывшие в употреблении.

Тетродное включение: двухтактный оконечный каскад

Проблема большинства однотактных усилителей — малая выходная мощность. Это является одной из основных причин распространения двухтактных конструкций. Современный двухтактный усилитель работает в классе А или, в крайнем случае, АВ.

В 60—70 годах прошлого века считалось допустимым широкое применение двухтактных каскадов, работающих в классе АВ2 (рис. 2.93) и даже В2 (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.

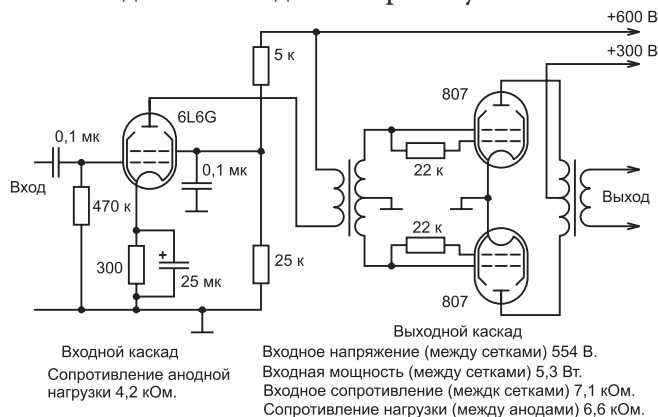


Рис. 2.94. Двухтактный выходной каскад, работающий в классе В2, выходная мощность — более 100 Вт

2.22. Генераторный триод с высоким коэффициентом усиления Г-811

Общие характеристики

Лампа Г-811 (рис. 2.95) предназначена для усиления и генерирования колебаний высокой частоты. Может быть использована в выходных каскадах усилителей низкой частоты.

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

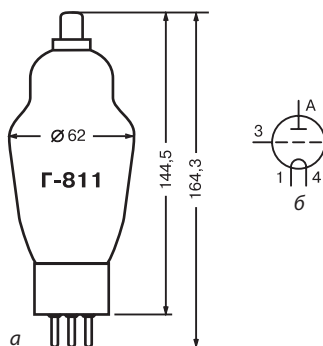


Рис. 2.95. Лампа Г-811:

а — основные размеры; б — схематическое изображение (1 и 4 — накал, катод; 2 — не используется; 3 — сетка; А — анод (верхний колпачок на баллоне))

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ	
входная	5,9
выходная	0,7
проходная	5,6
Номинальные электрические параметры	
напряжение накала, В	6,3
ток накала, А	4
напряжение на аноде, В	1500
ток в цепи анода, мА	175
наибольшая мощность, рассеиваемая на аноде, Вт	45
коэффициент усиления	160

Зарубежные и отечественные аналоги

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.

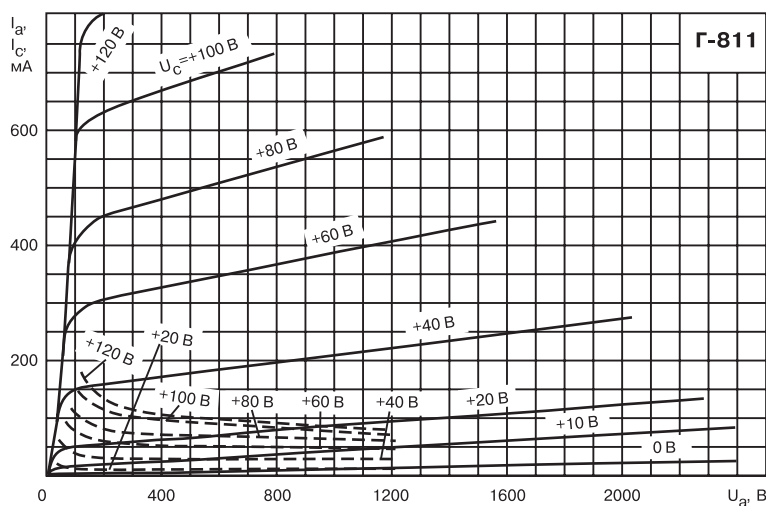


Рис. 2.96. Типовые вольтамперные характеристики Г-811

Достоинства и недостатки

Достоинства:

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

Недостатки:

- ♦ нестандартный цоколь;
- ♦ большой ток накала (4 А);
- ♦ высокое внутреннее сопротивление;
- ♦ некоторые разработчики отвергают идею использования режимов с токами сетки (но это с точки зрения измерений, а вот звучание весьма интересное!).

Схемотехника: двухтактный оконечный каскад

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

Класс усиления — В2, выходная мощность (при $U_a = 1500$ В, $U_c = -4,5—0$ В, $R_{aa} = 12400$ Ом) — до 250 Вт!!!

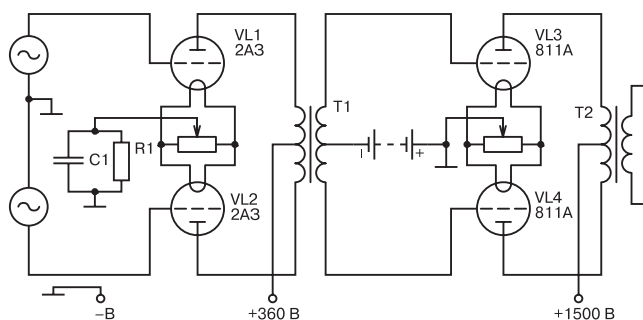


Рис. 2.97. Схема мощного двухтактного выходного каскада

Схемотехника: 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 SRPP. 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 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 Лоттин-Уайта).

Драйверный каскад выполнен по трансформаторной схеме. Аналог лампы 6F6 — 6Ф6С. Лампа выходного каскада работает в классе А2, смещение +26 В. Усилитель не охвачен ООС, поэтому внутреннее сопротивление остается довольно большим. Н. Шишидо включил нагрузку с импедансом 8 Ом между выводами вторичной обмотки, нормированными на 4 Ом, что соответствует (в пересчете на первичную обмотку) $R_a = 10$ 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, но только для проверки исправности собранной конструкции — звуковые свойства ТС-180 не выдерживают никакой критики!

Да-да, не удивляйтесь! Каждый компонент схемы вносит свой вклад в звучание усилителя, и силовой трансформатор не исключение.

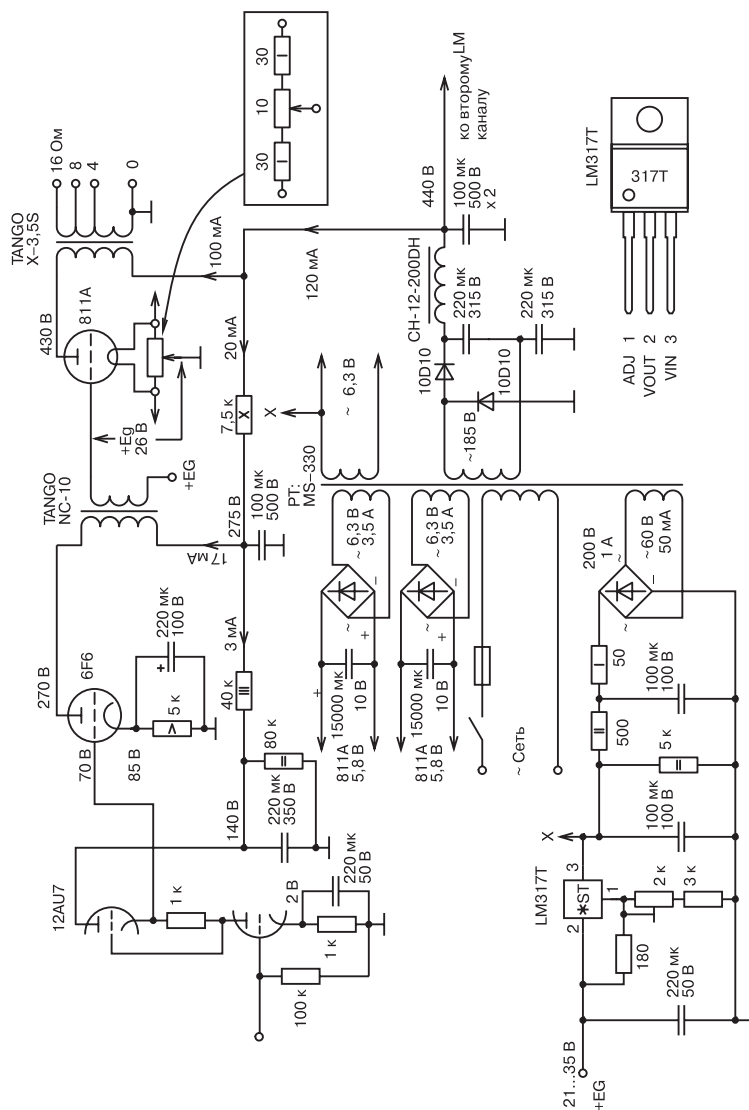


Рис. 2.98. Схема однотактного усилителя

2.23. Мощный модуляторный триод ГМ-70

Общие характеристики

Лампа ГМ-70 (рис. 2.99) предназначена для применения в модуляторах передатчиков, усиления мощности низкой частоты.

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

Рис. 2.99. Лампа ГМ-70:
а — основные размеры; б — вид со стороны цоколя;
в — схематическое изображение (1, 4, 6 — отсутствуют;
2 и 3 — накал, катод; 7 — сетка; 5 — анод)

Основные параметры

Междуэлектродные емкости, пФ	
входная	8
выходная	4
проходная	12
Номинальные электрические параметры	
напряжение накала, В	20
ток накала, А	3 ±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



Внимание.
ВАХ, опубликованные в большинстве справочников, например [11], относятся к первым экспериментальным образцам ГМ-70, и пользоваться ими не следует.

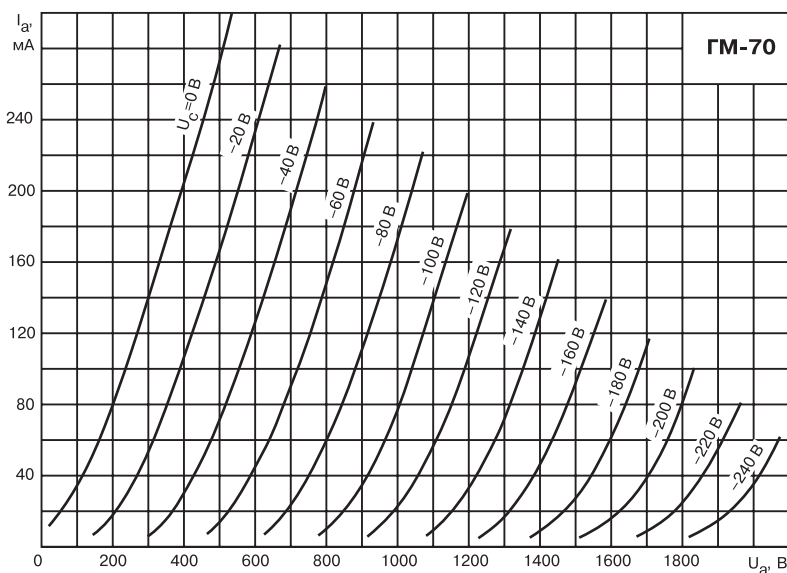


Рис. 2.100. Типовые вольтамперные характеристики ГМ-70

Зарубежные и отечественные аналоги

Лампа ГМ-70 не имеет прямых аналогов. Функционально (мощные выходные триоды прямого накала) к ней близки зарубежные 845 и 211.

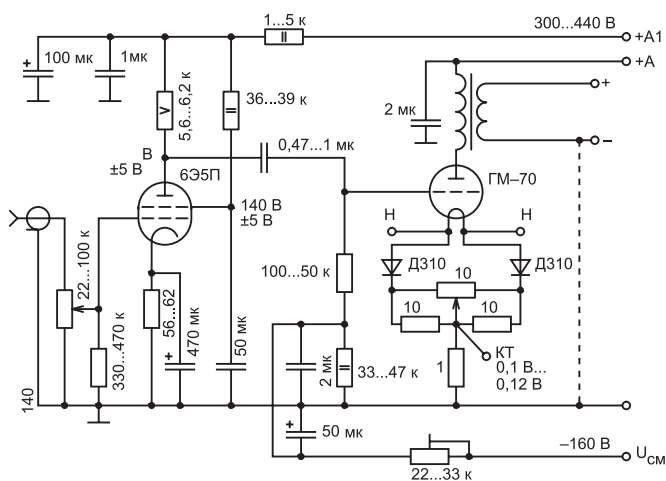


Рис. 2.101. Схема однотактного усилителя на триоде ГМ-70

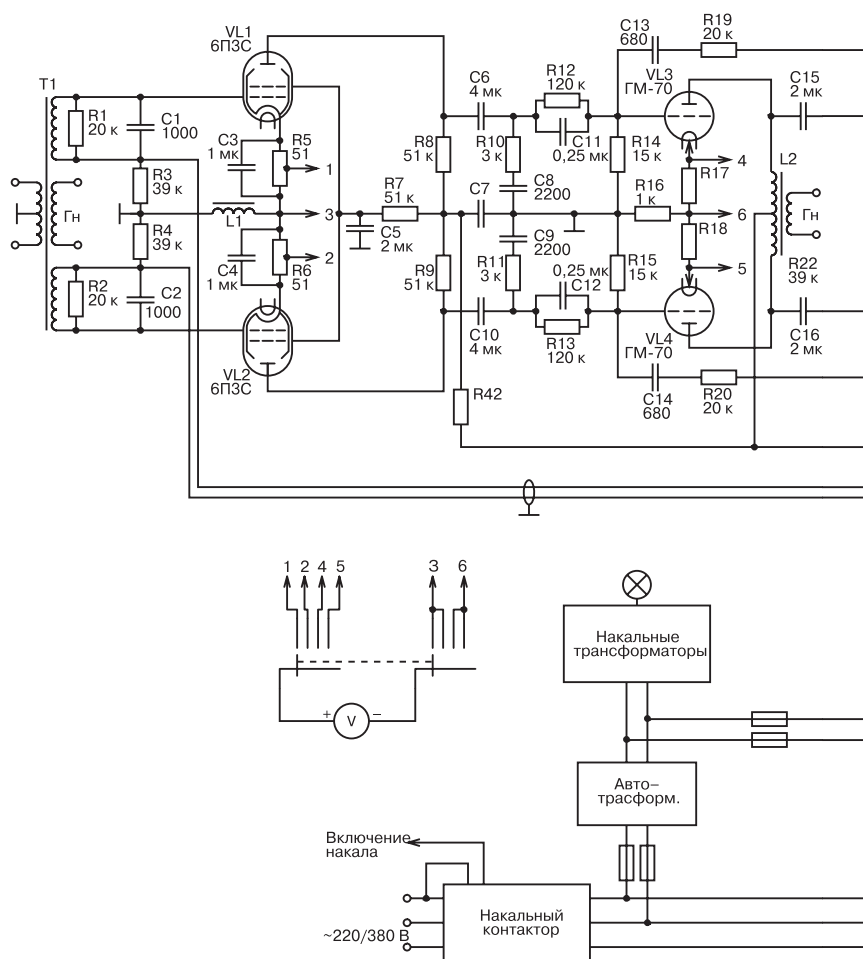
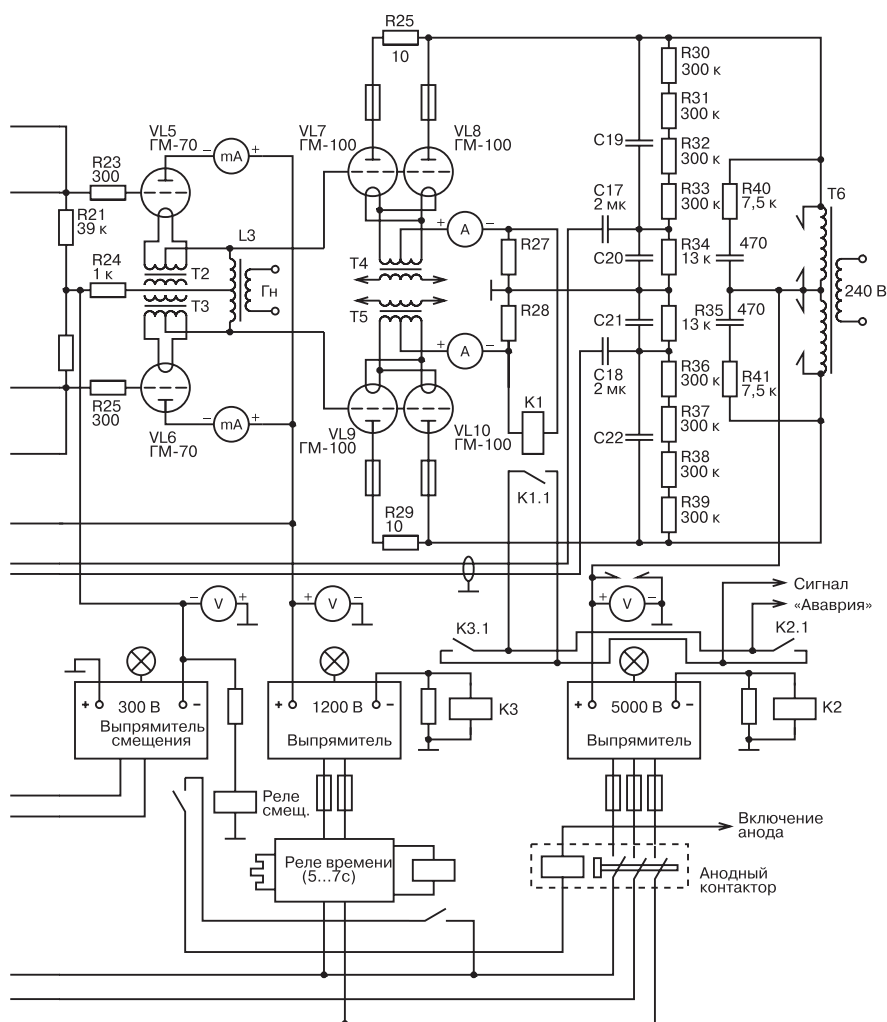


Рис. 2.102. Схема трансляционного усилителя ТУ-5-3

Достоинства и недостатки

Достоинства: неплохая 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).



Схемотехника: однотоктный оконечный каскад

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

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.

Схемотехника: 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 [8], 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.

Возможно, взаимная компенсация двухтактным каскадом фона (обусловленного питанием накала переменным током) и объясняет стремление ряда разработчиков использовать ГМ-70 только в двухтактных усилителях.

2.24. Генераторный лучевой пентод ГУ-50

Общие характеристики

Лампа предназначена для усиления мощности и генерирования колебаний высокой частоты (изначально разрабатывалась как универсальная лампа, способная работать в любом каскаде радиопередатчика, включая УНЧ!).

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

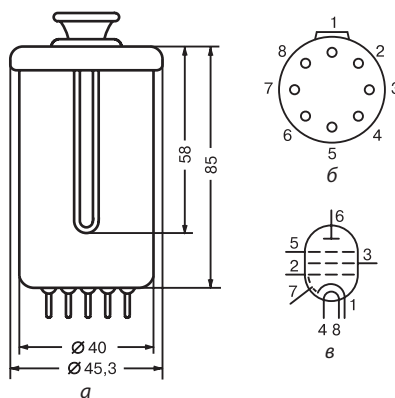


Рис. 2.103. Лампа ГУ-50:

а — основные размеры; *б* — вид со стороны цоколя; *в* — схематическое изображение (1 — катод; 2 — первая сетка; 3 — вторая сетка; 4 и 8 — подогреватель (накал); 5 — третья сетка; 6 — анод; 7 — экран)

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

Зарубежные и отечественные аналоги

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

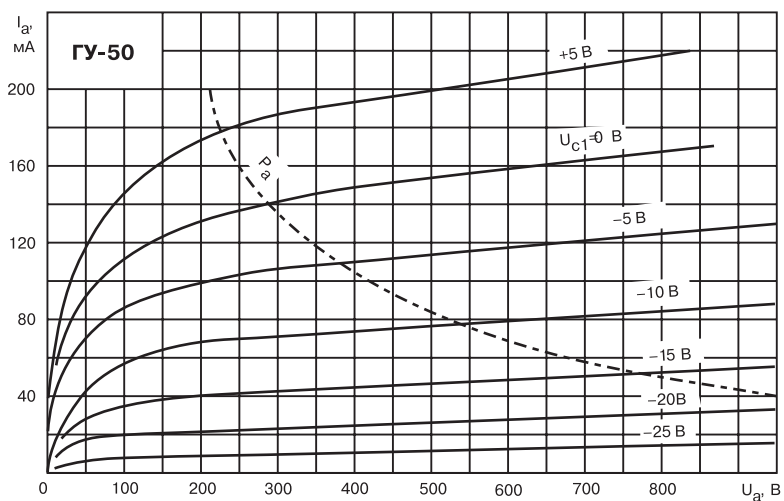


Рис. 2.104. Типовые вольтамперные характеристики ГУ-50 при напряжении на второй сетке 150 В

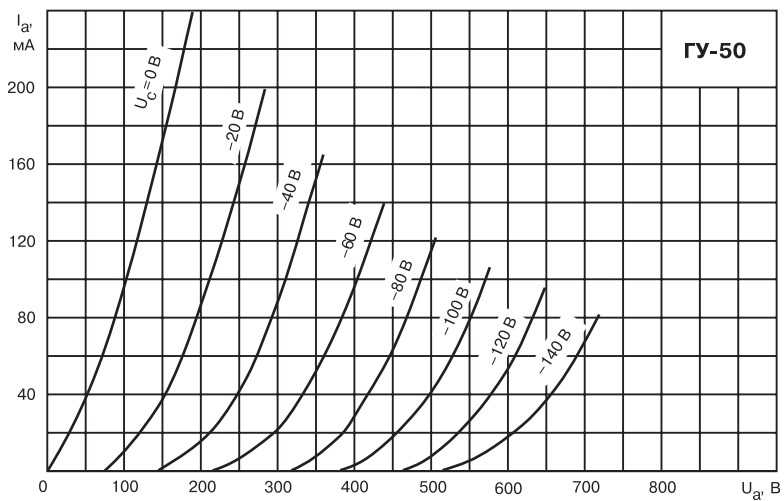


Рис. 2.105. Типовые вольтамперные характеристики ГУ-50 в триодном включении

Достоинства и недостатки

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

Недостатки: требует специальной панельки; напряжение накала 12,6 В.

Триодное включение: однотактный оконечный каскад

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

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.

Кроме того, лампы ГУ-50 работают в форсированном режиме. В нем 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.

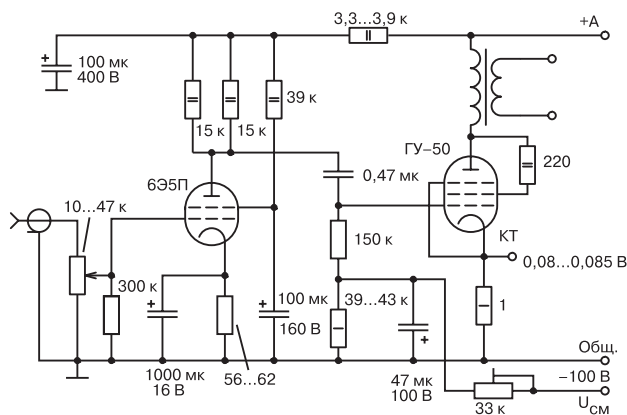


Рис. 2.106. Схема однотактного усилителя с выходным каскадом на ГУ-50

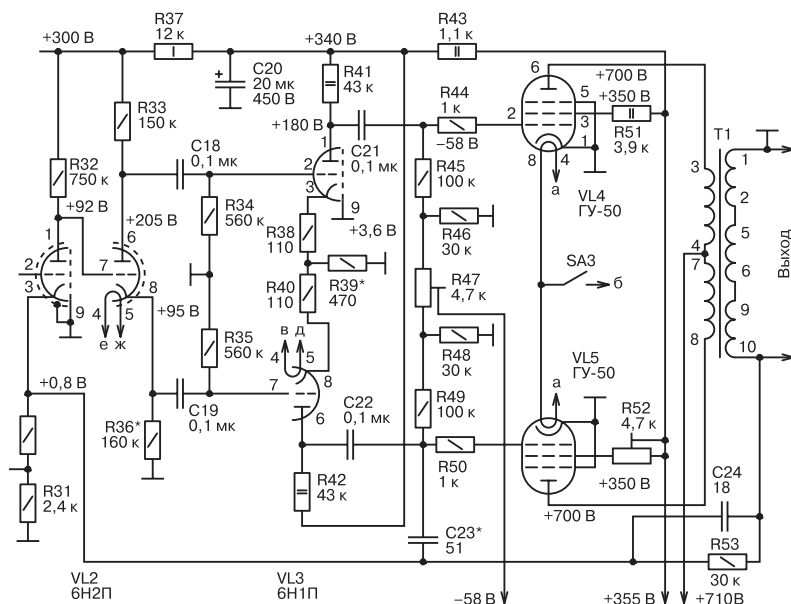


Рис. 2.107. Двухтактный усилитель на ГУ-50

Схемотехника

1. Цирклотрон — <http://www.next-tube.com/articles/cyclotron/cyclotron.pdf>
2. Однотактный трехкаскадный усилитель и ряд других конструкций — <http://www.pastisch.se/tubes/gu50.htm>
3. Полный усилитель (регулировкой громкости и тембра) — <http://www.jogis-roehrenbude.de/Leserbriefe/SvenB-GU50/gu50se.htm>
4. Мощный двухтактный усилитель — <http://hlava.webpark.cz/Dvojcinne/sch2x50wGU50.GIF>
5. Усилитель на лампах LS-50 (прообраз ГУ-50) — <http://www.jogis-roehrenbude.de/Verstaerker/LS50-Misch.htm>
6. Двухтактный усилитель в классе AB — <http://www.jogis-roehrenbude.de/Verstaerker/GU50-Grommes/GU50.htm>

2.25. Двуханодный кенотрон 5Ц3С

Общие характеристики

Кенотрон 5Ц3С (рис. 2.108) предназначен для выпрямления переменного тока промышленной частоты.

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.

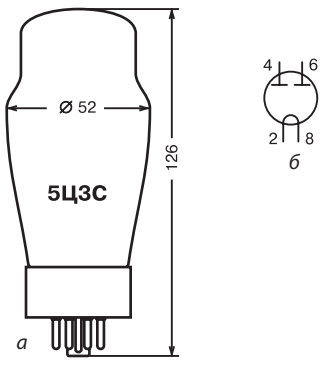


Рис. 2.108. Лампа 5Ц3С:
а — основные размеры; б — схематическое изображение (1, 3, 5, 7 — не используются; 2 — накал, катод; 4 — анод первого диода; 6 — анод второго диода; 8 — накал, катод)

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

Зарубежные и отечественные аналоги

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

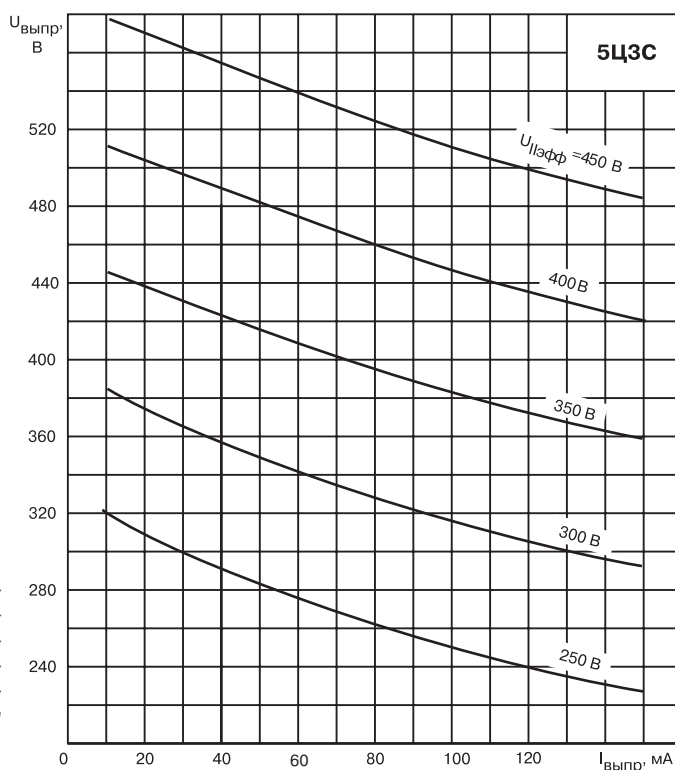


Рис. 2.109. Типовые вольт-амперные характеристики 5Ц3С при сопротивлении каждого плеча вторичной обмотки трансформатора $r_2 = 30 \text{ Ом}$ и емкости фильтра 4 мкФ

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- ♦ лампа обладает хорошей звуковой сигнатурой (это не оговорка, ведь блок питания усилителя является одним из элементов на пути звукового сигнала! Более того, в серьезных системах кенотрон выбирают по способности «сыграть» с конкретным громкоговорителем!);
- ♦ 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 просты (рис. 2.110), но необходимо учитывать следующее.

Ток через делитель отрицательного напряжения (смещения) равен току, потребляемому всей нагрузкой, для чего потребуется резистор соответствующей мощности (с учетом двух- или трехкратного запаса).

Желательно ввести задержку подачи выпрямленного кенотроном 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 сначала большим, а затем начнет постепенно уменьшаться.



Внимание.

Накал лампы — прямой, следовательно, находящийся под высоким напряжением. Для безопасной работы схемы требуется отдельная накальная обмотка трансформатора.

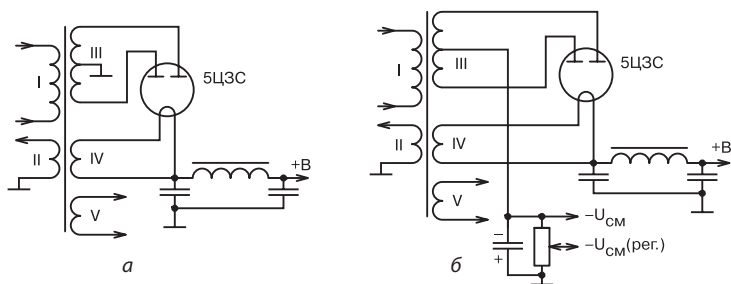


Рис. 2.110. Схемы применения лампы 5Ц3С:

а — в качестве двухполупериодного выпрямителя;

б — в качестве двухполупериодного выпрямителя с делителем отрицательного напряжения

Схемотехника: блок питания

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.

В блоке питания предусмотрен источник напряжения смещения, также кенотронный.

Следует отметить, что блок питания представляется довольно стандартным устройством, и подавляющее большинство разработчиков, не

2.26. Двуханодный кенотрон 5Ц4С

Общие характеристики

Кенотрон 5Ц4С (рис. 2.112) предназначен для выпрямления переменного тока промышленной частоты.

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.

Рис. 2.112. Лампа 5Ц4С:
а — основные размеры; б — схематическое изображение (1, 3, 5, 7 — не используются; 2 — подогреватель (накал); 4 — анод первого диода; 6 — анод второго диода; 8 — подогреватель (накал), катод)

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

Зарубежные и отечественные аналоги

Прямые зарубежные аналоги — 5Z4, GZ30, 5CG4. Отечественных аналогов нет.

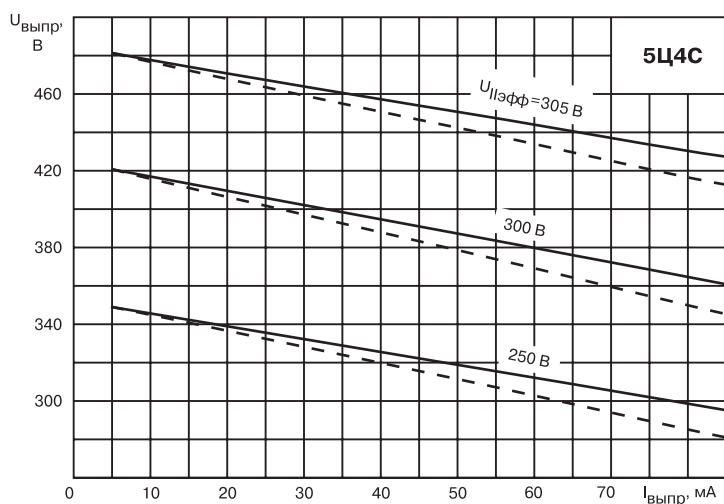


Рис. 2.113. Типовые вольтамперные характеристики при сопротивлении каждого плеча вторичной обмотки трансформатора $r_2 = 30 \text{ Ом}$ и емкости фильтра: сплошная линия — 4 мкФ; штриховая линия — 8 мкФ

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- ♦ хорошая звуковая сигнатура;
- ♦ кенотрон 5Ц4С используется в большинстве ламповых блоков питания, имеется множество схемотехнических решений;
- ♦ широкое распространение, невысокая цена;

Недостаток:

- ♦ допустимое напряжение на анодах ограничено величиной 500 В;

Косвенный накал можно считать амбивалентным фактором: с одной стороны — вносит задержку подачи анодного напряжения, а с другой — субъективно «звучание» такого кенотрона уступает прямо-накальному.

Схемотехника: двухполупериодный выпрямитель



Примечание.

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. Такой вариант 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.

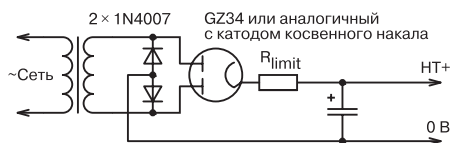


Рис. 2.114. Применение лампы 5Ц4С в схеме двухполупериодного (мостового) выпрямителя



Примечание.

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 кенотронами.

Такое решение дополнительно позволит использовать силовой трансформатор с меньшим напряжением на вторичной (анодной) обмотке.

2.27. Двуханодный кенотрон 5Ц8С

Общие характеристики

Кенотрон 5Ц8С (рис. 2.115) предназначен для выпрямления переменного тока промышленной частоты.

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

Рис. 2.115. Лампа 5Ц8С:
а — основные размеры; б — вид цоколя со стороны выводов;
в — схематическое изображение (1 — подогреватель (накал); 2, 3 — подогреватель (накал) и катод; 4 — анод первого диода; 5 — анод второго диода)

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

Зарубежные и отечественные аналоги

Полных аналогов не имеет.

Достоинства и недостатки

Достоинства:

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

Недостатки:

- ♦ допустимое напряжение на анодах ограничено величиной 500 В (В принципе, это обычное значение для кенотронов. Если требуется большее допустимое напряжение, то следует подобрать что-нибудь из импортных ламп, либо использовать пару 6Д22С);
- ♦ большой ток накала;
- ♦ высокое внутреннее сопротивление;
- ♦ нестандартная и довольно дефицитная панелька (см. рекомендации авторов ниже).



Авторы рекомендуют.

Авторы книги рекомендуют использовать более распространенную панельку лампы ГУ-50, желательно с цилиндрическими контактами.

Схемотехника: двухполупериодный выпрямитель

Существенный 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**). Для снижения сопротивления источника питания применен кенотрон 5Ц8С с Г-образным фильтром (дрессель малой индуктивности и конденсатор большой емкости).



Авторы рекомендуют.

О преимуществах и недостатках Г-фильтров советуем почитать здесь: http://www.next-tube.com/ru/articles.php?sub_menu_item=1.

В последнее время в Интернете появились сообщения об успешном использовании однополупериодного выпрямителя в высокока-

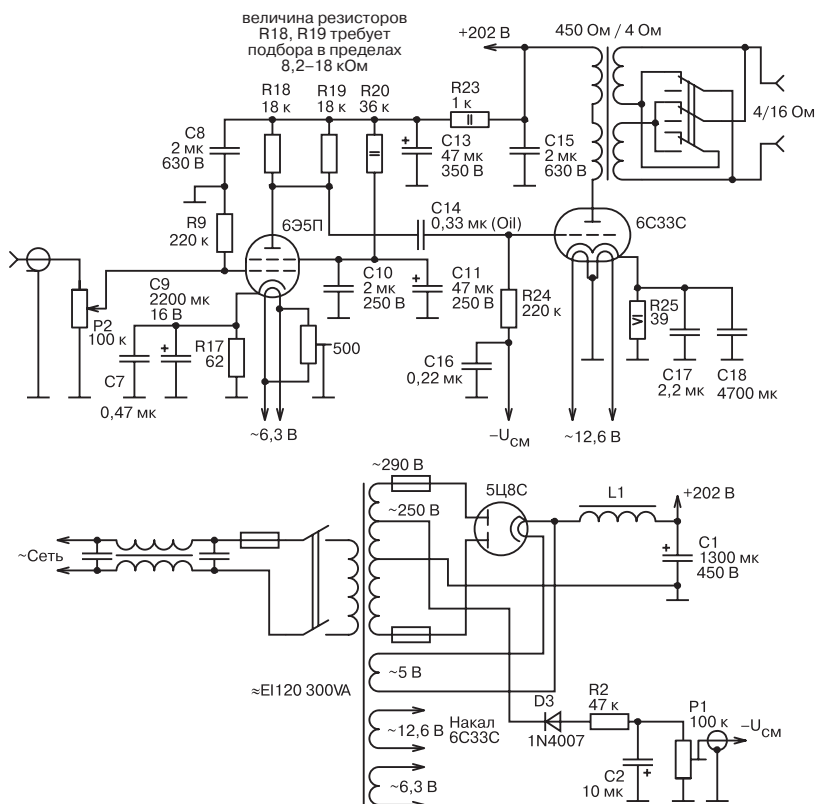


Рис. 2.116. Схема применения лампы 5Ц8С
в качестве двухполупериодного выпрямителя

чественных усилителях. Авторы данной книги настоятельно рекомендуют применение таких выпрямителей, особенно интересна схема с т. н. обратным включением кенотрона и CRC-фильтрацией: <http://classicaudio.ru/phpbb/viewtopic.php?f=4&t=4142&hilit=%D0%B1%D0%BE%D0%BC%D0%B1%D0%B0>.

Необходимо учитывать, что силовой трансформатор в условиях однополупериодного выпрямления работает с подмагничиванием постоянным током: для предотвращения насыщения сердечника последний следует собирать с немагнитным зазором (подобно выходному трансформатору для однотактного усилителя), либо применять схемы компенсации в цепи неиспользуемой половины анодной обмотки.

СХЕМОТЕХНИКА УСИЛИТЕЛЕЙ НА ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАМПАХ

Большинство зарубежных ламп имеют полные отечественные аналоги (клоны), которым посвящена предыдущая глава, 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.

3.1. Триод 2А3

Общие характеристики

Лампа 2А3 (рис. 3.1) разработана для усиления мощности низкой частоты. Применяется в выходных и драйверных каскадах.

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

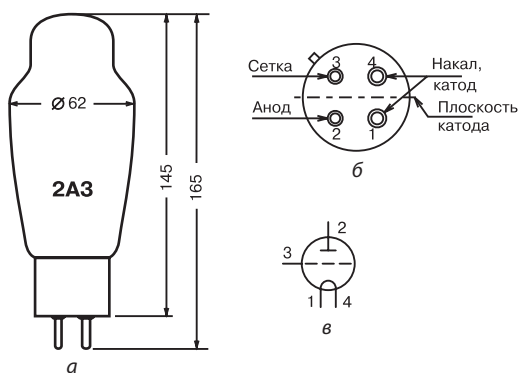


Рис. 3.1. Лампа 2А3:

а — основные размеры; *б* — вид со стороны штырьков;
в — схематическое изображение
(1 и 4 — накал, катод; 2 — анод; 3 — сетка)

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 при фиксированном смещении, МОм	0,05
наибольшее сопротивление в цепи сетки при автоматическом смещении, МОм	0,5

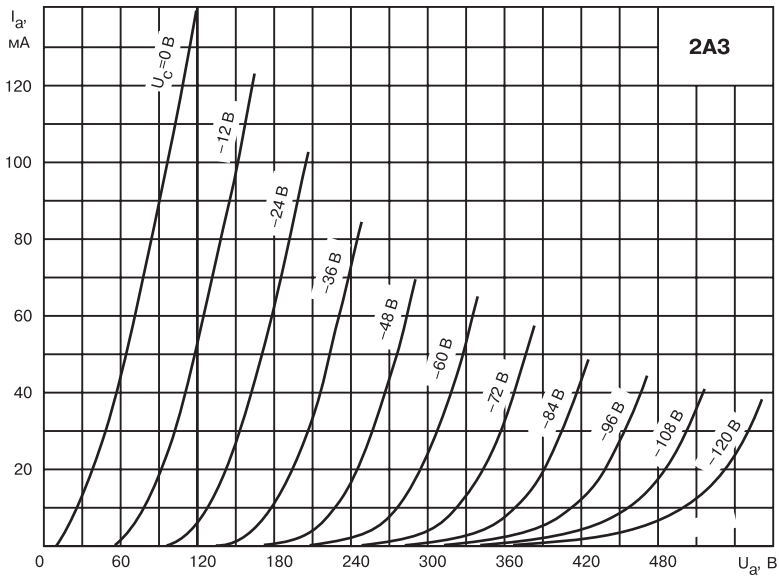


Рис. 3.2. Типовые вольтамперные характеристики 2А3

Особенности лампы

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.

Зарубежные и отечественные аналоги

В настоящее время в мире выпускаются обе разновидности, в частности, фирма «Совтек» (Sovtek) выпускает на саратовском заводе «Рефлектор» одноанодную версию. Вопреки мнению скептиков, эта лампа звучит на уровне лучших мировых образцов при весьма скромной цене — около 85 долларов США за подобранную пару ламп с позолоченными сетками!

Триод 2А3 пользуется популярностью у разработчиков аппаратуры и просто любителей музыки во всем мире, на равных конкурируя со знаменитой лампой 300В.

Имеется множество аналогов (клонов) лампы 2А3:

- ♦ 6А3 (напряжение накала — 6,3 В), 6В4G (напряжение накала — 6,3 В, октальный цоколь, одноанодная). В СССР выпускались клоны;
- ♦ 2С3, 6С6, 2С4С, 6С4С (самая поздняя и наиболее распространенная. Напряжение накала — 6,3 В, двуханодная, октальный цоколь, особенно ценится вариант с медным анодом).



Примечание.

Если позволяет (высокая) чувствительность АС, то в качестве альтернативы рекомендуем попробовать лампу RCA Type 45 (обычно обозначают «45»).

Достоинства и недостатки

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 хорошие импортные панельки дороги и дефицитны;
- ♦ нестандартное питание накала (2,5 В × 2,5А);
- ♦ небольшая выходная мощность (до 3,5 Вт в классе усиления А1).

**Примечание.**

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

Схемотехника: драйверный каскад

Благодаря 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 АВ1; напряжение питания каскада — 360 В, номинал резистора R1 в цепи автосмещения — 780 Ом.

Примеры построения однотактных усилителей низкой частоты

Схемотехника:**однотактный усилитель с входным каскадом на триоде**

В однотактном усилителе (разработчик — Х. Эсмилля), схема которого представлена на **рис. 3.3**, повторяется типичная ошибка — включение лампы первого каскада с резистивной нагрузкой очень большой величины.

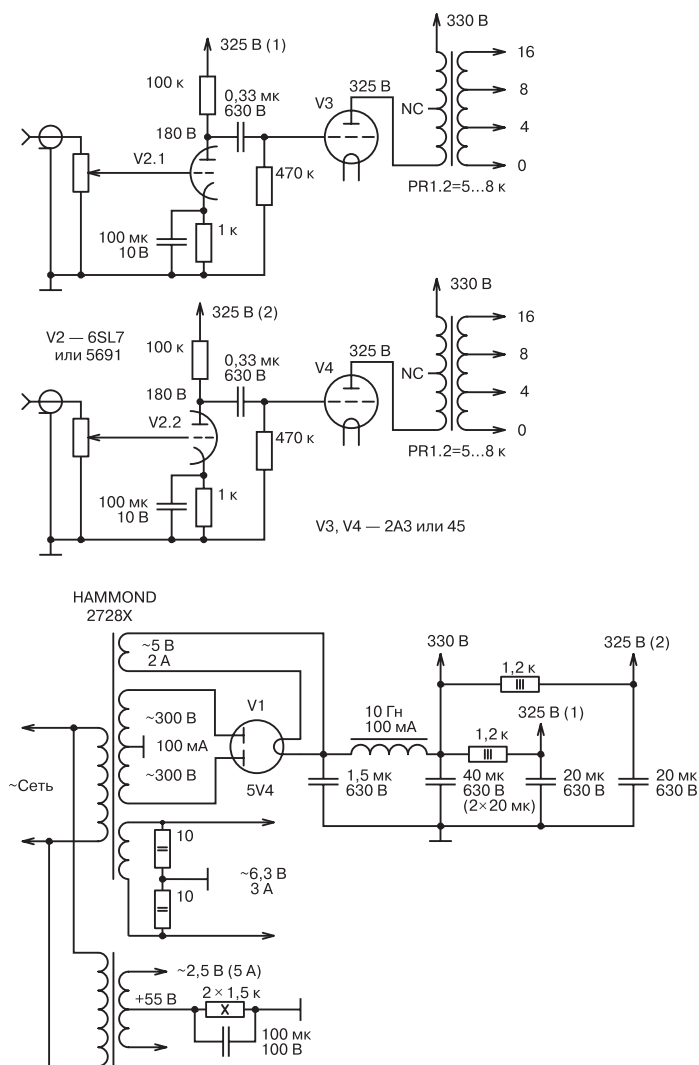


Рис. 3.3. Однотактный усилитель, триодный входной каскад

**Примечание.**

Это обогащает спектр выходного сигнала гармониками высших порядков и интермодуляционными искажениями (в зарубежной литературе — IMD). Разумеется, дальнейшее усиление подобного сигнала параллельно будет вызывать и рост интермодуляционных искажений!

Кроме того, не выполняется условие $R_i = (5—10)R_a$, т. к. внутреннее сопротивление лампы 6SL7 (6H9C) превышает 40 кОм, а величина анодной нагрузки составляет 100 кОм.

Следовало бы применить SRPP (но такое решение снизит «музыкальность» усилителя) либо (что гораздо лучше!) включить половинки лампы параллельно и снизить величину анодной нагрузки до 50—82 кОм. Собственно, лампа 2A3 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.



Авторы рекомендуют.

Авторы данной книги также рекомендуют не выпрямлять накал 2A3, а смещение организовать фиксированное или батарейное.

Схемотехника: 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.

В первом каскаде используется пентод EF86 — лампа с заметным микрофонным эффектом (особенно отечественный аналог — 6Ж32П). Может потребоваться отбор по его минимальному уровню. Семейство пентодов не ограничивается этой лампой, вполне пригодны (и лучше звучат!) лампы 6Ж4, 6П9, 6Э5П.

Использование пентодов в первом каскаде усилителей низкой частоты вызывает неоднозначную реакцию у специалистов:

- ♦ одни полагают, что пентоды ухудшают звучание, добавляя в спектр сигнала нечетные гармоники;
- ♦ другие рекомендуют вносить «долю пентодности» в усилитель с выходным каскадом на триоде прямого накала.

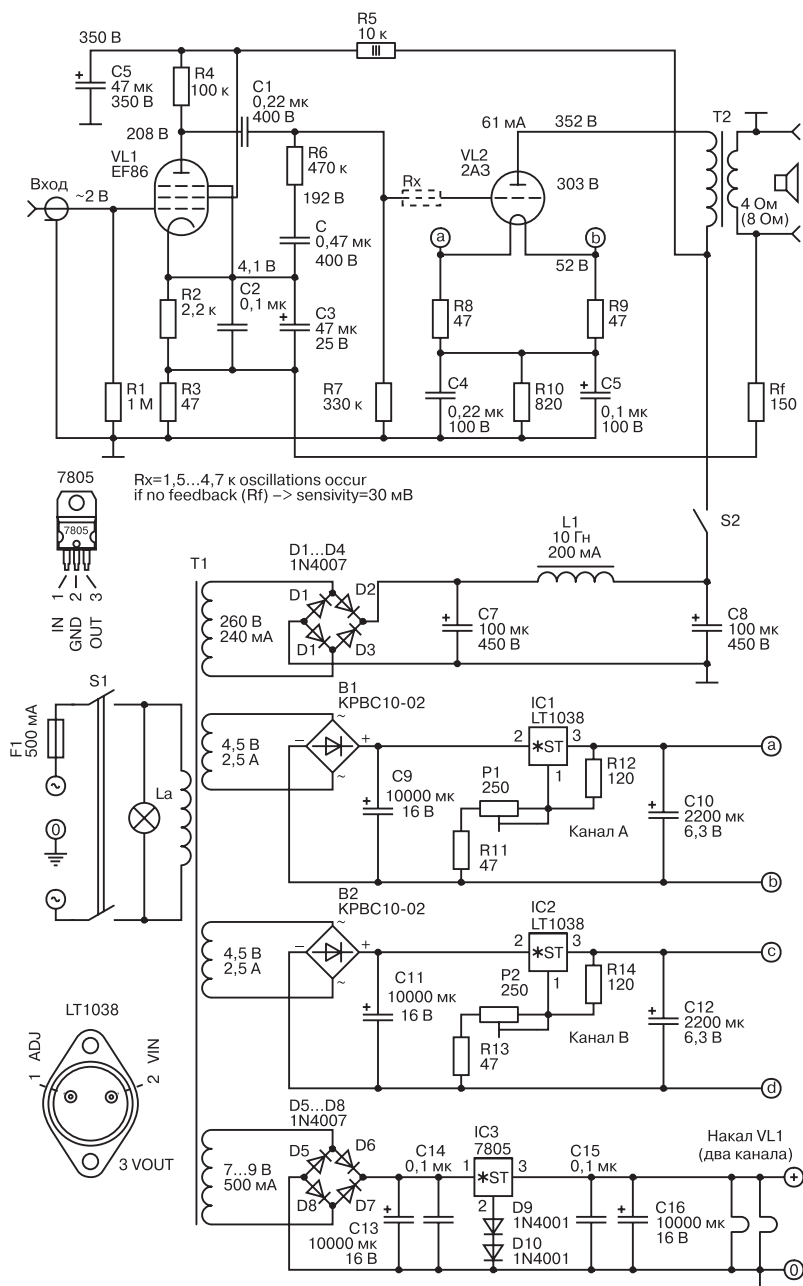


Рис. 3.4. Однотактный усилитель, пентодный входной каскад

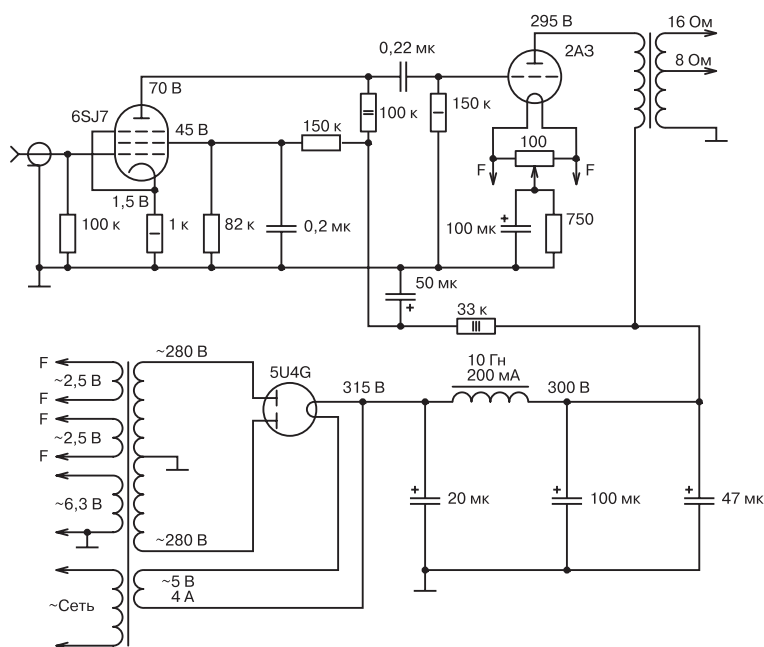


Рис. 3.5. Однотактный усилитель с входным каскадом на пентоде



Авторы рекомендуют.

Можно порекомендовать радиолюбителям собрать несколько вариантов входного каскада — пентодный, триодный, SRPP — 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

Усилитель, выполненный по схеме Лофтин-Уайта (разработчик — фирма Black Art), представлен на рис. 3.6. Входной каскад — SRPP:

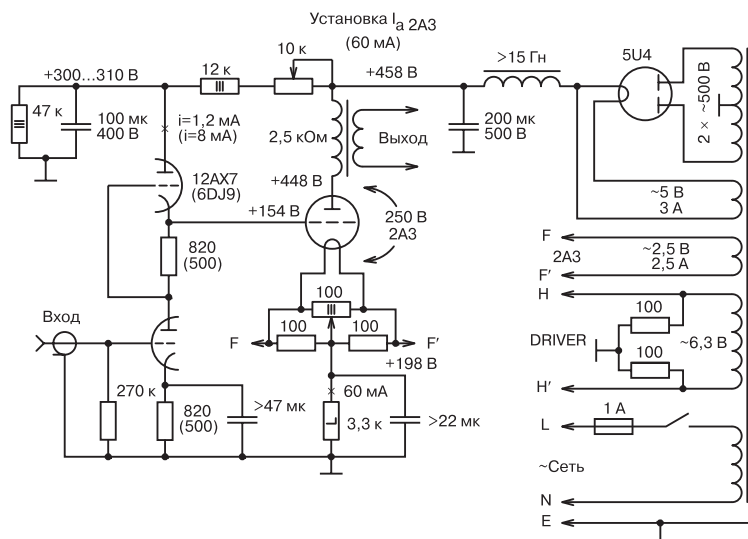


Рис. 3.6. Однотактный усилитель
по схеме Лоттин-Уайта разработки фирмы Black Art

используются лампы 12AX7 (6Н2П) либо 6DJ8 (6Н23П). На схеме приведены режимы **обеих** ламп.

Серьезный недостаток подобных схем — высокое напряжение питания, почти половина которого высаживается на катодном резисторе. Кроме того, серьезно страдает микродинамика. Отдельная тема — звучание ламп семейств 12AX7 и 6DJ8...

Оригинальный вариант схемы Лоттин-Уайта, разработанный Е. Комиссаровым

Российский разработчик Е. Комиссаров предложил оригинальный вариант схемы Лоттин-Уайта, лишенный подобных недостатков. Схема показана на **рис. 3.7**.

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

Величина напряжения смещения лампы 2A3 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).

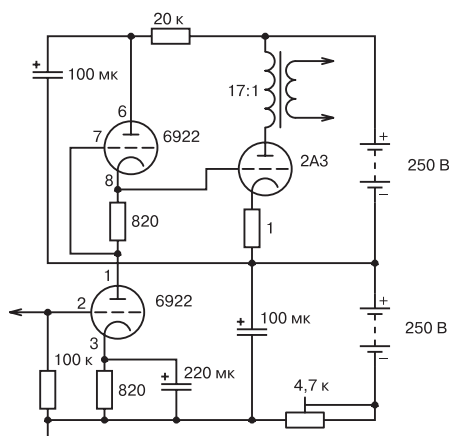


Рис. 3.7. Однотактный усилитель по схеме Ллофтин-Уайта разработки Е. Комиссарова



Примечание.

После настройки схемы резистор следует удалить.

Разумеется, за улучшение качества звучания пришлось заплатить:

- ♦ **во-первых**, усложнением блока питания (и его удорожанием вследствие использования более качественных конденсаторов, выполняющих, помимо фильтрации, функцию разделительных!);
- ♦ **во-вторых**, необходимостью установки входного трансформатора, т. к. земля данной схемы — виртуальная. В принципе, здесь можно говорить только об увеличении стоимости, повышающий трансформатор позволит увеличить чувствительность усилителя и, например, отказаться от SRPP в пользу каскада с анодной нагрузкой, а также использовать в драйвере более «музыкальные» лампы.

3.2. Триод 300В

Общие характеристики

Лампа 300В (рис. 3.8) разработана для усиления мощности низкой частоты. Применяется в выходных и драйверных каскадах.

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

Рис. 3.8. Лампа 300В:
а — основные размеры; б — вид со стороны штырьков;
в — схематическое изображение
(1 и 4 — накал, катод; 2 — анод; 3 — сетка)

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 ±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

Зарубежные и отечественные аналоги

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

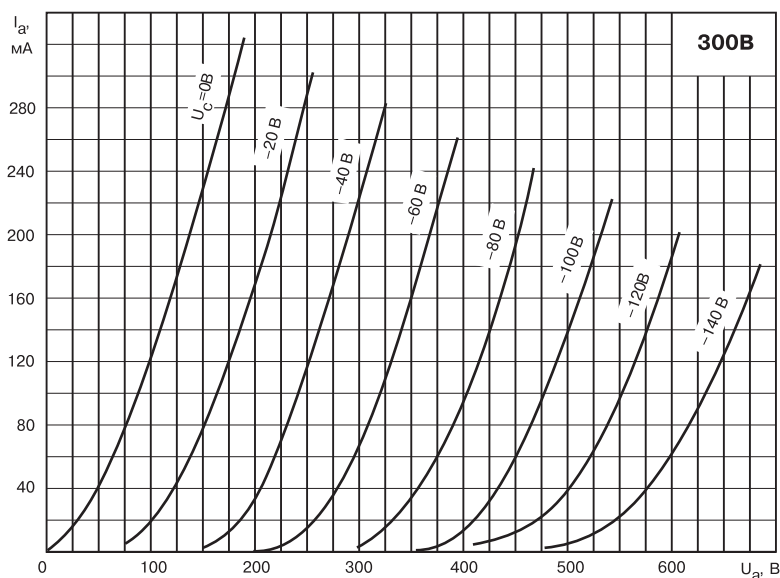


Рис. 3.9. Типовые вольтамперные характеристики 300В

Достоинства и недостатки

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 однотоном включении;
- ♦ обилие схемотехнических решений;
- ♦ сравнительная доступность для российских радиолюбителей.

Недостаток:

- ♦ нестандартный цоколь.



Примечание.

Лампы 300В время от времени выпускаются предприятиями «Светлана» и «Рефлектор», в продаже имеются лампы из старых запасов, а также многочисленные китайские клоны, качество которых растет год от года.

Интересные версии «трехсотки» предлагает чешская фирма Kron Ricardo. Возобновлено и производство оригинальных WE300B, но цена составляет 2000 долларов за пару.

Схемотехника: однотактные усилители

Во второй 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.

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

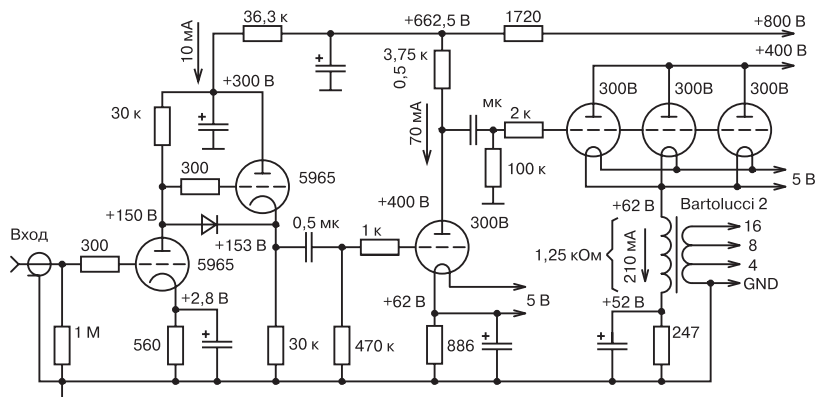


Рис. 3.10. Однотактный усилитель с компенсацией четных гармоник



Примечание.

Использование катодного повторителя в высококачественном звукоусилении — тема отдельная. Многие специалисты отвергают (и справедливо!) подобную схемотехнику, использующую стопроцентную ООС.

Компенсация реализуема и без катодного повторителя, для этого нужно:

- ♦ построить двухкаскадную схему на триодах (с нагрузкой в анодах);
- ♦ подобрать входную лампу, ВАХ которой близки к ВАХ лампы выходного каскада (разумеется, с учетом масштаба);
- ♦ подобрать величину анодных нагрузок входного и выходного каскадов таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\frac{R_{a\text{ вх}}}{R_{i\text{ вх}}} = \frac{R_{a\text{ вых}}}{R_{i\text{ вых}}}.$$

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.

Есть и **другой способ снижения уровня (и порядков) гармоник**: использование чувствительных акустических систем, которым для создания комфортного уровня громкости требуется мощность усилителя не более 1 Вт. Дело в том, что на подобных мощностях (т. н. «золотой ватт») в спектре лампы 300В присутствует лишь незначительная по уровню вторая гармоника!

К **недостаткам конкретной схемы** следует отнести привязку к модели трансформатора: анодную нагрузку желательно выбрать меньшей — в пределах 700—800 Ом, т. к. намотка изделия с $R_a = 1250$ Ом при $I_a = 210$ мА — задача непростая и затратная. Определенную сложность представляет и подбор тройки выходных ламп (в идеале требуется индивидуальная подстройка режимов для каждого триода, например, за счет использования независимых цепей автосмещения).

Для раскачки лампы 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**.

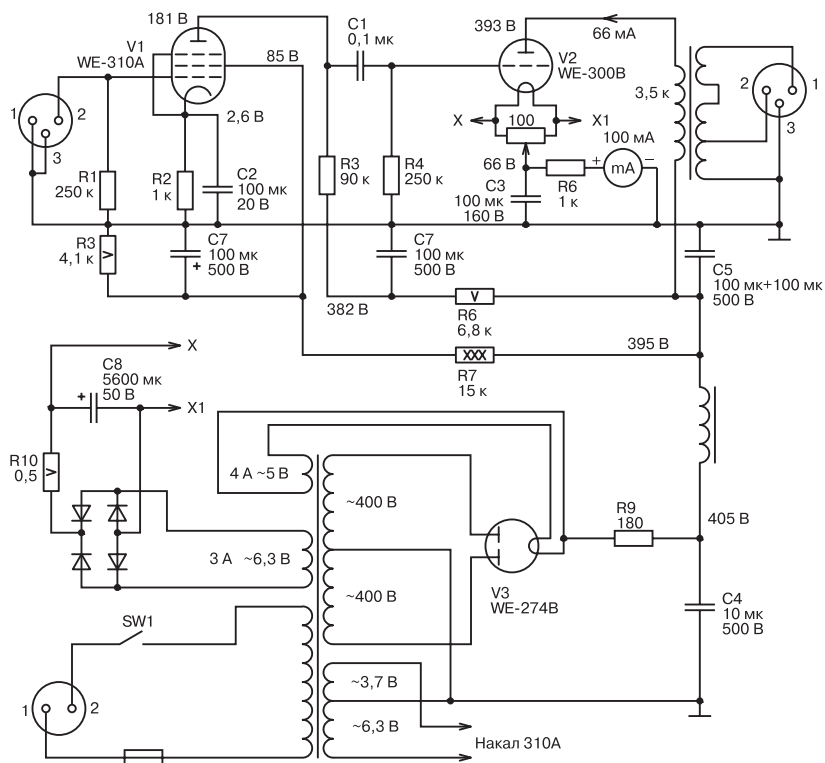


Рис. 3.11. Однотактный усилитель. Входной/драйверный каскад на пентоде



Авторы рекомендуют.

Авторы данной книги рекомендуют заменить WE310A (советский аналог — 10Ж12С) пентодом (тетродом) с меньшим внутренним сопротивлением (например, 6Э5П), либо с меньшим на порядок R_d (например, 6Ж4 или 6П9), т. к. оригинальная схема характеризуется ранним спадом АЧХ в высокочастотной области. Пожалуй, именно тетрод 6Э5П является идеальным выбором, сочетая малые значения R_i и R_d с великолепной звуковой сигнатурой.

Противникам «пентодного звука» приведем 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.

Все каскады усилителя — трансформаторные. Для полной достоверности звучания остается только использовать фиксированное смещение, и на пути звука не будет никаких лишних элементов!

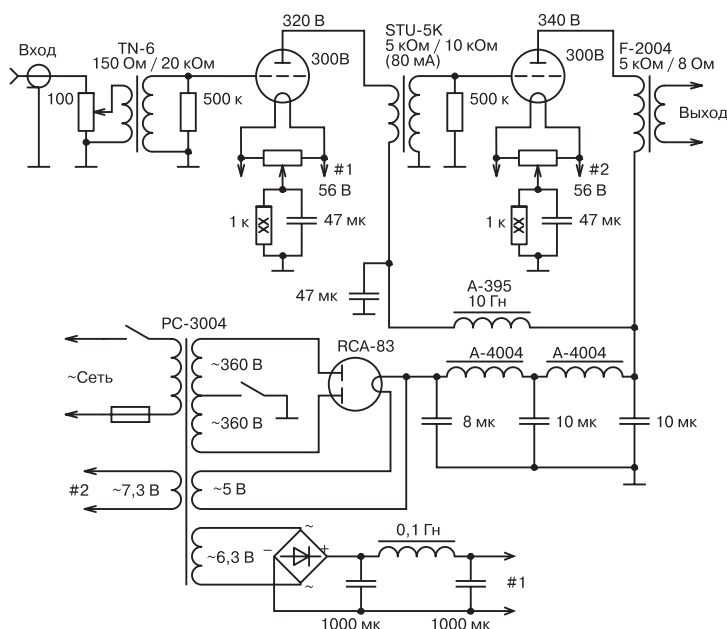


Рис. 3.12. Однотактный усилитель (разработчик — С. Сакума)

Еще один **любопытный момент**: Сакума использует моноусилители (даже если исходный музыкальный материал стереофонический, то с помощью пары трансформаторов складывается в монофонический)! Авторы данной книги рекомендуют читателям самостоятельно оценить такой подход — незабываемые впечатления гарантированы!



Примечание.

Одна проблема — трансформаторы: разработчик использует TAMURA, порой заказные! А суммарная стоимость комплекта трансформаторов для данной схемы составляет 5000\$!

Схемотехника: 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 одноктактные.

При самостоятельном расчете выходного каскада потребуется информация о выходной мощности и коэффициенте гармоник лампы 300B, приведенная в **табл. 3.1** (технические данные разработчика — WESTERN ELECTRIC).

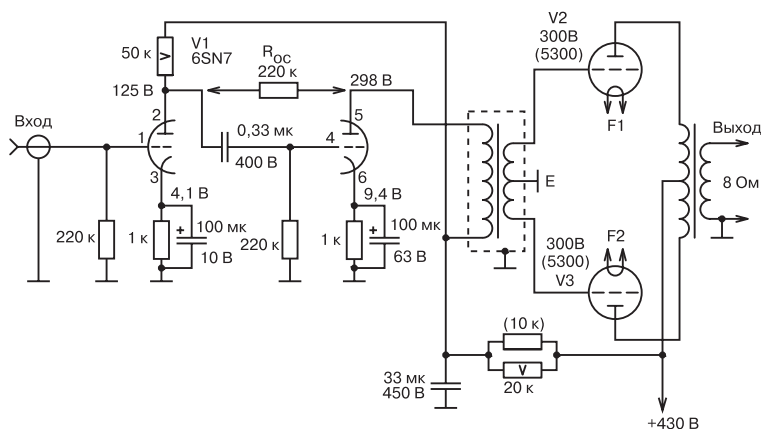


Рис. 3.13. Схема двухтактного усилителя

Выходная мощность и коэффициент гармоник лампы 300В

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
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

3.3. Триод 6B4G

Общие характеристики

Лампа 6B4G (рис. 3.14) разработана для усиления мощности низкой частоты. Применяется в выходных и драйверных каскадах.

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.

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

Рис. 3.14. Лампа 6B4G:
а — основные размеры; б — схематическое изображение (1, 4, 6, 8 — не используются; 2 и 7 — подогреватель (катод); 3 — анод; 5 — сетка)

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

Зарубежные и отечественные аналоги

Прямой российский (советский) аналог — 6С4С, зарубежный — 6A3.

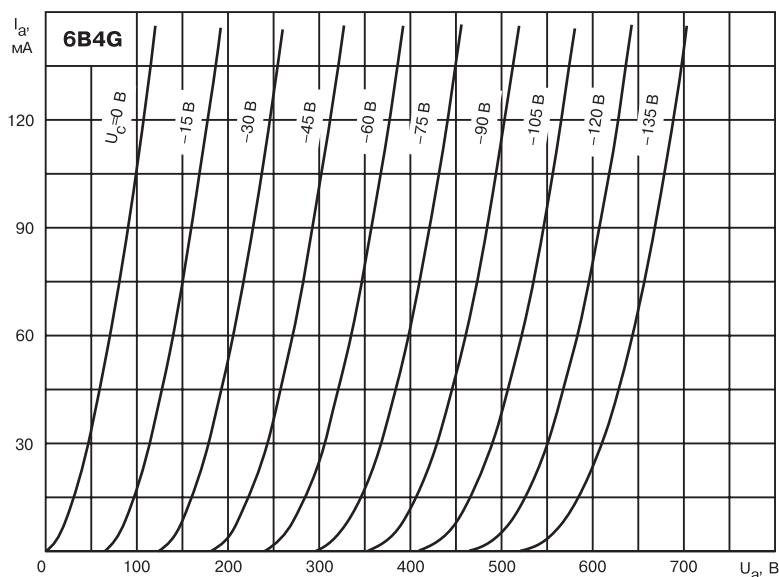


Рис. 3.15. Типовые вольтамперные характеристики 6В4Г

Достоинства и недостатки

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.

Входной/драйверный каскад выполнен по трансформаторной схеме. Звучание усилителя можно улучшить, применив фиксированное смещение. Лампы 5842 (417А) можно (с некоторыми оговорками) заменить российскими 6С3П/6С4П, 6С15П/6С45П, а также пентодами в триодном включении: 6Ж43П, 6Ж23П, 6Э5П, 6Ж52П.

Соотношение витков обмоток межкаскадного трансформатора от 1:1,2 до 1:2 (в зависимости от коэффициента усиления используемой лампы).

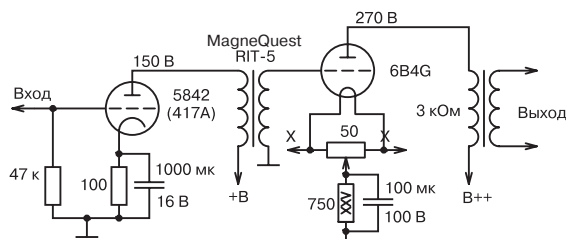


Рис. 3.16. Схема однотактного усилителя

Схемотехника: двухтактный усилитель с фазоинверсным трансформатором

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



Внимание.

Цепи смещения выходных ламп не показаны.

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

Схемотехника: двухтактный усилитель, выполненный по классической схеме Вильямсона

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).

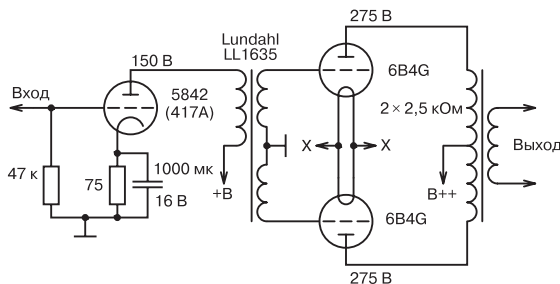


Рис. 3.17. Схема двухтактного усилителя

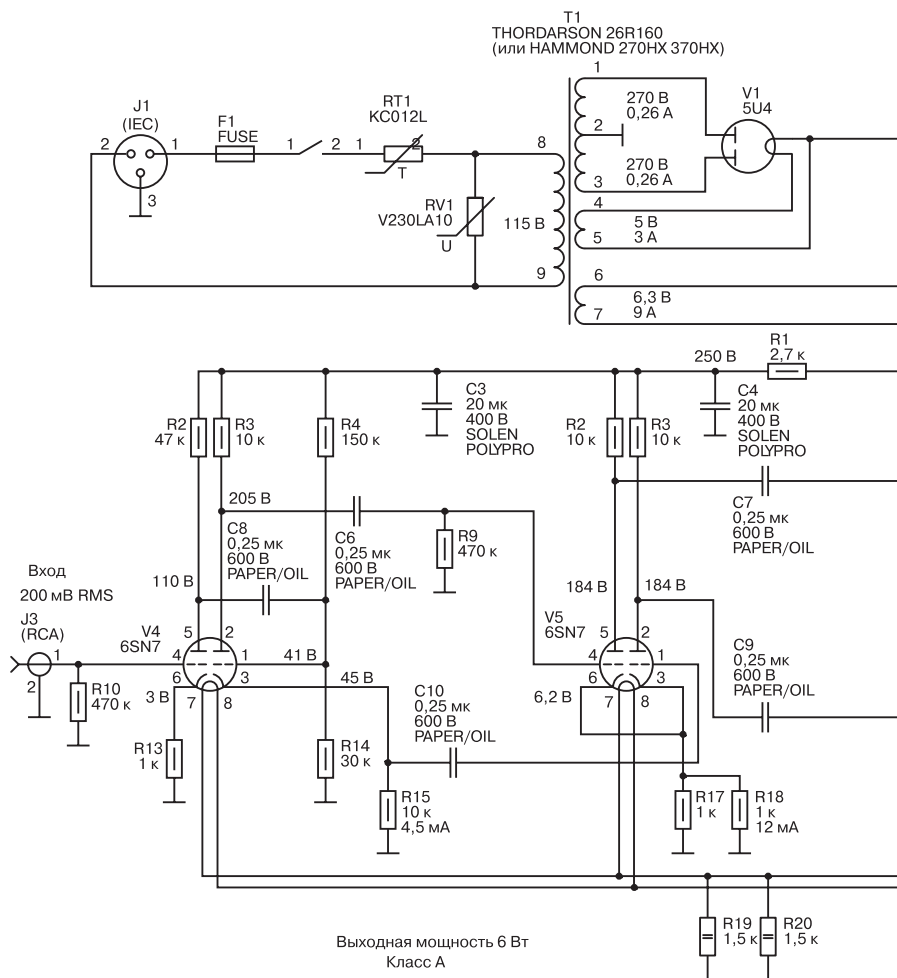
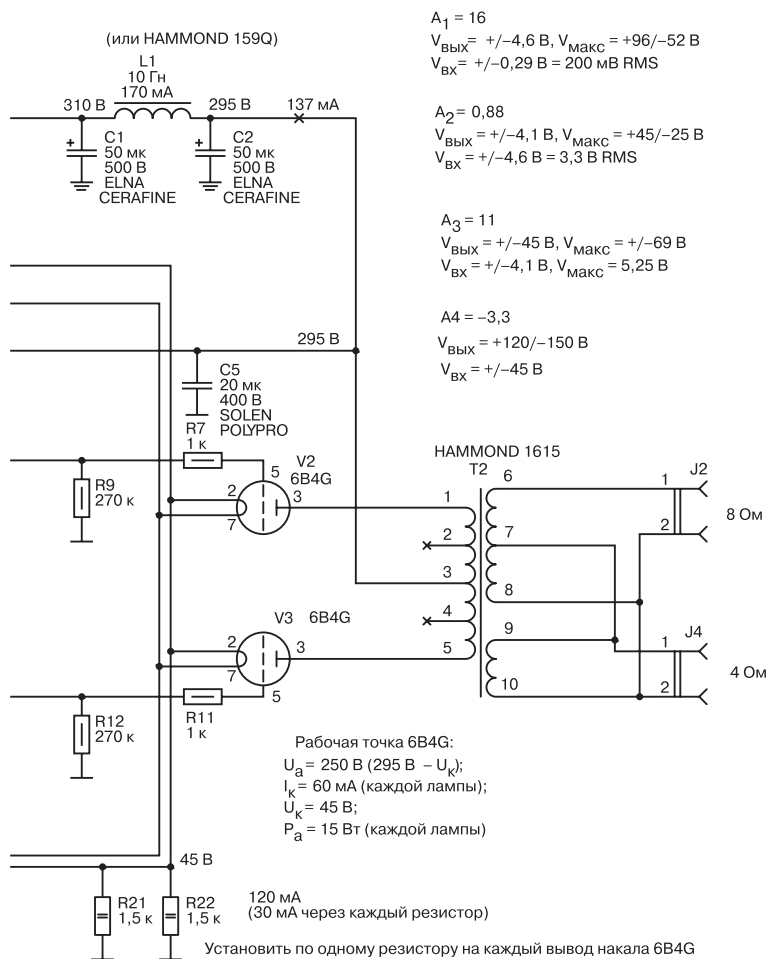


Рис. 3.18. Двухтактный усилитель по схеме Вильямсона



Примечание.

Подробно концепция Вильямсона рассмотрена здесь: <http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n2/scott.htm>

СЕКРЕТЫ АУДИОТЕХНИКИ

Разумеется, термин «ламповая техника» не исчерпывается усилителями, да и усилители — весьма широкое понятие. В этой главе рассматриваются наиболее интересные схемотехнические и конструкторские решения, а также вопросы выбора комплектующих.

4.1. Входные разъемы

Любое звукоусилительное устройство начинается с входных разъемов. Во времена СССР в качестве стандартного использовался СГ-5 (вилка ОНЦ-ВГ-4-5-/16-В и розетка ОНЦ-ВГ-4-5/16-Р) — европейский DIN 5/180° (рис. 4.1), в настоящее время повсеместно вытесненный американским RCA («тюльпан») (рис. 4.2). В профессиональной технике используются балансные разъемы XLR (рис. 4.3).

Применение		Разъем	Назначение контактов				
			1	4	2	5	3
Усилитель	Моно	 5/180°	Выход звука		Экран/ общий	Вход звука	
	Сtereo		Выход левого канала	Выход правого канала		Вход левого канала	Вход правого канала
Магнитофон	Моно	 5/180°	Вход звука		Экран/ общий	Выход звука	
	Сtereo		Вход левого канала	Вход правого канала		Выход левого канала	Выход правого канала

Рис. 4.1. Разъемы DIN 5/180°

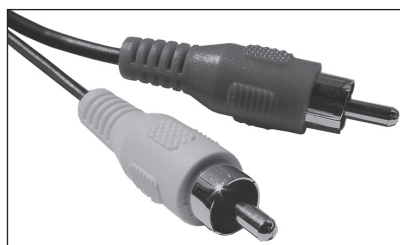


Рис. 4.2. Разъемы RCA (белый цвет разъема соответствует левому каналу, красный — правому).



Гнездо

Штекер

Контакт	Назначение
1	Общий провод (может быть соединен с оплеткой кабеля)
2	Прямая полярность (плюсовой провод)
3	Обратная полярность (минусовой провод)

Рис. 4.3. Разъемы XLR:

а — внешний вид; б — назначение контактов

Отметим, что разъемы RCA имеют серьезные недостатки:

- ♦ малая площадь соприкосновения центральных контактов штекера и гнезда;
- ♦ ненадежность крепления гнезда на панели;
- ♦ вылет центрального (сигнального) контакта за пределы заземляющего, вследствие чего сигнальная цепь соединяется раньше общего провода. При наличии на центральном контакте потенциала кабель RCA-RCA может быть опасен для полупроводниковой техники и для человека — будьте осторожны;
- ♦ поверхность разъемов зачастую имеет покрытие, непригодное для качественного аудио, например, никелирование. С осторожностью следует относиться к посеребренным разъемам.



Авторы рекомендуют.

Авторы рекомендуют приобретать только качественные

разъемы, покрытые золотом и его заменителями (родием, иридием, осмием), а при установке гнезд на панель усилителя фиксировать резьбовое соединение с помощью цапонлака!

Если есть доступ к токарному станку, то разъемы можно изготовить самостоятельно, лучший материал — медь.

Приобрести разъемы можно здесь:

- ♦ <http://www.ispa-shop.ru/ru/cat/cat7/cat78/cat1130/>
- ♦ <http://link.avc.ru/index.php5?module=production&class=showCatalogue&rootDirId=5121&brendId=13>, а также на аукционе www.ebay.com

4.2. Соединительные (межблочные) кабели

Один из самых острых вопросов в современном аудио — выбор межблочных кабелей и их влияние на качество звуковоспроизведения. Разумеется, любая деталь, установленная в цепи звукового сигнала, оказывает на него некоторое (и всегда негативное!) воздействие. Со стороны межблочного кабеля степень такого воздействия зависит, прежде всего, от качества разъемов, припоя, провода, изоляции.

Но широко распространено мнение о влиянии «направленности» кабеля (многие производители наносят маркировку в виде стрелок), точного подбора его длины (обычно в пределах 0,5—1 м) и даже способа размещения кабеля. Причем некоторые аудиофилы утверждают, что лучше звучит кабель, проложенный по деревянным брускам, а не по полу непосредственно! Встречаются экзотические конструкции в виде двух металлических шин, скрепленных деревянными перемычками, а также кабели из алюминиевого провода и даже углеродного волокна.

Авторы книги предлагают читателям самостоятельно проверить на слух разницу в звучании одного и того же кабеля:

- ♦ включенного в (условно) «прямом» и «обратном» направлениях;
- ♦ длиной 0,6 и 0,8 м;
- ♦ нового и «прогретого» широкополосным сигналом с тестового диска или компьютера.

По результатам читатель сможет сам определиться, стоит ли тратить время и деньги на «кабельный» звук.

Желающим самостоятельно изготовить недорогой межблочный кабель авторы рекомендуют использовать медную моножилу небольшого (0,4—0,6 мм²) сечения, например, от кабеля витая пара (UTP) 5-й категории. Он широко применяется в компьютерных сетях. Стоит недорого (10—15 руб. за 1 м), содержит 8 медных проводников.

Для самостоятельного изготовления такого кабеля можно воспользоваться методиками:

- ♦ http://www.tnt-audio.com/clinica/shoestrings_e.html
- ♦ <http://www.dvdworld.ru/Sam/ship/cavel.html>

Технология плетения подробно рассмотрена здесь:

- ♦ http://truelink.nm.ru/documents/diy_gena.html



Авторы рекомендуют.

*Результаты будут намного лучше, если применить специальный монтажный провод, например, **Canare**.*

Недостатком кабеля на основе моножильных проводов является недолговечность: если коммутации осуществляются часто, такие проводники переламываются в месте изгиба (вследствие малоцикловой усталости). **Использовать провод с наборной жилой не рекомендуется** в силу более заметного влияния на качество звучания.

По этой же причине **нежелателен литцендрат!**

Если при высоком качестве звучания требуется **повышенная гибкость**, то превосходные результаты демонстрируют «межблочники», выполненные на основе профессионального микрофонного кабеля. Авторы книги рекомендуют Canare L2T2S: <http://www.ispa-shop.ru/ru/cat/cat7/cat76/product32506.html>.

Уменьшить влияние кабеля на звучание можно путем правильного согласования выходного сопротивления источника (по возможности, минимального) и входного сопротивления приемника сигнала — идеальный вариант: $R_{\text{вх}}/R_{\text{вых}} \geq 10$.

В заключение отметим, что увлекаться не следует — **количество соединений должно быть сведено к минимуму**. Например, можно использовать цельный проводник от головки звукоснимателя до входного разъема винил-корректора, а трансформатор для МС-головки установить внутри, припаяв выводы его вторичной обмотки к соответствующим точкам первого каскада.

4.3. Сборка усилителя

Монтажный провод

Внутреннюю разводку ламповых конструкций следует производить медной моножилкой, не имеющей лакового покрытия. Для сигнальной цепи можно использовать (упомянутые выше) УТР 5-й категории или монтажный Canare без изоляции диаметром 0,6—0,8 мм, а для общего провода (сигнальной «земли») диаметром 1—1,5 мм. При прочих равных, лучшим будет провод, выпущенный в первой половине 20 века германскими и американскими производителями (хотя и в этом случае может потребоваться сравнительное прослушивание).



Примечание.

Разумеется, дело здесь не в эзотерике, а в том, из какого сорта меди сделан провод. Если, например, взять вакуумную медь МОБ и изготовить из нее моножилу, затем отжечь в вакууме (вне контакта с воз-

духом), одеть в кремнийорганическую («силиконовую») изоляцию, то получится превосходный провод!

Авторы не рекомендуют провод в экранирующей оплетке! С осторожностью следует относиться к серебряным проводникам, а посеребрённые не применять вообще!

Если конструктивно не удастся избежать соприкосновения проводников, то в качестве изоляции хорошо подойдут трубочки, скрученные из локоткани и зафиксированные хлопчатобумажной нитью.

Провод из чистой меди в комнатных условиях практически не подвержен коррозии, т. к. на поверхности присутствует оксидная пленка. Некоторые эксперты считают, что эта пленка вносит заметный вклад в шумы кабеля и рекомендуют полировать поверхность, а затем покрывать воском или кремнийорганическим («силиконовым») герметиком.

В цепях подогревателя ламп косвенного накала удобно использовать монтажный провод с наборной жилой, свитый бифилярно. Также бифилярно должны быть свиты все проводники, по которым протекает переменный ток частотой 50 Гц.

В этом случае, помимо скручивания проводников, рекомендуем сверху надевать оплетку, а поверх оплетки — трубку из локоткани или фторопласта. Оплетку — заземлять в одной точке. Иначе достигнуть отношения «сигнал/шум» выше 60 дБ будет проблематично.



Примечание.

Многие конструкторы в описаниях своих разработок указывают отношение «сигнал/шум» выше 50—60 дБ (для соответствия стандарту Hi-Fi), но при этом умалчивают о наличии фона. Т. е. шум — это шум, а фон — совершенно другое дело...

Однако, с точки зрения слушателя, **фон** — это ...тоже шум! Достичь низкого уровня фона (а это, как правило, не хуже –60 дБ на частоте 50 Гц или 100 Гц), в ламповых конструкциях, особенно в предварительных каскадах усиления, — задача очень сложная!

Одни разработчики (в характеристиках на усилитель) указывают расчетную величину и не занимаются измерениями, а также настройкой своих конструкций, выдавая тем самым, желаемое за действительное. Другие заявляют, что на расстоянии в 10 см от динамика они все же слышат фон, что не мешает слушать музыку...

Рекомендуем читателям предельно серьезно отнестись к проблеме борьбы с шумами и фоном — задумайтесь: переменная составляющая 1—3 мВ при напряжении анодного питания +300 В кажется незначительной (соотношение 1:300000!!!), но сигнал с головки звукоснимателя обычно не превышает 1—3 мВ!!!

Пожалуй, наилучшим решением будет использование в блоке питания многосвязных RC-фильтров.

Силовые (питающие) цепи напряжением свыше 42 В монтируются только изолированным проводом, рассчитанным на максимально возможное напряжение на данном участке схемы с запасом не менее 30%!

Рекомендуем книгу: Г. А. Дулицкий, А. П. Комаревцев. **Электробезопасность при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В.** — М: Военное издательство. — 1988 г.

Припой

Авторы книги рекомендуют использовать только припой эвтектического типа, не содержащие никаких элементов, кроме олова и свинца! Наиболее доступный из них — ПОС-61.

Если все-таки используются детали с посеребренными выводами (например, ламповые панельки), посеребренный или серебряный провод, то **необходим** серебросодержащий припой, например, ПСрО 3-97.

Шасси и корпус

Металлическое шасси выполняют из немагнитного материала (медь, латунь, сплавы алюминия). Если нет возможности его изготовить или приобрести, то лучшим решением будет деревянная рамка с прикрепленным к ней сверху металлическим листом (рис. 4.4).

В крайнем случае, можно собрать субшасси из фольгированного текстолита (соединяя листы при помощи пайки) и закрепить его внутри деревянного корпуса соответствующего размера.



Внимание.

Готовый корпус обязательно устанавливается **на шипы!**

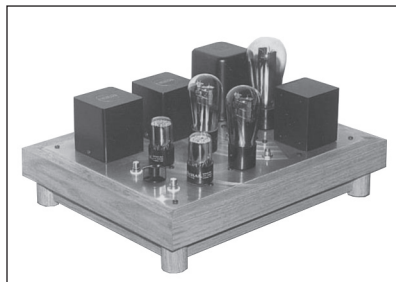


Рис. 4.4. Готовый корпус

Монтаж

При монтаже следует соблюдать некоторые **правила**:

- ♦ использовать только объемный (навесной) способ;
- ♦ расположение элементов должно соответствовать электрической схеме;
- ♦ все проводники должны иметь минимальную длину;
- ♦ проводники монтируются взаимно ортогонально (перпендикулярно), параллельная укладка недопустима;
- ♦ в качестве монтажных проводников по возможности используются выводы элементов и контакты ламповых панелек; требования к монтажным проводникам сформулированы выше;
- ♦ шина «земли» соединяется с шасси только в одной точке (обычно около входных разъемов), которая определяется экспериментально по минимальному фону;
- ♦ «земля» входных RCA разъемов не должна контактировать непосредственно с шасси! Ее необходимо наиболее коротким путем соединить с точкой шины «земли», к которой подключен катод лампы первого каскада;
- ♦ все «земли» каскада собираются в звезду с центром в ближайшей точке шины «земли»;
- ♦ силовые трансформаторы и дроссели ориентируются таким образом, что их катушки взаимно перпендикулярны (ортогональны).

В качестве примера приведем схему «народного» корректора Е. Комиссарова с авторской разводкой «земли» (рис. 4.5).

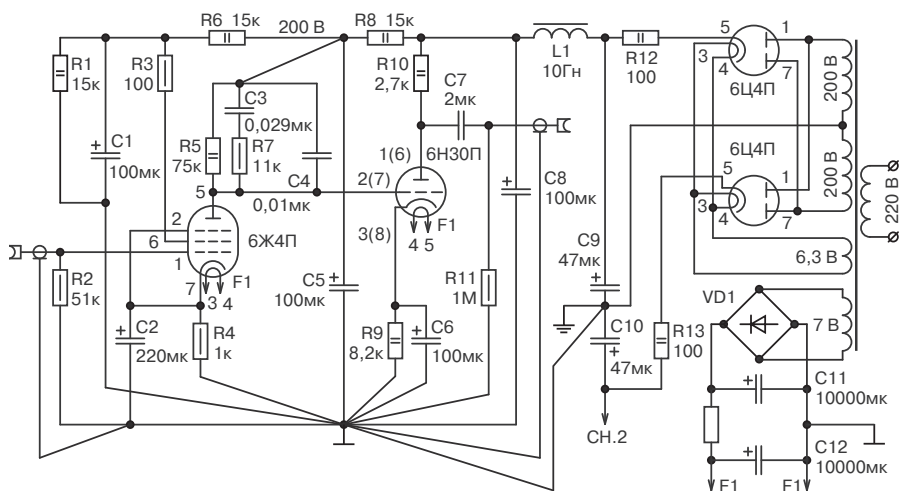


Рис. 4.5. «Народный» корректор Комиссарова (полный вариант)

4.4. Регулятор громкости

Итак, межблочный кабель изготовлен, входной разъем установлен и распаян... Сигнал с источника поступает на регулятор громкости — обычно это переменный резистор (потенциометр) — и ...деградирует прямо на глазах!

Дело не только в низком качестве продукции всемирно известной фирмы NoName и не в механическом износе мастиных, но бывших в интенсивном и длительном употреблении потенциометров, извлеченных из винтажной аппаратуры!



Примечание.

Даже идеальный резистор имеет как минимум один паразитный параметр — шумы, обусловленные тепловым движением электронов.

Напряжение этих шумов (микровольт) пропорционально корню квадратному из произведения сопротивления (ом) и полосы пропускания (килогерц, обычно 20—22 кГц). Очевидно, что снижению подлжит только первая величина — **сопротивление**. Поэтому решения 50—60-х годов прошлого столетия (рис. 4.6), в которых применялись потенциометры номиналом в сотни килоом (и даже несколько мегаом!), **неприемлемы!**

Высокий уровень шумов резисторов ограничивает чувствительность электронных схем и создает помехи при воспроизведении полезного сигнала. Для непроволочных резисторов ЭДС шумов имеет значение от долей микровольта до сотен микровольт на вольт.

Кроме того, потенциометр не зашунтирован резистором утечки сетки, что **может привести к выходу из строя лампы первого каскада и ВЧ-головки АС**. Добавление этого резистора (номиналом от 1 МОм!!!) также не украсит звучание.

К сожалению, такой подход к регулировке громкости можно встретить и в современных конструкциях, авторы которых бездумно повторяют устаревшие схемы со всеми их недостатками.



Авторы рекомендуют.

Наиболее простым решением проблемы будет установка потенциометра на порядок меньшего номинала (47 кОм) и шунтирование его резистором утечки 100—120 кОм (может потребоваться еще и шунтирующий резистор между выводом подвижного контакта и «землей»).

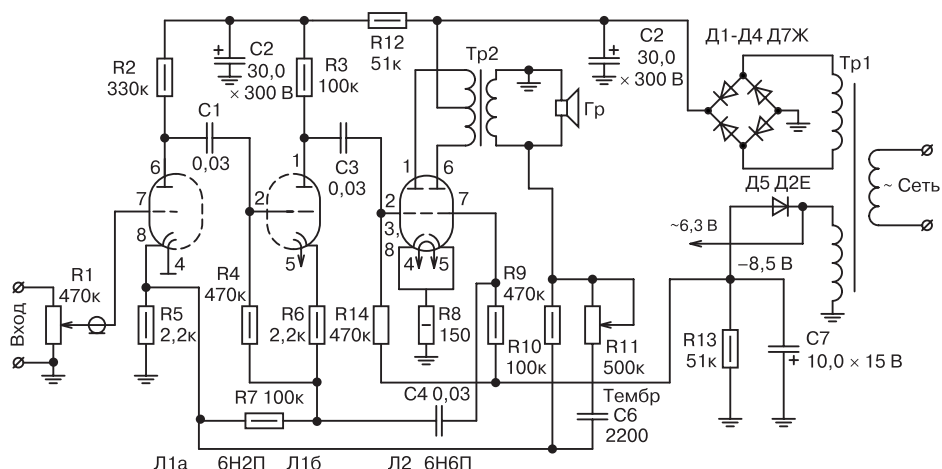


Рис. 4.6. Регулятор громкости с использованием потенциометра 470 кОм

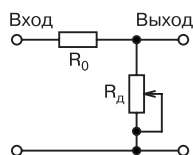


Рис. 4.7.
L-аттенюатор —
пример минимизации
влияния подвижного
контакта
потенциометра

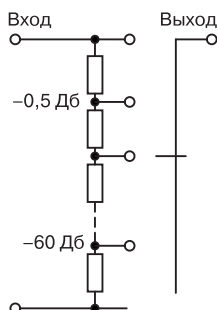


Рис. 4.8. Ступенчатый
L-аттенюатор

Но это лобовой метод, не меняющий сути — зависимости качества звучания от надежности подвижного контакта, влияние которого можно минимизировать, например, схемотехническим путем (рис. 4.7), а еще лучше — исключить полностью (рис. 4.8)!



Примечание.

Подробное описание L-аттенюаторов выходит за рамки этой книги, поэтому предлагаем читателям самостоятельно ознакомиться с известной работой А. Белканова: <http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n1/latt.htm>

Примером регулятора громкости класса Ni-End является трансформатор-аттенюатор А. Воробьева (рис. 4.9). Полный каталог:

<http://www.vegalab.ru/forum/showthread.php/8953-Трансформаторы-аттенюаторы>. Подобные разработки есть и у фирмы Sowter, но цены значительно выше.

Перечисленные выше способы регулирования громкости имеют **общий недостаток** — они работают непосредственно с входным сиг-

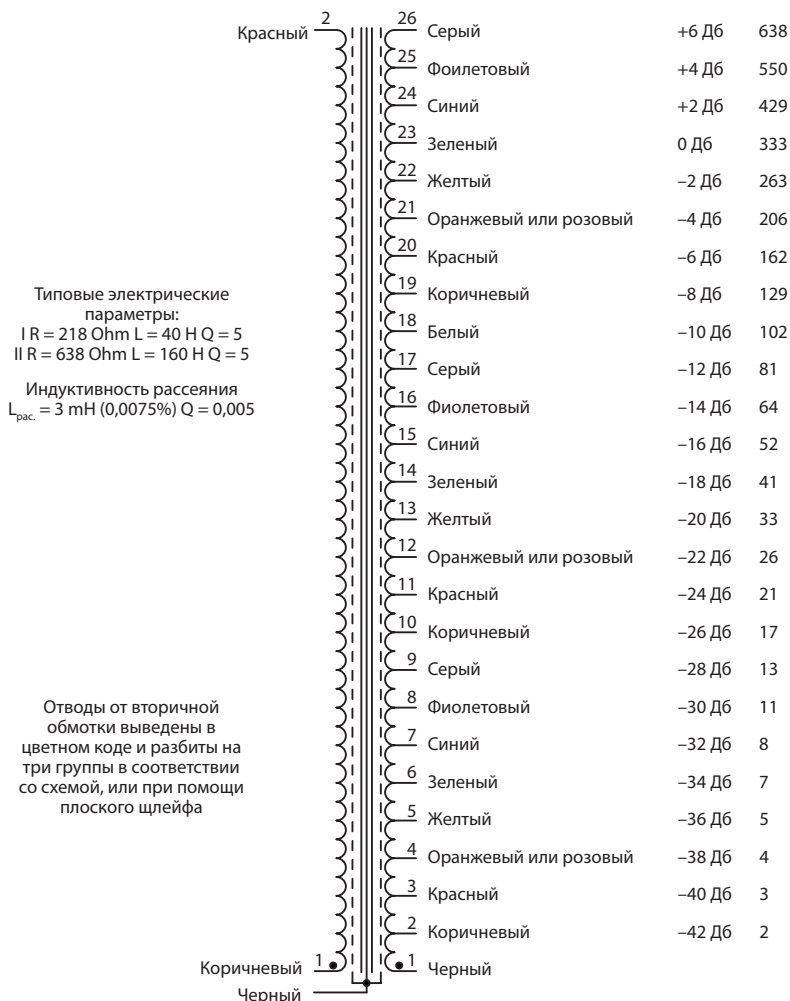


Рис. 4.9. Бескомпромиссный аттенюатор А. Воробьева

налом. Конечно, можно включить потенциометр на выход первого каскада и регулировать уже усиленный в десятки раз сигнал, что положительно скажется на звучании (рис. 4.10).

При таком включении переменного резистора не нужно забывать о допустимом предельном напряжении, на которое он рассчитан.

Можно предложить еще один способ регулировки громкости: с помощью разделительного трансформатора-аттенюатора, включенного между драйверным и выходным каскадами.

Если внимательно изучать старую литературу по ламповой схемотехнике, то можно наткнуться на интереснейшие идеи, опередившие

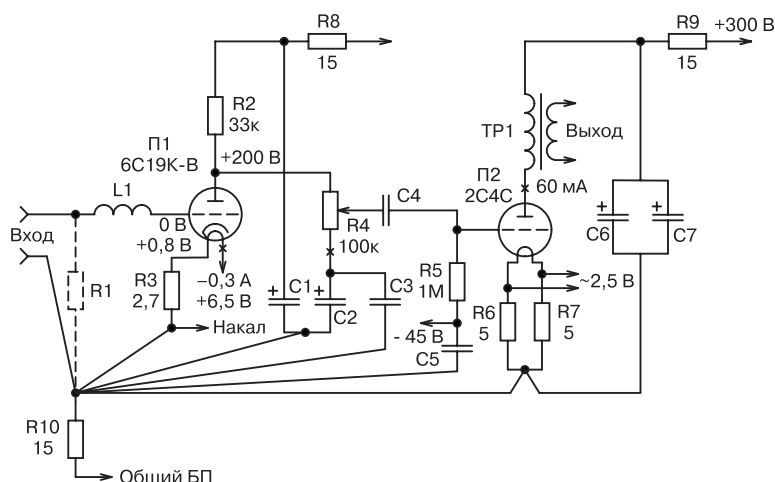


Рис. 4.10. Усилитель И. Тверянкина

свое время. Обратите внимание на рис. 4.11 — регулятор громкости выведен за пределы сигнальной цепи!

Существует и радикальное решение проблемы — отказаться от регулировки, подобрав усиление схемы так, чтобы обеспечивался комфортный уровень громкости!

Несколько слов по поводу **тонкомпенсации**. Действительно, при снижении уровня громкости человек хуже воспринимает низкочастотные и высокочастотные составляющие звукового сигнала. По этой причине в звуковоспроизводящие устройства устанавливают частотно-зависимые (тонкомпенсированные) регуляторы громкости, обеспечивающие подъем высоких и низких частот при малом уровне громкости в соответствии с кривыми равной громкости. В определен-

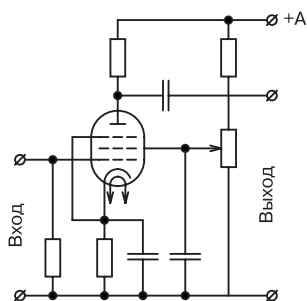


Рис. 4.11. Регулировка громкости за счет изменения напряжения на второй сетке пентода

ных (технократических) кругах эта тема весьма популярна: <http://www.vegalab.ru/content/view/67/54/>

Однако при ближайшем рассмотрении возникает ряд вопросов: не окажется ли положительный эффект тонкомпенсации менее заметным, чем ухудшение качества звучания, обусловленное добавлением в сигнальную цепь нескольких элементов? Собственная АЧХ слухового органа каждого человека мало того что индивиду-

альна, так еще и меняется с возрастом: как это учитывается и учитывается ли сторонниками тонкомпенсации? Не связывает ли руки разработчику необходимость применять потенциометрическую регулировку громкости, стоит ли игра свеч?

По мнению авторов книги, аксессуары такого рода более уместны в бумбоксах (переносных магнитолах), либо в системах любителей спецэффектов, но не в аппаратуре класса Hi-Fi.

4.5. Селектор входов

Вернемся немного назад — к **входным разъемам**. Все сказанное выше относилось к классическому случаю усилителя, имеющего только одну входную группу (входные разъемы левого и правого каналов). Но современная аудиосистема класса Hi-Fi наряду со стандартным источником — проигрывателем компакт-дисков (ПКД) все чаще включает в себя проигрыватель грампластинок («вертушку»). Кроме того, ПКД может быть несколько, т. к. даже самый лучший и дорогой из них не в состоянии одинаково хорошо отыграть все музыкальные жанры.

Что делать в этих случаях? Самый простой способ — **ручное переключение кабеля** между источниками и усилителем — одновременно и самый неудачный: помимо неудобства он приводит к износу разъемов (облетает покрытие) и поломке кабеля, изготовленного на основе моножилы... Напрашивается **очевидное решение**: установка нескольких пар входных разъемов с последующей коммутацией при помощи переключателя (**рис. 4.12**).

К сожалению, переключатели любого типа имеют ряд паразитных параметров:

- ♦ у механических — контактное и вентильное сопротивление;
- ♦ у реле добавляются еще и электромагнитные помехи (но в целом качество контакта у них гораздо выше);
- ♦ у электронных — специфические искажения и т. д.

По аналогии с заменой потенциометра L-аттенуатором в регуляторе громкости (см. соответствующий раздел данной главы) можно установить переключатель не последовательно с сигналом, а своего рода **шунтом**. Такая схема была разработана Д. Андронниковым (**рис. 4.13**), подробности можно посмотреть здесь:

<http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n1/comm.htm>

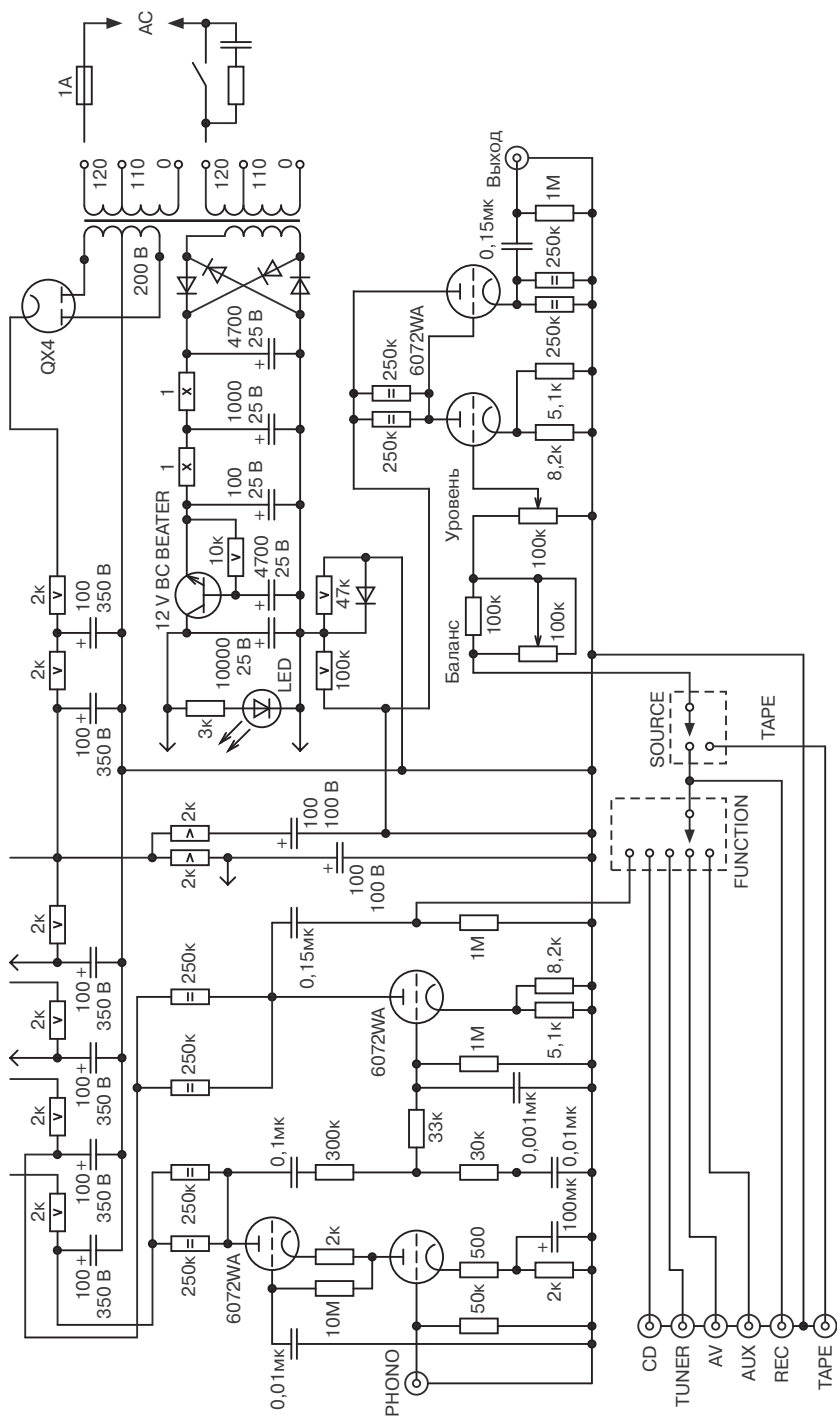


Рис. 4.12. Предварительный усилитель M7 фирмы Audio Note

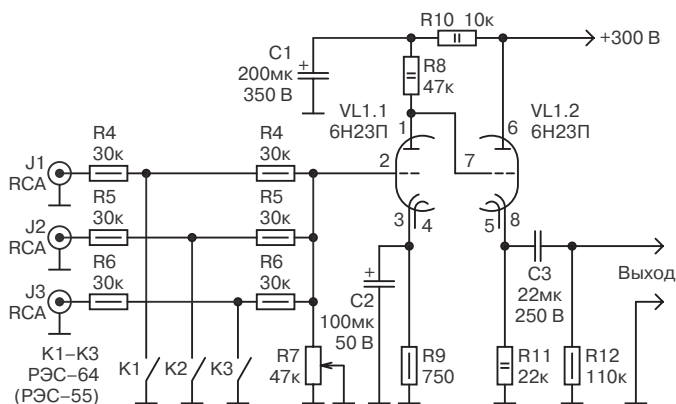


Рис. 4.13. Контактно-резисторный коммутатор входов Д. Андронникова

С технической точки зрения все верно, однако, за снижение влияния переключателя пришлось заплатить добавлением (в сигнальную цепь!) нескольких резисторов с сопутствующими пайками и проводами!

От указанных недостатков свободна схема с коммутацией входов посредством переключения ...цепей накала ламп (рис. 4.14)!

Может показаться, что единственным недостатком схемы будет лишь время переключения, обусловленное прогревом катода ламп косвенного накала...

Но и здесь имеются подводные камни: если нарисовать всю схему, то со стороны неиспользуемых каскадов получается положительная RC-коррекция (в случае включения каскадов от одного источника питания). Тогда следует и анодное напряжение на каждый каскад подавать переключателем, спаренным с переключателем подачи напряжения накала или питать каждый из каскадов от гальванически развязанного (по АЧХ 20 Гц — 20 кГц) источника питания, а это дроссель и конденсатор на каждый каскад!

4.6. Предварительный усилитель

Объединив бесконтактный коммутатор (рис. 4.14) и регулятор громкости получаем **предварительный усилитель**. Особенно перспективной представляется схема на основе регулятора громкости (рис.

ров, вторичные обмотки которых соединены последовательно вместе (концы полученной общей обмотки и будут выходом «моно»).

Схема (рис. 4.15) позволяет пойти еще дальше: установив отдельные регуляторы громкости и подключив накал обеих (всех) ламп получаем ...микшер с соответствующим количеством каналов, который можно использовать, например, при звукозаписи или в аудиотракте системы «караоке»! Так что возможности данной схемы выйдут далеко за рамки бытовой аудиосистемы класса Hi-Fi!



Примечание.

В указанных схемах предпочтительны лампы с малыми R_i и μ .

4.7. Регулировка стереобаланса

По мнению авторов книги, лучший регулятор баланса — два независимых регулятора громкости (по одному на каждый из стереоканалов).

Действительно, нет смысла добавлять в схему еще один переменный резистор и бороться с его паразитными параметрами!

4.8. Регулировка тембра

По указанным выше причинам не следует добавлять в высококачественный тракт дополнительные элементы, ухудшающие звучание. Да и есть ли смысл что-то менять в записи, над которой трудились профессиональные звукорежиссеры?! Исправление некоторых изъянов (например, завала АЧХ по краям диапазона) необходимо разве что в «бумбоксах» и автомагнитолах — здесь можно порекомендовать использование регуляторов тембра конструкции Баксандаля (рис. 4.16). Подробности можно найти в статье А. Шихатова: <http://www.vegalab.ru/content/view/65/54/>.



Примечание.

Подобные схемы будут полезны при создании эстрадных и гитарных усилителей, а также приставок с различными звуковыми эффектами.

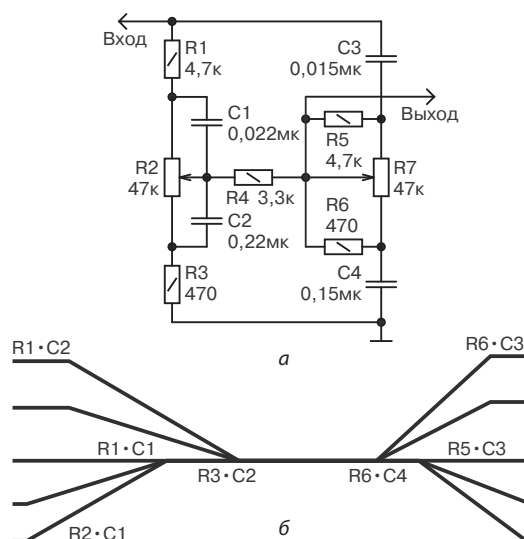


Рис. 4.16. Регулятор тембра конструкции Баксанда

Теоретически, интерес представляет такая разновидность регулятора тембра как **5-полосный эквалайзер** — для использования в качестве фонокорректора при воспроизведении старых грампластинок. До принятия в 1954 году стандарта коррекции RIAA (RIAA-коррекция) каждая звукозаписывающая компания использовала собственные стандарты (их существовало более 100; а иногда одна и та же компания в разные годы использовала несколько стандартов!). Увы, отклонения случались и после 1954 года...

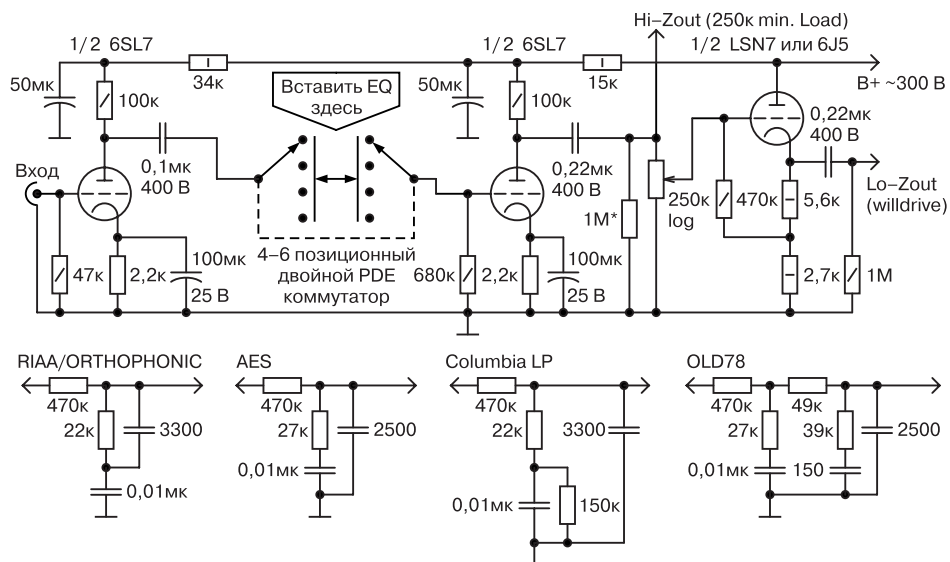


Рис. 4.17. Схема универсального предусилителя-корректора

На практике, реализация такого эквалайзера — архисложная задача. В реальных условиях лучше иметь **два корректора**:

- ♦ и стандартный (RIAA);
- ♦ и один универсальный с возможностью переключения между цепями коррекции разных стандартов.

Последнее устройство можно реализовать отдельным пассивным блоком, подключаемым на выход предусилителя. В таком случае потребуются согласование с выходным сопротивлением последнего каскада предусилителя и выбор ламп для обеспечения необходимого усиления.

Пример реализации универсального предусилителя-корректора приведен на **рис. 4.17**.

Эту конструкцию можно усовершенствовать — выполнить цепи коррекции в виде отдельных электронных модулей с одинаковой колодкой-разъемом и менять их в зависимости от необходимости, как например, радиолампы, тем самым отказавшись от переключателя.

4.9. Предусилители-корректоры (фонокорректоры)

Перейдем к подробному рассмотрению фонокорректоров. В отличие от проигрывателя компакт-дисков (ПКД), на выходе которого обычно присутствует сигнал амплитудой от 1 В и практически линейной АЧХ, у проигрывателя грампластинок все гораздо сложнее.

Во-первых, амплитуда выходного сигнала типовой головки звукоснимателя (с подвижным магнитом, ММ-головка) составляет несколько милливольт, а у головок с подвижной катушкой (МС-головка) — доли милливольт!

Во-вторых, технология производства грампластинок такова, что при записи приходится:

- ♦ искусственно снижать амплитуду сигнала НЧ-диапазона, т. к. ширина участка с записью в этом случае значительно больше, чем у СЧ- и ВЧ-диапазонов — записать грампластинку стандартной продолжительности звучания будет просто невозможно;
- ♦ увеличивать амплитуду сигнала ВЧ-диапазона, иначе дорожка будет настолько узкой, что заметно возрастет уровень шумов.

Очевидно, при воспроизведении граммпластинки необходимо выполнить обратное преобразование: увеличить амплитуду НЧ- и уменьшить амплитуду ВЧ-сигнала — тогда результирующая АЧХ будет линейна!

Осуществить обратное преобразование можно используя специальные электрические цепи, по которым и классифицируются конструкции фонокорректоров:

- ♦ RC (цепочки на основе резисторов и конденсаторов);
- ♦ RL (цепочки на основе резисторов и дросселей);
- ♦ RLC (комбинация двух предыдущих);
- ♦ RX (цепочки на основе резисторов и трансформаторов).

Также существует классификация фонокорректоров по взаимному расположению элементов коррекции в схеме:

- ♦ **сосредоточенная** коррекция — все элементы расположены в одном каскаде (если точнее — между двумя соседними каскадами усиления);
- ♦ **распределенная** коррекция — элементы расположены в двух и более каскадах усиления (распределены между тремя и более каскадов).

Следующая классификация производится по расположению цепи коррекции в схеме:

- ♦ **активная** — включена в цепь обратной связи;
- ♦ **пассивная** — не включена в цепь обратной связи.

Например, фонокорректор (рис. 4.12) построен на основе пассивной сосредоточенной RC-коррекции (резисторы 300, 30, 33 кОм и 1 МОм, конденсаторы 0,01 и 0,001 мкФ), включенной между первым и вторым каскадом усиления. В силу простоты реализации и невысокой стоимости комплектующих этот вид коррекции получил широчайшее распространение.

Методика расчета цепей RC-коррекции подробно рассмотрена:

<http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n4/phono.htm>.

На практике удобно воспользоваться RC-калькулятором:

<http://www.kabusa.com/riaa.htm>

а также:

<http://www.radiolamp.ru/rl-program/riaa.php>.



Внимание.

Отметим, что номиналы элементов цепей коррекции любого типа не должны отклоняться от расчетных значений более чем на 1%!

Авторы рекомендуют применять конденсаторы МБГО, освобожденные от металлической оболочки — выбрав несколько больший номинал, можно аккуратно отмотать лишние слои фольги и бумаги (из которых состоит конденсатор), непрерывно измеряя емкость с помощью тестера, и получить в результате практически полное совпадение емкости с расчетной.

По завершении процедуры конденсатор следует залить (не проваривать!) воском или парафином для герметизации (возможно применение «силиконового» герметика)! С точки зрения качества звучания такой конденсатор не уступает дорогостоящему Jensen! Хороших результатов можно добиться, используя конденсаторы СГМ, ССГ, КСГ. Резисторы — отечественные С2-10, С2-29, импортные Takman, Kiwame и самые «аудиофильные» Audio Note и Ricken Ohm.

В качестве первой конструкции начинающим можно предложить корректор В. Ульянова: <http://www.tchernovaudio.com/?s=audioportal&sub=faq&view=0000000221> или А. Манакова (рис. 2.22).

Более искушенным радиолюбителям можно предложить «народный» корректор Е. Комиссарова (рис. 4.17, рис. 4.5 и полное описание http://audioworld.ru/DIY/Vinil/cor_01.html).

Самым отъявленным аудиофилам предлагаем повторить следующие схемы:

- ♦ http://audioworld.ru/DIY/Vinil/cor_02.html
- ♦ http://www.aml.nm.ru/articles/rx_corrector.htm

Корректор можно объединить с предусилителем, рассмотренным ранее. По качеству звучания такое устройство превзойдет подавляющее большинство промышленных аналогов!

В заключение приводим ссылки на основные ресурсы, посвященные вопросам **фонокоррекции**:

- ♦ <http://v-nagaev.narod.ru/load.htm>
- ♦ http://igdrassil.narod.ru/audio/pre_riaa/index.html
- ♦ <http://www.sky.od.ua/~eugeny/doc.html>

4.10. Усилитель для головных телефонов (хэдамп)

Подробно будет рассмотрен в главе 5 настоящей книги. Рекомендуем читателям больше экспериментировать: существует немало ламп, пригодных для использования в хэдампе — триодов и пентодов в триод-

ном включении. Выходной трансформатор желательно спроектировать с двумя вторичными обмотками — для поддержки как низкоомных (4—6 Ом), так и высокоомных головных телефонов (300—600 Ом).

Если позволяют финансы, то можно заняться поисками специальных трансформаторов для хэдампов, например, выпускавшихся японской фирмой Hirata под маркой Tango — они иногда попадаются на www.inja-pan.ru или UTC (модели A-25, A-44, LS-27, HA-133) на www.ebay.com.

В настоящее время трансформаторы Tango производятся фирмой ISO (подойдет, например, модель NP-126). По-прежнему выпускаются трансформаторы фирмы Tamura.

Параметры трансформаторов UTC:

- ♦ http://viktor-a-shapkin.narod2.ru/materiali_po_transam__transformers/utc_transformers/

Параметры трансформаторов Tamura:

- ♦ <http://www.eifl.co.jp/index/export/tamurat/tamura.htm>

Параметры трансформаторов Tango ISO:

- ♦ <http://www.eifl.co.jp/index/export/ISO.html>

4.11. Разъемы для подключения акустических систем (акустические терминалы)

Усилитель класса Hi-Fi должен быть оснащен выходными разъемами винтового типа (для непосредственного крепления кабеля), пружинные разъемы недопустимы!

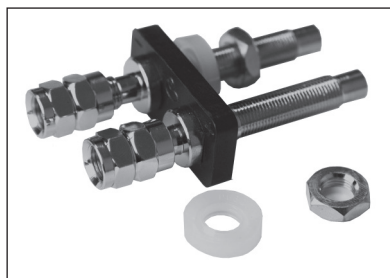


Рис. 4.18. Акустический терминал

Авторы рекомендуют приобретать только качественные разъемы, покрытые золотом и его заменителями (родием, иридием, осмием), а при установке на панель усилителя фиксировать резьбовое соединение с помощью дополнительной гайки или гроверной шайбы!

Если есть доступ к токарному станку, то разъемы можно изготовить самостоятельно, лучший материал — медь (придется время от времени их полировать).

4.12. Акустический кабель

Это широкое поле для экспериментов (наряду с межблочными кабелями). Авторы рекомендуют использовать акустический кабель минимально возможной длины, а его концы зажимать непосредственно гайкой акустического терминала без каких-либо дополнительных разъемов («лопатка», «банан»). Кстати, последние запрещены в европейских странах по соображениям безопасности! Оптимальная площадь сечения — 5 мм²!

Простейший способ изготовления акустического кабеля — плетение из UTP. В отличие от межблочного здесь возможны два варианта:

- ♦ переплетаются отдельные жилы:
http://truelink.nm.ru/documents/diy_gena.html
- ♦ переплетаются цельные куски кабеля:
<http://www.humblehomemadehifi.com/CAT6.html>

Кабель UTP стоит недорого и вполне сгодится для первых опытов. Освоив технику плетения, читатели могут изготовить по-настоящему высококачественный кабель, применяя монтажный провод Canare и т. п.

СОБИРАЕМ ЛАМПОВЫЕ УСИЛИТЕЛИ СВОИМИ РУКАМИ

Специально для читателей этой книги авторы разработали конструкции высококачественного однолампового хэдампа и усилителя мощности. Рассмотрены технические задания на разработку, выбор ламп, расчеты каскадов и трансформаторов, принципиальные схемы, комплектующие, возможные замены, методика сборки.

5.1. Простой однотактный усилитель класса Hi-Fi на 6С45П

Что будем разрабатывать?

Специально для читателей этой книги авторы разработали **конструкцию однотактного усилителя класса Hi-Fi**. Характерная особенность — применение всего одной лампы (именно лампы, а не баллона, как, например, в случае с 6Ф3П/6Ф5П) на канал.

Беглый взгляд на схему (см. **рис. 5.7**) наводит на мысли об очередном усилителе «для начинающих» (что, по мнению горе-разработчиков таких конструкций, почему-то подразумевает примитивную поделку с невразумительным звучанием). Но не торопитесь с выводами — наша книга посвящена конструкциям высокого класса!

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.



Примечание.

Проблемы усилителя невозможно «замаскировать» изъятиями АС (прежде всего высоким КНИ последних), акустическими свойствами

помещения, расстановкой АС, «влиянием направленности» акустического кабеля и другими действительными и мнимыми причинами.

Аналогично проблемы источника или носителя (грампластинки, компакт-диска) не спрятать за искажениями усилителя.

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, ведь большинство из них реализовано на полупроводниках, т. е. с использованием обратной связи (как минимум, вызванной падением напряжения на двух р-п переходах каждого транзистора).

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, политехнократски прямолинейные решения.

Техническое задание на разработку

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

- ♦ класс усиления А1, 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 А трудно найти элемент, не имеющий отношения к звуковому сигналу;
- ♦ кенотронный выпрямитель (из личного опыта).

**Вывод.**

Исходя из перечисленных требований, 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 с АС?! Идея построения однокаскадного усилителя буквально витала в воздухе...

Выбор лампы

Казалось бы, решение найдено, проблема в выборе лампы.

Вариант № 1 — лампа 6П9.

Эта лампа 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.

Вариант № 2 — лампа 6Э5П.

Эта лампа 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.

6Э5П очень хорошо звучит в триодном включении, но, к сожалению, ее усиления недостаточно для конкретной схемы.

Вариант № 3 — 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...

Вариант № 4 — лампы с несколько меньшим коэффициентом усиления.

Опять заглядываем в справочник:

- ♦ 6СЗП/6С4П — $\mu = 50$, $R_i = 2,5$ кОм, примем к сведению;
- ♦ 6С15П — усиление также в районе 50, но возможны варианты — отклонение ± 15 , т. е. реально подобрать экземпляр с μ равным 65!



Вывод.

Прочие параметры лампы 6С15П фантастические: высокая крутизна — 45 ± 11 мА/В (соответственно, низкий уровень шумов, что позволит питать накал переменным током, не «ухудшая микродинамику»), высокая линейность ВАХ, достаточная мощность анода (7,8 Вт), низкое внутреннее сопротивление (1,1 кОм).

Недостаток только один — лампа весьма дефицитная!

К счастью, у нее есть **прямой (и широко распространенный!) 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 — 150 руб./шт. Кроме того, лампы можно приобрести в различных Интернет-магазинах.

Триод с высокой крутизной 6С45П

Лампа 6С45П (рис. 5.1) разработана для усиления напряжения высокой частоты.

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.

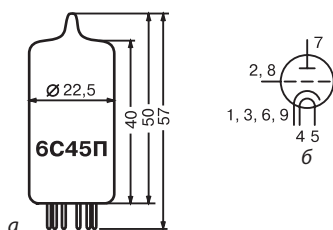


Рис. 5.1. Лампа 6С45П:

а — основные размеры; б — схематическое изображение (1, 3, 6, 9 — катод; 2, 8 — сетка; 4 и 5 — подогреватель (накал); 7 — анод)

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.

Вольтамперные характеристики лампы 6С45П приведены на рис. 5.2.

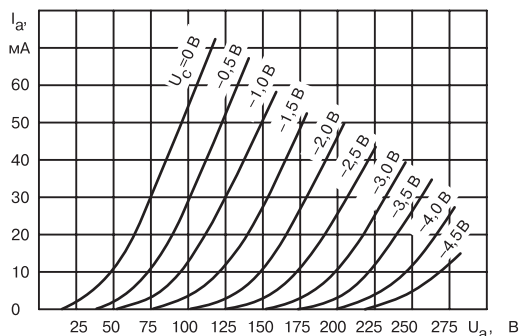


Рис. 5.2. Анодные характеристики триода 6С45П

Начинаем расчет усилителя

Прежде чем браться за изготовление выходных трансформаторов для нагрузки 300 Ом, было решено собрать макет. Использовать при этом **имеющиеся трансформаторы** (производства фирмы «Аудиоинструмент» со следующими **характеристиками**: $R_a = 5$ кОм, $R_n = 4$ Ом, расчетный ток $I_a = 30$ мА).

**Внимание.**

При создании макета можно использовать и широко распространенные трансформаторы серии ТВЗ, применявшиеся в ламповых телевизорах и доступные до сих пор на радиорынках.

**Примечание.**

Макетирование позволит оценить звуковой «потенциал» лампы 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 упомянутое напряжение на аноде, так и напряжение между анодом и общим проводом источника питания («землей»), что в общем случае не одно и то же!

Авторы предпочитают (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. 5.3).

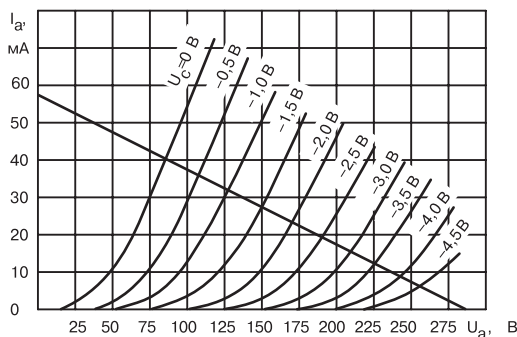


Рис. 5.3. Выбор рабочей точки, построение нагрузочной прямой

Рассеиваемая анодом мощность в РТ: $P_{a0} = I_{a0} \times U_{a0} = (30 \text{ мА}) \times (150 \text{ В}) = 4,5 \text{ Вт}$, что не превышает предельного значения 7,8 Вт.

Из рис. 5.3 следует, что рабочая точка определяет величины I_{a0} и U_{a0} для единственного значения напряжения смещения U_{cm0} (начального смещения), в данном случае $U_{cm0} = -1,5 \text{ В}$.

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_{cm} . Построим график функции $U_a = U'_{пит} - I_a \times R_a$ (прямая, проходящая через РТ на рис. 5.3, а $U'_{пит} = U_{a0} + I_{a0} \times R_a$).

Эта прямая носит название динамической сеточной характеристики или (кратко) динамической характеристики.



Примечание.

*В отдельных изданиях встречается и другое название — «нагрузочная прямая» — очевидно, дословный перевод англоязычного термина **load line**.*

Определение важных параметров каскада

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

Параметр № 1. Амплитуда выходного сигнала $U_{вых}$ (действующего на первичной обмотке трансформатора) находится следующим образом.

Выбираются точки пересечения ДХ с участками ВАХ, соответствующими величине смещения $U_{cm} = U_{cm0} + |U_{cm0}|$ (точка 1) и $U_{cm} = U_{cm0} - |U_{cm0}|$ (точка 2). Длина проекции отрезка [1, 2] на ось абсцисс и есть искомая величина амплитуды выходного сигнала (рис. 5.4).

В нашем случае $U_{cm0} = -1,5 \text{ В}$.

Точка 1 определяется по пересечению ДХ с участком ВАХ при $U_{cm} = 0 \text{ В}$ ($U_{cm} = U_{cm0} + |U_{cm0}| = -1,5 \text{ В} + 1,5 \text{ В} = 0 \text{ В}$). Точке 1 по оси абсцисс соответствует 85 В.

Точка 2 определяется по пересечению ДХ с участком ВАХ при $U_{cm} = -3 \text{ В}$ ($U_{cm} = U_{cm0} - |U_{cm0}| = -1,5 \text{ В} - 1,5 \text{ В} = -3 \text{ В}$). Точке 2 соответствует 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 $[1, 0]$ на ось абсцисс), а отрицательной полуволны — 60 В (длине проекции отрезка $[0, 2]$).

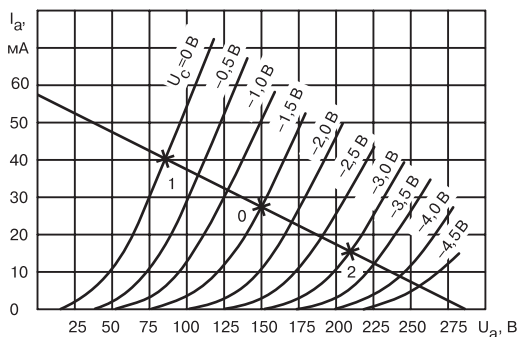


Рис. 5.4. Определение амплитуды выходного сигнала

Параметр № 2. Коэффициент усиления каскада K_0 вычисляется как частное амплитуды выходного сигнала и модуля удвоенной величины начального смещения:

$$\frac{U_{\text{вых}}}{2 \cdot |U_{\text{см0}}|} = \frac{125}{1 \cdot 1,5} = 41,67.$$

Параметр № 3. Коэффициент нелинейных искажений (КНИ). 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 сокращенной форме).

На ДХ отметим **точки 1'** (на положительной полуволне) и **2'** (на отрицательной), отстоящие от РТ на расстоянии, численно равном половине $U_{\text{см0}}$ (рис. 5.5), тогда:

$$K_{\Gamma_2} = 0,75 \cdot \frac{[0,1] - [0,2]}{[0,1] + [0,2] + [1',2']},$$

$$K_{\Gamma_3} = \frac{[0,1] + [0,2] - 2 \cdot [1',2']}{2 \cdot ([0,1] + [0,2] + [1',2'])}.$$

Или в нашем случае: $K_{\Gamma_2} = 0,017$, т. е. $1,7 \%$. $K_{\Gamma_3} = 0$.



Примечание.

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).

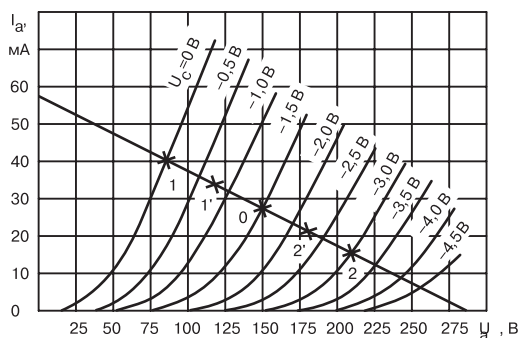


Рис. 5.5. Положение точек ДХ, используемых в методе Клина

Неплохо! Напомню, что все расчеты производились для максимальной амплитуды входного сигнала, равной $2 \times |U_{cm0}| = -3$ 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. 5.2 усредненной характеристики.

Результаты измерений КНИ макета усилителя приведены на рис. 5.9 (измерения проводились на нижней граничной частоте 20 Гц при максимальной выходной мощности).



Примечание.

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 $[0, 1] + [0, 2] = 2 \times [1', 2']$.

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 авторы добились 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 $K_{Г3} = 0,1\%$.

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. Авторы используют звуковую карту SoundBlaster Live! (24-bit) и SpectraLAB (см. рис. 5.9).



Примечание.

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

Выбор оптимальной рабочей точки

Некоторые конструктивные особенности: обозначим на ВАХ пунктирной линией область предельных значений мощности, рассеиваемой на аноде $P_{a \text{ макс}}$ (рис. 5.6). Параллельным переносом сместим динамическую характеристику вверх, вплоть до касания кривой $P_{a \text{ макс}}$. РТ выберем на пересечении ДХ с участком ВАХ, соответствующим $U_{cm} = -1,5 \text{ В}$ (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 $U_{cm} = -1,2 \text{ В}$) 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.

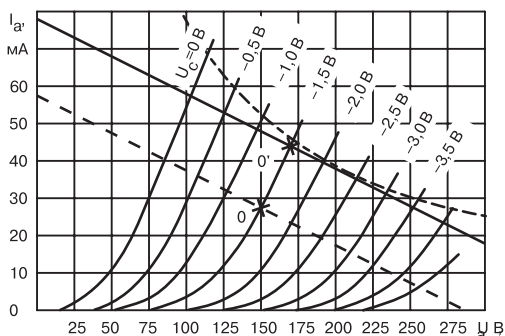


Рис. 5.6. Выбор оптимальной РТ



Примечание.

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.

Особенности расчетов для резистивного каскада

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. 5.3**) вместо первичной обмотки трансформатора ($R_a = 5 \text{ кОм}$) установить резистор такого же номинала, то для сохранения прежней РТ потребуется напряжение питания, равное

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



Примечание.

Обратите внимание, что 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 $R_{a \text{ экв}} = (2—5)R_i$;
- ♦ учитывающему величину сопротивления утечки сетки R_c лампы следующего каскада, т. к. по переменному току R_a и R_c соединены параллельно.

Поэтому $R_{a \text{ экв}} = R_a \times R_c / (R_a + R_c)$.



Авторы рекомендуют.

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 $2U_{\text{см}0}$.

Переходим к схеме усилителя

Имеется единственный каскад (рис. 5.7), в котором фиксированное смещение организовано с помощью полуторавольтовой батареи. Авторы применили щелочные элементы Varta типоразмера АА, но можно попробовать батареи других типов и фирм, подбирая их по наилучшему качеству звучания. Применять батарейные контейнеры не следует ввиду вероятной потери контакта. Батареи хорошо паяются.

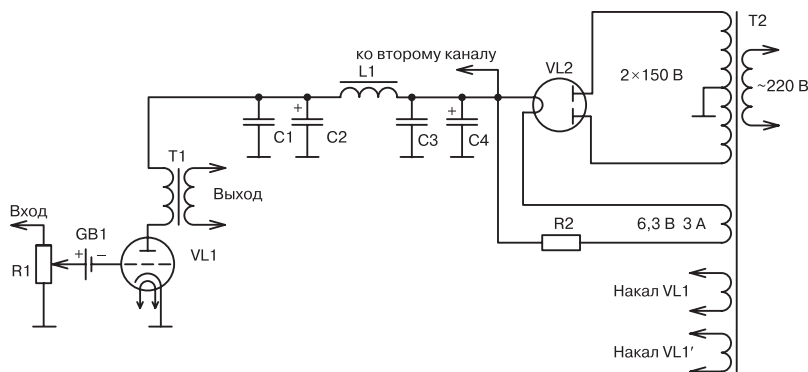


Рис. 5.7. Схема каскада усилителя с батарейным смещением

**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.

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 прямопропорциональное повышение $U_{\text{пит}}$ и U_a , что приводит к возрастанию тока анода, но уже пропорциональному U_a в степени 3/2! Частично повышенное напряжение будет компенсировано за счет падения на обмотках трансформатора, дросселя и внутреннем сопротивлении кенотрона, но совсем сбрасывать со счетов эту проблему нельзя!

**Примечание.**

*Это еще одна причина, по которой не следует выбирать рабочую точку $0'$ (см. **рис. 5.6**) для данной схемы. Разумеется, подобных проблем не возникает при использовании стабилизированного или аккумуляторного источника питания.*

Источник питания кенотронный, с П-образным фильтром (C-L-C). Наилучшее звучание обеспечивается при минимально возможной величине активного сопротивления дросселя, поэтому намотку следует производить толстым проводом (но увлекаться не следует — обмотка может не поместиться на каркасе!).

Электролитические конденсаторы шунтируются бумаго-маслянными с целью снижения паразитной индуктивности и уменьшения тангенса угла потерь. Если габариты корпуса позволяют, то

можно применить только бумагомаслянные 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 очень малую 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.

Пути улучшения параметров усилителя

Улучшить параметры усилителя можно следующими путями (это варианты для экстремалов!).

Путь № 1. Стабилизировать анодное напряжение (например, с помощью лампового стабилизатора), тогда появится возможность выбора рабочей точки $0'$ (см. рис. 5.6), что позволит увеличить выходную мощность усилителя.

Путь № 2. 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.

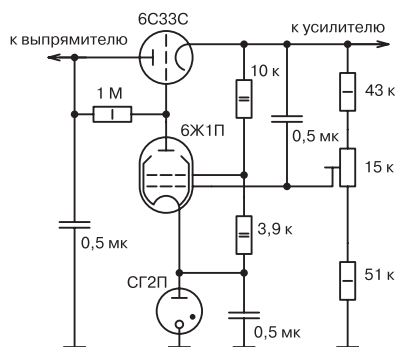


Рис. 5.8. Схема стабилизатора анодного напряжения

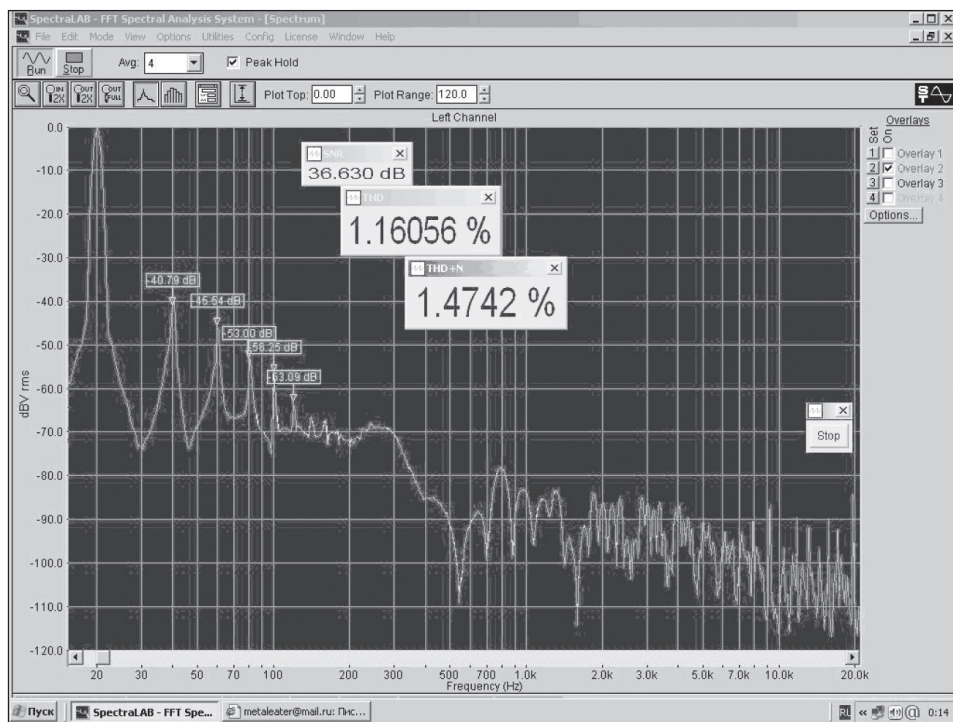


Рис. 5.9. Результаты измерения КНИ макета усилителя

Предпочтителен вариант с ламповым стабилизатором, авторы использовали следующую схему (рис. 5.8). Измерения КНИ проводились на частоте 20 Гц и максимальной амплитуде сигнала на первичной обмотке. Результаты представлены на рис. 5.9.

Комплектующие для усилителя

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, Marcon, Nichicon и (или) МБГЧ.

Перечень комплектующих, используемых в авторском варианте усилителя, приведен в табл. 5.1.

Перечень комплектующих, используемых в авторском варианте усилителя

Таблица 5.1

Обозначение	Номинал, название	Производитель (тип)	Ориентировочная цена, \$	Кол-во	Где купить
C1, C3	20 мкФ × 250 В	МБГЧ	3	4	На радиорынке
C2, C4	330 мкФ × 350 В	Rubycon	5	4	www.ebay.com
GB1	1,5 В, размер AA	Varta	0,5	2	В любом магазине
L1	D300AM	«Аудиоинструмент»	15	2	http://www.audioinstr.h1.ru/detali.htm
R1	50 кОм, лог.	ALPS	25	1	www.ebay.com
R2	1 Ом, 3 шт. параллельно	ОМЛТ-2	0,1	3	На радиорынке
T1	TW6SE *	«Аудиоинструмент»	35	2	http://www.audioinstr.h1.ru/detali.htm
T2	TAN 250 **	«Аудиоинструмент»	45	1	http://www.audioinstr.h1.ru/detali.htm
VL1	6C45П	«Рефлектор»	10	2	Интернет-магазины
VL2	5ЦЗС	«Светлана»	6	1	Там же

Примечания к таблице.* Трансформаторы могут быть изготовлены с различными значениями R_p и R_n по желанию заказчика.

** Трансформаторы могут быть изготовлены с различными значениями выходных напряжений по желанию заказчика.

Итого: \$230 (без корпуса, разъемов и панелек).

Резистор R2 составлен из трех параллельно включенных ОМЛТ-2 сопротивлением 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 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.



Авторы рекомендуют.

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...



Внимание.

Специально для читателей этой книги авторы разработали конструкцию высококачественного выходного трансформатора на базе магнитопровода от широко распространенных ТВЗ-Ш (применялись в ч/б ламповых телевизорах, доступны на радиорынках и по объявлениям в сети Интернет).

Итак:

- ♦ трансформатор выходной одноконтурный (SE) 5 кОм / 8 Ом;
- ♦ для усилительного каскада (однолампового усилителя) на лампе 6С45П;
- ♦ допускается использовать с 6Э5П, 6П14П, 6Ф3П и 6Ф5П (все — в триодном включении).

Параметры (по результатам измерений)

Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_{вх}$, кОм	5,0	5,0
$R_{н}$, Ом	8,0	8,0
$I_{омах}$, мА	40	40
$P_{мах}$, Вт	2,5	2,5
R_1 , Ом ($T=24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	261,7	261,3
R_2 (8,0 Ом), Ом ($T=24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,15	1,15
L_1 , Гн	17,2	16,9
$L_{расст}$, мГн	7,0	7,1
АЧХ (–0,5 дБ), Гц*	15,6—26200	16,2—27100
АЧХ (–3,0 дБ), Гц*	10,3—32500	9,8—31900
Вес, кг	0,5	0,5
Габаритные размеры, мм	70×70×65	70×70×65

Примечание к таблице.

*АЧХ измерена с лампой 6С45П при $P_{вых}=1\text{ Вт}$, $I_o=32\text{ мА}$, $R_n=8\text{ Ом}$.

Используемые приборы: ВЗ-42, МЗ870Д, АСК-2043, ГЗ-117, АМ3023..

Трансформатор выполнен на сердечнике от широко распространенного выходного трансформатора ТВЗ-Ш: пластины Ш16, набор 32 мм. Для изготовления пары выходных трансформатора потребуется три ТВЗ-Ш.

Способ намотки — виток к витку. Используется **обмоточный провод** марки ПЭТВ-2.

Число витков первичной обмотки — 2904, диаметр провода «по меди» — 0,18 мм. Число витков в одном слое первичной обмотки — 121. Первичная обмотка состоит из четырех одинаковых секций.

Все **секции первичной обмотки** содержат по 726 витков, намотанных в шесть слоев и соединенных последовательно.

Коммутация соединений по секциям: 1-3-2-4.

Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из трех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 130 витков, намотанных в два слоя обмоточным проводом диаметром «по меди» — 0,335 мм.

Изоляция:

- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,0068 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и та же самая фторопластовая пленка в один слой. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную или чертежную кальку.

Толщина **немагнитной прокладки** в зазоре трансформатора — 0,05 мм (лист чертежной кальки). После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

В **главе 8** приведены методики расчета выходных трансформаторов, а также готовые для повторения конструкции для некоторых выходных ламп.

Заключение

Макет усилителя для контроля работоспособности подключался к акустической системе S-90, обладающей низкой чувствительностью (по паспорту 88 дБ/Вт) и сложным импедансом.



Примечание.

Напомню, выходные трансформаторы «Аудиоинструмент» были рассчитаны на нагрузку 4 Ом.

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 решено 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. 5.10 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. Поэтому авторы решили, 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. 5.10. Внешний вид собранного усилителя

5.2. Однотактный усилитель мощности на 6Ф12П/6550

Особенности однотактных усилителей и выбор лампы

Проблема большинства однотактных усилителей — небольшая выходная мощность, обычно не превышающая 3—5 Вт. Использование знаменитой лампы 300В позволяет получить 8—10 Вт. Однако низкое внутреннее сопротивление последней (700—800 Ом) предъявляет повышенные требования к конструкции выходного трансформатора (требуется малое r_l), да и схем однотактных усилителей на базе этой лампы — сотни: трудно создать что-то новое.

Случайно авторам настоящей книги удалось приобрести пару подобранных ламп 6550 американского производства, которые можно увидеть на рис. 5.11.

Тем самым и был сделан выбор лампы выходного каскада. Лампа 6550 обычно используется в гитарных усилителях РР и практически не



Рис. 5.11. Внешний вид лампы 6550

встречается в однотактных схемах. Авторы также поначалу сомневались в «аудиофильском» характере звука, который можно ожидать от этой лампы, но любопытство взяло верх.

Расчеты

Прогресс не стоит на месте, появляются хорошие инженерные программы для расчетов всевозможных каскадов, в том числе и усилительных каскадов на электронных лампах. Это еще раз доказывает растущий интерес к лампам.

Авторы использовали программы SEAmCAD и Tube-CAD американской фирмы Glass Ware — в качестве проверочного просчета и последующей, наглядной коррекции режимов ламп. Основной акцент сделан на возможности повторения усилителя в домашних условиях.

Кстати, этот процесс довольно длительный — сборка усилителя и «выведение на звук» заняли почти год. Руководствуясь данным материалом, можно изготовить этот усилитель за меньший срок и с меньшими трудозатратами.

Режимы ламп

Режимы ламп на первый взгляд покажутся опытным радиолюбителям не совсем корректными — дело в том, что подстройка производилась на слух. В расчете схемы использовались известные постулаты построения Hi-End усилителей, а именно:

- ♦ отсутствие обратной связи;
- ♦ максимально короткий тракт усиления;
- ♦ использование минимального числа элементов.

Драйвер

В качестве драйвера была использована электронная лампа 6Ф12П, а точнее — триодная ее часть, обладающая очень высоким усилением ($\mu = 100\text{—}120!$). Лампа выпускалась нашей промышленностью для применения в телевизорах, широко распространена и стоит не дорого, чего не скажешь о 6550. Хотя последнюю выпускают, как известно, два отечественных предприятия: «Светлана» и «Рефлектор». Поэтому и ее, при желании, можно приобрести. Ситуация с импортными лампами сложнее (но решается с помощью www.ebay.com). «Звуковой почерк» радиоламп 6550 различного производства будет рассмотрен ниже.

Схема усилителя

Схема усилителя приведена на рис. 5.12. Отметим, что простота схемы кажущаяся. **Первый каскад** выполнен на триоде лампы 6Ф12П с батарейным смещением. Это позволяет избавиться от резистора и конденсатора в катодной цепи (в случае автосмещения), пагубно влияющих на звучание. Аккумулятор (далее АКБ) можно поставить и в цепь сетки, но авторам больше понравился (после сравнения на слух) первый вариант.

Настоятельно рекомендуем именно аккумулятор: в отличие от батарейки он не требует периодической замены — подзарядка осуществляется током анода самой лампы, и нет необходимости заменять элемент подобно батарейке.

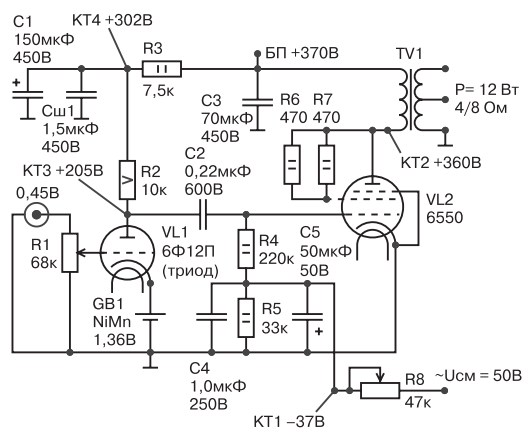


Рис. 5.12. Схема усилителя на лампе 6550



Внимание.

Следует выбрать емкость аккумулятора не менее 1000 мА/ч, чтобы избежать перезарядки.

Нагрузка каскада — анодная, резистивная. Величина резистора — 10 кОм. Это обусловлено большой динамической входной емкостью лампы выходного каскада. Для предотвращения завала

АЧХ на ВЧ требуется драйвер с низким выходным сопротивлением, что и было реализовано. Результаты прослушивания также подтвердили правильность выбора величины анодной нагрузки.

В схеме используется разделительный конденсатор, а не межкаскадный трансформатор, т. к. усилитель все-таки класса Hi-Fi, а не Hi-End...

Изготавливаем выходной трансформатор

В выходном каскаде на лампе 6550 применено фиксированное смещение. Это позволяет избавиться от конденсатора и резистора в катод, благо лампа ведет себя стабильно. **Нагрузкой лампы 6550 является выходной трансформатор, изготовленный самостоятельно в домашних условиях. Остановимся на его конструкции подробно.**

Для самостоятельного изготовления понадобится намоточный станок, фторопластовая лента толщиной 0,01 мм и 0,05 мм, скотч, толстые нитки, обмоточный провод диаметром 0,3 мм и 0,45 мм, плотная неглянцевая бумага толщиной 0,28 мм, пчелиный воск и упаковочная бумага или аналогичная толщиной 0,2 мм.

Сердечник и каркас — от промышленного трансформатора ОСМ-0,16 (однофазный, сухой, многофункциональный, мощность — 0,160 кВт). При покупке нужно обратить свое внимание на следующие детали:

- ♦ поскольку трансформатор придется разбирать, то выбирайте те экземпляры, у которых меньше наплывов лака, затрудняющих разборку;
- ♦ сердечник и каркас не должны иметь видимых деформаций;
- ♦ стык в зазоре должен быть аккуратным, без каких-либо смещений;
- ♦ некоторые экземпляры трансформаторов ОСМ делают из толстого (более 0,35 мм) витого железа — такие сердечники приобретать не следует!



Авторы рекомендуют.

Иногда можно встретить трансформаторы с кожухом-экраном — это наилучшие экземпляры. Старайтесь выбрать пару трансформаторов из одной партии (даты выпуска) и, тем более, одного изготовителя.

Первый этап — разборка. Для этого необходимо удалить излишки лака с поверхности трансформатора. Развинтить все шпильки, снять

подставку, хомут и кожухи (если таковые имеются). Зажать одну сторону сердечника через деревянные прокладки в тиски так, чтобы губки тисков не соприкасались с сердечником напрямую. А по другой половине, также через доску, резко ударить молотком: произойдет разделение половинок сердечника. Теперь их можно снять, затем освободить каркас от обмоток и удалить остатки лака.

Второй этап — очистка. Сердечник также следует очистить от подтеков лака — будьте осторожны: в случае отслоения витков железа придется покупать новый трансформатор и повторять все перечисленные процедуры!

Третий этап — намотка. Первичная обмотка имеет 3600 витков провода ПТЭВ-1 диаметром 0,315 мм. Вторичная обмотка имеет 205 витков проводом 0,45 мм с отводом от 138 витка.

Намотка производится виток к витку. Первичная намотка разделена на 5 секций. Первая и пятые секции содержат по 4 слоя. Вторая и четвертая секции — по 5 слоев. Третья — 6 слоев. Слои первичной обмотки соединяются последовательно. Между секциями первичной обмотки расположены вторичные обмотки, которые соединены между собой параллельно. Последовательность чередования обмоток выглядит следующим образом: 1-2-1-2-1-2-1-2-1.

В качестве межслойной изоляции используется фторопластовая лента толщиной 0,01 мм, а между секциями — 0,05 мм в один слой. Нитки

нужны для намотки незаполненных проводом участков возле щек каркаса, выравнивания обмоток и предотвращения провала витков.

Фторопластовая лента фиксируется тонкими полосками скотча. Процесс намотки показан на рис. 5.13.

Толщина зазора в магнитопроводе — 0,28 мм (один слой плотной бумаги).

Сердечник необходимо обернуть снаружи плотной бумагой и только затем стянуть хомутом. Собранный трансформатор следует проварить в воске, удалив подтеки после застывания.

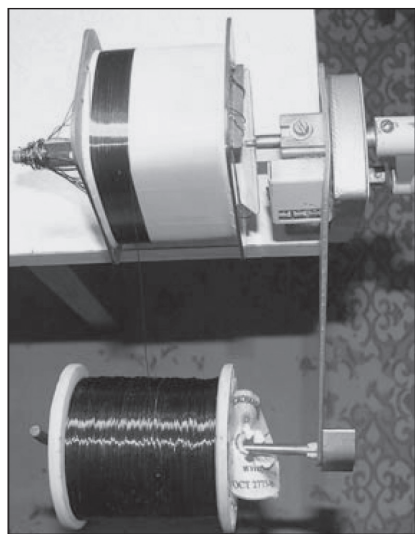


Рис. 5.13. Намотка трансформатора

Еще несколько слов об элементной базе

Напомним, что речь идет об усилителе класса Hi-Fi. По возможности применяйте новые детали. Постоянные резисторы — БЛП, УЛИ или ВС. Электролитические конденсаторы — Marcon, Nichicon, Rubycon.



Внимание.

Будьте осторожны: на рынке присутствуют подделки, их характерный признак — ошибки в наименовании — Rubicon, Rubikon и т. д.). Переменные резисторы — СП-I, СП-III — доработаны. В качестве разделительного конденсатора: ФТ, К70-4, МБГО, К40-У9, К42-У2 и т. д. По мнению авторов книги лучший результат обеспечивает МБГО с удаленным металлическим кожухом.

Конденсатор СЗ — пленочный, типа ДПС или НТС, который можно заменить МБГО или, в крайнем случае, электролитическим. Все электролитические конденсаторы шунтированы постоянными К78-2, ССГ, КСГ (желательно, чтобы их емкость составляла не менее 5—10 % от емкости шунтируемых электролитических конденсаторов).

Лампы 6Ф12П следует подобрать в пары по минимальному уровню микрофонного эффекта; вместо лампы 6550 можно использовать ее клон — КТ88 (выпускается и в России).



Примечание.

Методика отбора подробно изложена в книге: Г. С. Гендин. «Высококачественные ламповые усилители звуковой частоты». — М.: Радио и Связь. — 1997.

Авторы применили элитные комплектующие известных производителей: Audio Note, Black Gate, Ricken Ohm и т. п. Отметим, что в ходе «слепого» теста немногие слушатели смогли определить, какой канал усилителя собран на заурядной, а какой — на элитной элементной базе — поэтому не следует торопиться с приобретением «самых лучших» комплектующих — действуйте по принципу «от простого к сложному». **Важное замечание:** после установки нового элемента ему необходим прогрев в течение 30—50 часов. В противном случае результаты прослушивания будут некорректными.

В качестве АКБ подойдет аккумулятор 1,2 В NiMH или NiCd в корпусе АА, например, фирмы GP. Блок питания (рис. 5.14) собран по

стоящих выходных пентодов. Все же диоды 6Д22С выходят на рабочий режим быстрее всех остальных ламп.

Силовой трансформатор ТС-250-2 извлечен из старого лампового телевизора (желательно отобрать из нескольких экземпляров, по минимальному току холостого хода и результатам визуального осмотра). Все обмотки, кроме сетевой и экрана, необходимо удалить, а вместо них намотать обмотки согласно табл. 5.2.

Последовательность разборки/сборки ТС-250-2 аналогична изложенной выше для трансформатора ОСМ-0,16. Разумеется, в сердечник силового трансформатора не нужно вводить зазор! Обе «подковы» магнитопровода перед сборкой необходимо промазать с торцов эпоксидным клеем: после сборки следует включить трансформатор на холостом ходу так, чтобы «эпоксидка» немного растеклась, а когда клей высохнет, проварить трансформатор в воске, — теперь он готов к работе. Итак, все детали в наличии, можно переходить к изготовлению корпуса.

Обмоточные данные

Таблица 5.2

1-1"	220 В	1,1 А	заводская	d=0,67 мм
3-4	328 В	0,25 А	1075 витков	d=0,4 мм
8-9	6,4 В	3,8 А	22 витков	d=1,4 мм
10-11	15 В	0,9 А	50 витков	d=0,68 мм
12-13	6,4 В	0,9 А	22 витков	d=0,68 мм
Э — экран				
1-1"	220 В	1,1 А	заводская	d=0,67 мм
3"-4"	328 В	0,25 А	1075 витков	d=0,4 мм
8"-9"	6,4 В	3,8 А	22 витков	d=1,4 мм
10"-11"	45 В	0,15 А	145 витков	d=0,31 мм
Э" — экран				

Изготовление корпуса

В авторском варианте корпус изготовлен из ценных пород дерева, а именно — из массива дуба и тика, и покрыт лаком (рис. 5.15). Процесс изготовления представлен на рис. 5.16.

В качестве шасси можно использовать дюралюминиевый или медный лист толщиной 3—4 мм. Ножки-шипы специально изготовлены на заказ (рис. 5.17). Применена войлочная прокладка для лучшей амортизации.



Рис. 5.15. Корпус и комплект деталей



Рис. 5.16. Процесс изготовления корпуса и монтаж

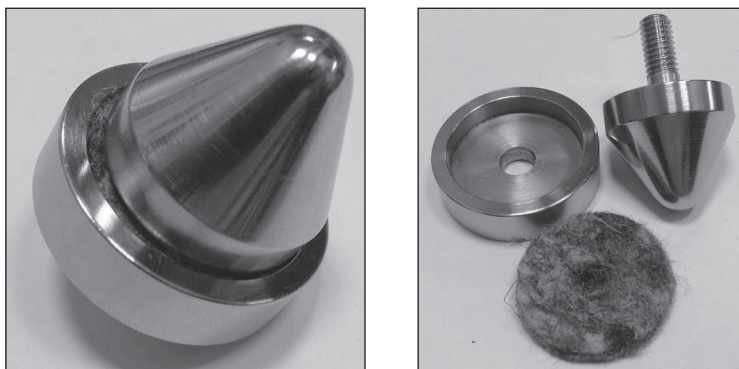


Рис. 5.17. Ножки-шпы

Силовой трансформатор и дроссели сначала прикручиваются к алюминиевой пластине, а затем через резиновую прокладку толщиной 2 мм — к шасси (в целях демпфирования).

Монтаж деталей усилителя — навесной, кроме платы задержки подачи анодного питания. Разводка земли классическая — звездой. Элементы размещены на шасси следующим образом (рис. 5.18): дроссели — в правом верхнем углу, чуть ниже — плата задержки включения анодного питания и выпрямитель для фиксированного смещения выходного каскада.

Монтаж сигнальных цепей произведен посеребренным (многие предпочитают медный — рекомендуется послушать оба варианта) одножильным проводом 0,8 мм, земли — 2 мм в фторопластовой изоляции (возможно, лучшим решением будет самодельная изоляция из лакоткани поверх медного провода диаметром до 1,2 мм — пробуйте!). Провод в питании накала ламп — многожильный, скрученный в витую пару. Использовался припой с содержанием серебра 4 % (возможно, читателю больше понравится эвтектический ПОС-61).

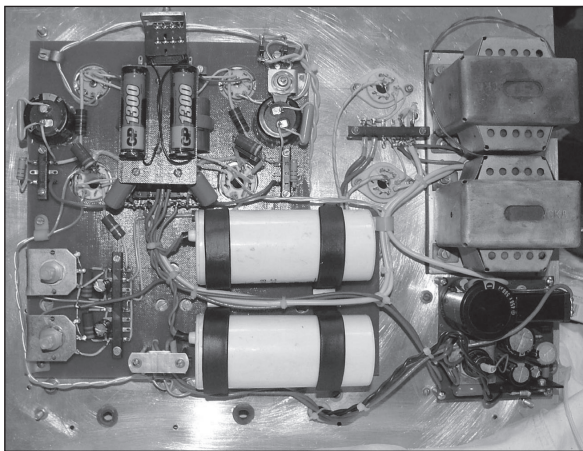


Рис. 5.18. Шасси. Вид со стороны монтажа

**Внимание.**

Перед первым включением необходимо тщательно проверить правильность монтажа!

Настройка усилителя

Настройка усилителя сводится к установке режимов ламп в контрольных точках (указаны на схеме усилителя) и нахождению места соединения «земли» с шасси (определяется по наименьшему уровню фона). Полного устранения фона можно добиться, вращая ручку потенциометра R3 (см. схему блока питания на рис. 5.14). После настройки усилителя шасси устанавливается в корпус (рис. 5.19). Звуковые и силовой трансформаторы находятся сверху шасси и закрыты общим кожухом (рис. 5.20).



*Рис. 5.19. Усилитель.
Вид со стороны монтажа*



Рис. 5.20. Усилитель готов!

Параметры усилителя**Параметры усилителя соответствуют стандарту Hi-Fi:**

- АЧХ 17,5—31000 по уровню -0,5 дБ;
- АЧХ 15—52000 по уровню -3,0 дБ;
- уровень шумов -78 дБ;
- выходная мощность на нагрузке 8 Ом 12 Вт;
- КНИ (максимальная мощность) 2,8 %;
- вес усилителя 22,5 кг.

Характер звучания вы можете оценить самостоятельно, повторив данную конструкцию...

**Примечание.**

Гарантируем, что при аккуратном следовании рекомендациям авторов вы не пожалеете о потраченном времени и средствах!

В заключение отметим, что с помощью данного усилителя были отслушаны лампы 6550 разных производителей. Наилучший результат показали лампы Audio Glassic (рис. 5.11), хорошие впечатления оставили и лампы 6550 предприятия «Рефлектор» (Саратов) — последние несколько подчеркивают низкие частоты. Возможно, все дело в конкретных экземплярах, да и слух у всех разный...

В любом случае, саратовские лампы — достойные представители семейства 6550/ KT88!

Когда усилитель был собран, в руки авторам попали выходные трансформаторы TANGO U-808 (рис. 5.21).

По результатам сравнения они уступили трансформаторам авторской конструкции (рассмотрены выше) как по субъективным (прослушивание, слепой тест), так и по объективным результатам измерений.

Кстати, параметры U-808 заметно отличались от заявленных изготовителем (очевидно, причина неудовлетворительных результатов заключается именно в этом!). В результате было принято решение остановиться на самостоятельно изготовленных выходных трансформаторах.

**Примечание.**

По вопросам изготовления или приобретения выходных трансформаторов можно обращаться непосредственно к авторам этого усилителя: ada_optika@rambler.ru, metaleater@mail.ru.



Рис. 5.21. Внешний вид трансформатора TANGO U-808

ОБЗОР РЫНКА ЛАМПОВЫХ HI-FI УСИЛИТЕЛЕЙ

Выбор усилителей очень широк. В этой главе авторы предлагают воспользоваться таблицей для предварительной оценки возможных вариантов, а затем внимательно ознакомиться с полезными советами. И успех обеспечен.

6.1. Как сделать правильный выбор при покупке Hi-Fi усилителя

На российском рынке присутствует продукция большинства известных производителей, вплоть до эксклюзивного Gaku On фирмы 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. Авторы предлагают воспользоваться табл. 6.1 для предварительной оценки возможных вариантов, а затем внимательно ознакомиться с примечаниями.

Оценка вариантов покупки ламповых усилителей

Таблица 6.1

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...\$6000	+ (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 уровня ТВ3-1-9.
- 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 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». Очень хороши и винтажные UTC A-25.
- 4 — приобретение маловероятно.
- 5 — модели невысокого класса, например, на лампах 6П14П.
- 6 — аналогично (3). Выходные лампы — саратовские EL34, трансформаторы TANGO U-405.
- 7 — винтажный, невысокого класса.
- 8 — выбор широк. С ассортиментом можно познакомиться в 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).



Внимание.

В последние 2-3 года рынок наводнился недорогими китайскими усилителями, единственным достоинством которых является добротный корпус. За аналогичные деньги гораздо лучше приобрести продукцию небольших российских фирм!

6.2. Полезные советы по выбору усилителя

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 \$140 за 10 кг) и таможенную пошлину — 30 % от суммы, превышающей 65000 руб. и по 4 евро за каждый килограмм, превышающий установленный лимит в 35 кг, если такое превышение имеет место (даже стоимость пересылки иногда включается в расчет!). В большинстве случаев такой вариант

выгоден, т. к. в России винтажная техника предлагается по ценам в 2—4 раза большим, чем на аукционах. Винтажные усилители (и ресиверы) часто имеют встроенный винил-корректор.

Во-вторых, покупка некондиционной аппаратуры чревата дополнительными затратами: поиск 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 продавца-частника).

В-четвертых, при выборе между одноктактным 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

ОБЗОР РЕСУРСОВ ИНТЕРНЕТ ПО ЛАМПОВОЙ HI-FI УСИЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ

Всемирная сеть Интернет содержит множество ресурсов, связанных с ламповой техникой. Авторы надеются, что настоящая глава поможет читателям в поиске необходимой информации: справочников, схем и компьютерных программ.

7.1. 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-tube.com/ru/> — 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 аудиотехники; 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/forum52/> — форум «Сделай сам» на коммерческом сайте

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 Филиппа.

Одна из крупнейших баз данных по электронным лампам, включая советские/российские.



Внимание.

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.spb.ru/> — официальный сайт журнала «Вестник АРА».

На сайте представлены: статьи по ламповой технике; схемы ламповых усилителей; справочная информация; методики расчетов.

7.2. Специализированные сайты

<http://astral-for.narod.ru/index/tubes.htm> — сайт Владимира Ульянова. На сайте представлены схемы ламповых винил-корректоров и усилителей мощности. Настоятельно рекомендуем!

<http://www10.big.or.jp/~dh/> — сайт клуба японских аудиофилов. На сайте представлены бескомпромиссные схемы ламповых усилителей и винил-корректоров С. Сакумы.

7.3. Магазины радиодеталей, звуковоспроизводящей аппаратуры и сопутствующих товаров

<http://astraaudio2007.narod.ru/index.html> — фирма «Астра-Аудио», Москва. Возможна почтовая доставка по России.

Выпускает выходные и силовые трансформаторы, дроссели, готовые усилители и наборы для их изготовления.

www.audioinstr.h1.ru — фирма «Аудиоинструмент», Москва. В ассортименте:

- ♦ 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.

7.4. Доски объявлений

1. http://nnov.molotok.ru/show_user_auctions.php?uid=13329423
2. http://hi-fi.ru/auction/?user_id=15283
3. <http://classicaudio.ru/phpbb/viewtopic.php?f=23&t=5566&p=102597#p102597>
4. <http://audiportal.su/forumdisplay.php?f=9>
5. <http://www.vegalab.ru/forum/forumdisplay.php/67-%D0%A2%D0%BE%D0%BB%D0%BA%D1%83%D1%87%D0%BA%D0%B0>
6. <http://soundex.ru/index.php?s=acc54e80464276874799230db126c40c&showforum=40>

ПОЛЕЗНЫЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЛАМПОВЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

В этой главе будут рассмотрены следующие вопросы:

- *определение параметров пентодов в триодном включении;*
- *SE Amp CAD — программа моделирования выходных каскадов однотактных усилителей;*
- *программа расчета блоков питания;*
- *принципы расчета и конструирования выходного трансформатора;*
- *примеры конструкций выходных трансформаторов.*

8.1. 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 [6].

Некоторые **ограничения модели:**

- ♦ 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 величинам, рекомендуемым для пентода.

Предлагается следующая методика.

Шаг № 1. Выбираем пентод, который планируем использовать в выходном каскаде.

Шаг № 2. Отмечаем величину напряжения второй сетки на имеющихся анодных ВАХ.

Шаг № 3. Принимаем отмеченную величину напряжения второй сетки за анодное напряжение псевдотриода (ограничение модели плюс безопасность режима).

Шаг № 4. Смещение триода в данной модели выбираем равным смещению пентода.

Шаг № 5. Параметры пентода (при выбранном смещении) подставляем в формулы, приведенные ниже.

Шаг № 6. Если определение параметров пентода при выбранном смещении вызывает сложности, то действуем противоположно Шагу 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:

$$\mu_{\text{тр}} = S \cdot \frac{U_{c2}}{I_a - S \cdot U_{c1}}.$$

8.2. 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. 8.1);

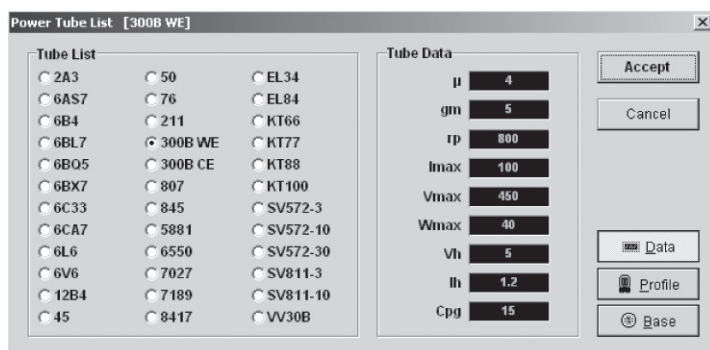


Рис. 8.1. Ламповая библиотека

- ♦ возможность выбора модели выходного трансформатора как из соответствующей библиотеки, так и по спецификации пользователя;
- ♦ наглядность представления результатов (рис. 8.2, рис. 8.3);
- ♦ 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;
- ♦ точное соответствие параметрам реальных каскадов;
- ♦ большинство ламп (не говоря о 6C33C, 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

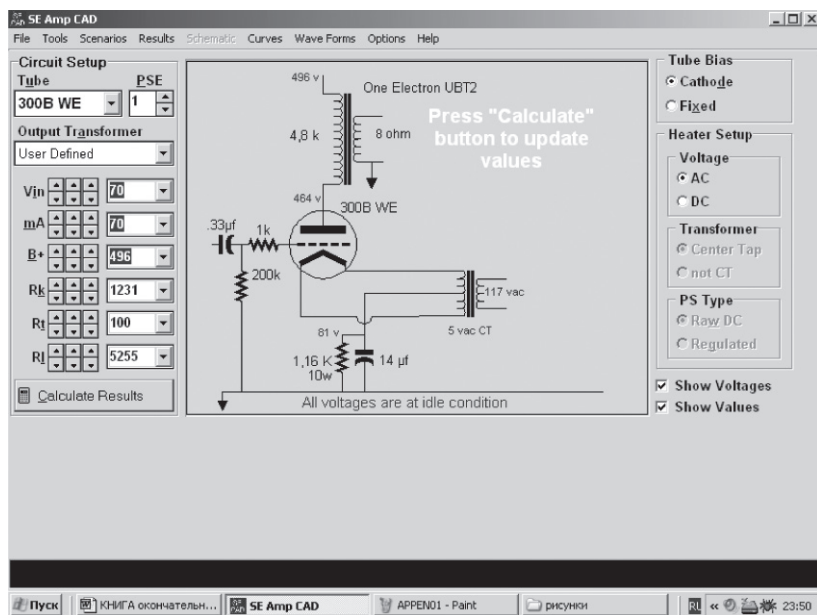


Рис. 8.2. Пример постановки задачи

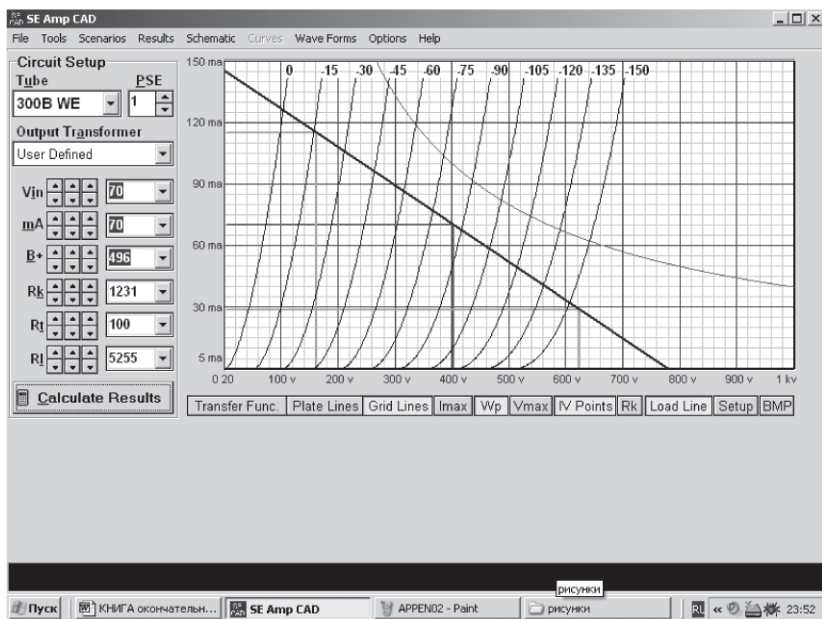


Рис. 8.3. Пример графического представления

фирменным спецификациям, которые могут отличаться от реальных, не учитывается влияние драйвера, не рассматривается работа в классе A2.

Подробное описание программы доступно на сайте разработчика по адресу www.glass-ware.com/seampcad/.

8.3. 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. 8.4) и, что немаловажно, бесплатное распространение.

Скачать программу можно по адресу <http://www.duncanamps.com/psud2/index.html>

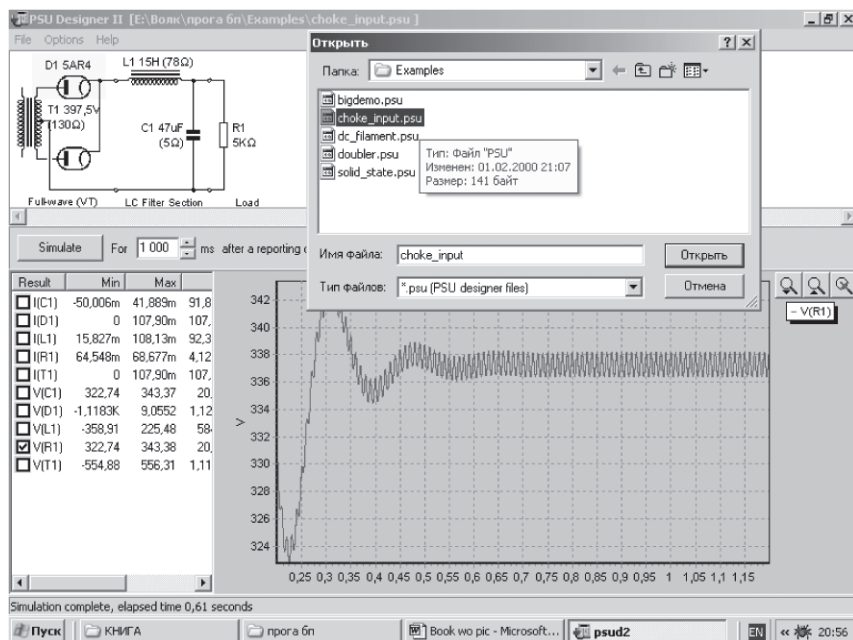


Рис. 8.4. Пример моделирования

8.4. Принципы расчета и конструирования выходного трансформатора



Примечание.

Объем и назначение книги не позволяют полностью изложить теорию расчета выходного трансформатора, поэтому авторы ограничили рассмотрение данного вопроса основными положениями.

Авторская методика расчета выходного трансформатора

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.



Внимание.

Авторы книги рекомендуют измерять параметры магнитопроводов, например, следующим образом: http://audioworld.ru/DIY/Dop/trans_02.html.

Кроме того, обе группы — продукт своей эпохи: одним из основных критериев расчета трансформатора являлась минимальная стоимость (либо масса), 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).



Примечание.

Специально для данной книги авторы разработали 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). Отметим, что последняя может быть компенсирована, например, цепочкой Цобеля-Буше;
- ♦ предполагается, что марка трансформаторной стали неизвестна, тем более свойства электротехнической 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.

**Примечание.**

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_r .

Для выходного триода обычно рекомендуется следующий диапазон: $R_a = (3—5)R_i$ как компромисс между отдаваемой в нагрузку мощностью и уровнем нелинейных искажений.

**Внимание.**

Активным сопротивлением первичной обмотки трансформатора r_1 пренебрегаем, учитывая, что его величина на порядок ниже R_a .

Теоретически (некоторые специалисты уверяют, что и практически — вследствие негативного влияния на качество звучания) 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.

По мнению авторов книги, на практике величина r_1 (в разумных пределах) не влияет на звуковые свойства трансформаторов, либо такое влияние минимально по сравнению с другими факторами.

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_a , т. е.

$$R_a = 2\pi \cdot f \cdot L$$

или:

$$L = R_a / (2\pi \cdot f).$$

Применительно к расчету выходного трансформатора последняя формула принимает вид [10]:

$$L_1 = R_a / (2\pi \cdot f_n),$$

где L_1 — индуктивность первичной обмотки, Гн;

f_n — нижняя граничная частота, Гц;



Примечание.

Однако эта формула носит весьма приближенный характер, не учитывая частотных искажений M_n .

Приведем уточненную формулу:

$$L_1 = \frac{R_a}{2\pi \cdot f_n \sqrt{M_n^2 - 1}},$$

где M_n — коэффициент частотных искажений, выраженный в размах (не в децибелах!) [19].

Заметим, что искажениям (завалу) на -3 дБ соответствует $M_n = 1,4125$.

Если подставить это значение в формулу, то получим

$$L_1 = \frac{R_a}{2\pi \cdot f_n \sqrt{1,4125^2 - 1}} = \frac{R_a}{2\pi \cdot f_n \cdot 0,995},$$

т. е. получаем приближенную формулу

$$L_1 = \frac{R_a}{2\pi \cdot f_n}.$$

Для уровня -1 дБ $M_n = 1,122$; получаем

$$L_1 = \frac{R_a}{2\pi \cdot f_n \sqrt{1,122^2 - 1}} = \frac{R_a}{2\pi \cdot f_n \cdot 0,508}.$$

Или примерно следующее: $L_1 = R_a / (\pi f_n)$ — т. е. потребуется вдвое большая индуктивность!

Все перечисленное относилось к **нижней границе воспроизводимых частот f_n** .

Далее следует сформулировать **требования к верхней границе частот — f_b** .

Реактивное сопротивление на высоких частотах сравнительно 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:

$$L_s = \frac{R_a \sqrt{M_b^2 - 1}}{2\pi \cdot f_b},$$

где M_b — коэффициент частотных искажений, разы, f_b — верхняя граничная частота.

Для удобства оценки L_s используют коэффициент рассеяния $\delta = L_s / L_1$. Значения δ находятся в пределах 0,003—0,007:

- ♦ значения ниже 0,003 сложно реализовать в трансформаторах со стальными магнитопроводами;
- ♦ 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:

$$L_s = \left(\frac{1}{K}\right)^2 \cdot \mu \cdot N_1 \cdot \frac{l_c}{\omega} \cdot \left(\delta + \frac{\Sigma \Delta}{3}\right),$$

где K — суммарное количество секций первичной и вторичной обмоток, уменьшенное на единицу;

$\mu = 4\pi 10^{-7}$;

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 [1].

**Примечание.**

Для определения L_s готового трансформатора замыкают вторичную обмотку, измеренное при этом значение индуктивности первичной обмотки равно L_s .

Получив расчетное значение L_1 , можно переходить к выбору магнитопровода. Прежде всего, определим пригодность имеющегося сердечника по условию

$$V_{\text{ст}} \geq \frac{10}{L_1} \cdot \left(\frac{U_1 \cdot 10^4}{f_n \cdot B_{\text{макс}}} \right), \text{ см}^3,$$

где $V_{\text{ст}}$ — активный объем стали, U_1 — амплитуда напряжения на зажимах первичной обмотки, $B_{\text{макс}}$ — максимальная амплитуда магнитной индукции, Гс (1 Гс (гаусс) = 10^{-4} Тл (тесла)) [2].

Существуют и более простые, но менее точные оценочные формулы. Объем сердечника на 1 Вт выходной мощности усилителя $\geq 1\text{—}3$ дюйм³:

$$V_{\text{ст}} \geq 20 \cdot \sqrt{\frac{P_a}{f_n}}.$$

Отметим, что $V_{\text{ст}} = S \cdot l_c$, где S — площадь сердечника, см², l_c — средняя длина магнитной силовой линии, см, определяемая из рис. 8.5:

- ♦ $l_c = 2h + 2b + 0,5\pi y_1$ — для броневого сердечника;
- ♦ $l_c = 2h + 2b + \pi y_1$ — для стержневого сердечника.

$B_{\text{макс}}$ 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.

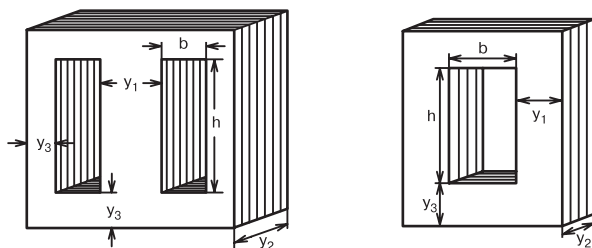


Рис. 8.5. Броневой (а) и стержневой (б) магнитопроводы

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

$$N_1 \leq 3 \cdot 10^7 \cdot \frac{U_1}{B_{\max} \cdot f_n \cdot S},$$

где $B_{\max}$ 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);

$$r_2 = r_1 \cdot n^2 [10],$$

где n — коэффициент трансформации, определяемый по формуле

$$n = \frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{R_n}{R_a \cdot \eta_{\text{тр}}}}.$$

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:

$$l_0 \approx 2y_1 + 2y_2 + 8\delta k + 2,5b \text{ (для броневых магнитопроводов);}$$

$$l_0 \approx 2y_1 + 2y_2 + 8\delta k + 1,1b \text{ (для стержневого магнитопровода),}$$

где δk — толщина материала каркаса, мм [20].

Диаметр провода (по меди) вторичной обмотки

$$d_2 = \frac{d_1}{\sqrt{n}}, \text{ мм}.$$

Если вторичная обмотка состоит из K параллельных секций, то диаметр провода секции d_c рассчитывают как

$$d_c = \frac{d_2}{\sqrt{K}}, \text{ мм}.$$

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 [20]

$$a_1 = (1,2 \dots 1,4) \times [p_1 \cdot d_{1l} + \delta_1 \cdot (p_1 - 1)],$$

$$a_2 = (1,2 \dots 1,4) \times [p_2 \cdot d_{2l} + \delta_2 \cdot (p_2 - 1)],$$

где p_1 и p_2 — число слоев первичной (1) и вторичной (2) обмоток;

d_{1l} и d_{2l} — диаметры провода в изоляции;

δ_1 и δ_2 — толщина межслойной 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.

Для снижения паразитных параметров следует применять секционирование обмоток, при этом:

- ♦ общее количество секций должно быть нечетным;
- ♦ крайние (внутренняя и наружная) секции должны принадлежать одной обмотке и иметь количество витков вдвое меньшее, чем во внутренних секциях этой обмотки;
- ♦ общее количество секций не должно превышать девяти;
- ♦ обязательно использовать межслойную и межсекционную изоляцию расчетной толщины;
- ♦ 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 включается в готовый ламповый каскад, для которого он разрабатывался, и производится измерение L_{100} .



Внимание.

Авторы не рекомендуют 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 расстраиваться: ряд субъективных тестов

показывает, что «безродные» трансформаторы порой переигрывают по звучанию своих именитых собратьев, да и объективные параметры последних нередко оказываются завышенными [3]. Удачи Вам!

Альтернативная методика расчета выходного трансформатора

В качестве альтернативы авторской рекомендуется простая, но хорошо зарекомендовавшая себя методика [7].

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 нижней граничной 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_n , то первичная обмотка будет представлять собой для переменного тока сопротивление

$$R_a = \frac{R_n}{n^2 \cdot \eta}.$$

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.



Внимание.

Для корректной работы усилителя в общем случае желательно, чтобы расчетное сопротивление анодной нагрузки (для выбранной нижней граничной частоты) было равно приведенному сопротивлению:

$$\frac{R_n}{n^2 \cdot \eta} = 2\pi f_n L$$

При разработке данной методики автор, очевидно, подразумевал, что указанное равенство выполняется, поэтому R_a можно принимать за величину анодной нагрузки. Аналогично для двухтактного каскада величина нагрузки между анодами равна R_{aa} .

Расчет выходного трансформатора

При расчете должны быть заданы мощность, отдаваемая выходным каскадом нагрузке R_n , сопротивление нагрузки (громкоговорителя) R_n , оптимальное приведенное сопротивление для каскада R_a или R_{aa} или внутреннее сопротивление лампы R_i в данном режиме, нижняя граничная частота f_n , коэффициент частотных искажений на этой частоте M_n и величина тока покоя ламп I_0 .

Трансформатор для одноконтурного лампового каскада

Одноконтурные 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 $R_a = a \times R_i$, 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 [3] 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

$$L_1 = 159 \cdot \frac{R_a}{f_n \sqrt{M_n^2 - 1}}, \text{ Гн.}$$



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

$$Q_c \times Q_o = A \times P_n, \text{ см}^4,$$

где $A = 10$ для триода;

$A = 20$ для пентода и лучевого тетрода.

**Примечание.**

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

$$Q_c = \sqrt{A \cdot P_n}, \text{ см}^2.$$

Число витков первичной обмотки трансформатора из условия получения необходимой индуктивности обмотки

$$w_1 = D \sqrt{\frac{L_1 \cdot I_c}{Q_c}}.$$

Значения коэффициента D в зависимости от величины индуктивности первичной обмотки и тока подмагничивания приведены в табл. 8.1.

Значения коэффициента D

Таблица 8.1

$L_1 \times I_c^2, \text{ Гн} \times \text{мА}^2$	D
102	480
103	530
104	600
105	685

Амплитуда переменного напряжения на первичной обмотке

$$U_{M1} = \sqrt{2 \cdot P_n \cdot R_a}, \text{ В.}$$

**Примечание.**

Именно амплитудное значение напряжения; для среднеквадратичного (rms) коэффициент 2 отсутствует.

Максимальная индукция в сердечнике

$$B_{\text{макс}} = 2,25 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{U_{M1}}{f_n \cdot Q_c \cdot w_1}, \text{ Гс.}$$

Если $B_{\text{макс}}$ больше 7000 Гс, число витков первичной обмотки определяется по формуле

$$w_1 = 3,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{U_{M1}}{f_n \cdot Q_c}.$$

Диаметр провода первичной обмотки

$$d_1 = 0,025 \cdot \sqrt{I_0}, \text{ мм.}$$

Число витков вторичной обмотки

$$w_2 = n \times w_1.$$

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 А** (в классе А), или в режиме АВ. Режим В ввиду больших нелинейных искажений применяется только в мощных усилителях (50 Вт и выше).

При **режиме А** оптимальное приведенное сопротивление нагрузки между анодами ламп равно $R_{aa} = 2R_a$ (R_a определяется как для однотактного каскада).

При **режиме АВ** 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

- ♦ для сердечника из трансформаторной стали

$$w_1 = 450 \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot I_c}{Q_c}}, \text{ мм.}$$

- ♦ для сердечника из пермаллоя

$$w_1 = 200 \cdot \sqrt{\frac{L_1 \cdot I_c}{Q_c}}.$$

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 однотактного или двухтактного каскада.

Коэффициент $p = w_3 / w_a$, 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;
- ♦ 0,42—0,45 для ламп типа 6П14П и 6ПЗС.



Внимание.

Необходим подбор величины этого коэффициента по наилучшему звучанию, для чего первичная обмотка выполняется с отводами.

Примеры конструкций выходных трансформаторов приведены в п. 8.5.



Примечание.

Кроме того, методики и программы расчета выходных трансформаторов доступны на сайте одного из авторов этой книги: www.metaleater.narod.ru. Адрес электронной почты: metaleater@mail.ru.

8.5. Примеры конструкций выходных трансформаторов



Примечание.

Данные конструкции трансформаторов могут быть использованы с другими типами ламп, для которых приемлемы данные значения R_a и I_a , а выходная мощность соответствует запросам слушателя и возможностям применяемой акустической системы.

Универсальный выходной трансформатор для однотактного каскада на лампе 300В и ГМ-70

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:

$L = 16 \text{ Гн}$, $I_a = 0,15—0,16 \text{ А}$ для лампы ГМ-70;

$L = 20 \text{ Гн}$, $I_a = 0,09—0,10 \text{ А}$ для 300В.

Немагнитный зазор в магнитопроводе:

- ♦ для ГМ-70 — 0,3...0,32 мм;
- ♦ для 300В — 0,18...0,2 мм.

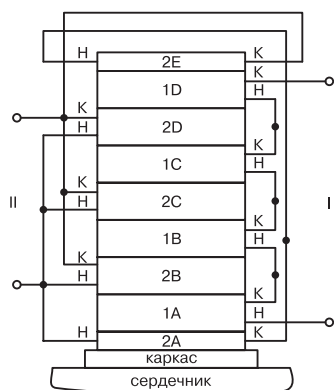


Рис. 8.6. Схема намотки и расположение выводов

Первичная обмотка состоит из 4-х равных секций 1А, 1В, 1С и 1D. Всего 3200 витков в 4-х одинаковых секциях по 800 витков провода диаметром $d_1 = 0,35—0,36 \text{ мм}$ (диаметр провода с изоляцией 0,4 мм).

Вторичная обмотка состоит из 5-и секций: секции 2А, 2Е по 75 витков каждая и секции 2В, 2С, 2Д по 150 витков каждая. Секции 2А и 2Е 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 $d_2 = 0,9 \text{ мм}$ (с изоляцией — 1,0 мм).

Схема намотки трансформатора, расположение выводов и схема их соединений приведены на рис. 8.6.

Разработчик — Анатолий Манаков.

Универсальный выходной трансформатор для однотактного каскада на лампе 2А3/6С4С/6В4Г

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.

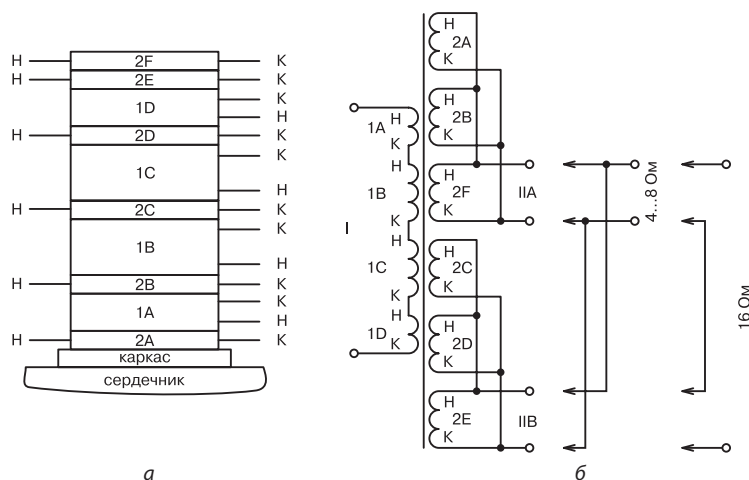


Рис. 8.7. Схема намотки, расположение выводов (а) и схема коммутации выводов (б)

Вторичная обмотка состоит из шести одинаковых секций по 150 витков в каждой, намотаны все секции вторичной обмотки проводом диаметром 0,45 мм.

На рис. 8.7 приведена схема намотки трансформатора, расположение выводов обмоток (а) и схема соединения выводов для нагрузок сопротивлением 4—8 Ом и 16 Ом (б).

Разработчик — Анатолий Манаков.

Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6П45С в триодном включении

Выходной трансформатор изготовлен на магнитопроводе от силового трансформатора кассового аппарата «Ока». Его основные характеристики: мощность 200 Вт, железо ШЛ32×50. Зазор 0,2 мм.

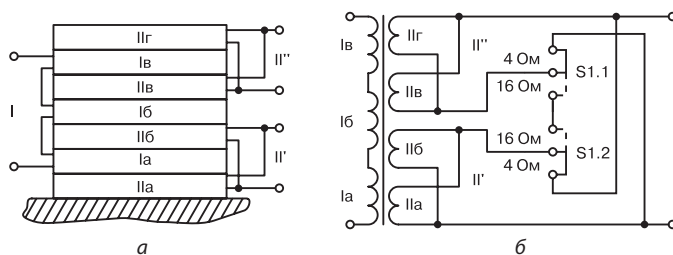


Рис. 8.8. Схема намотки, расположение выводов (а) и схема коммутации выводов (б)

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.

На рис. 8.8 приведена схема намотки обмоток трансформатора (а) и схема соединения выводов трансформатора для нагрузок сопротивлением 4 Ом и 16 Ом (б).

Разработчик — Анатолий Манаков.

Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на двух параллельных лампах 6С19П

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.

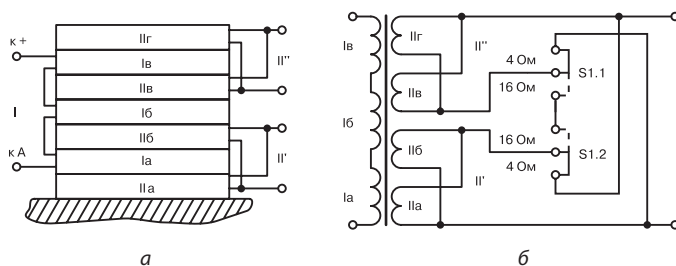


Рис. 8.9. Схема намотки, расположение выводов (а) и схема коммутации выводов (б)

На рис. 8.9 приведена схема намотки обмоток трансформатора (а) и схема соединения выводов трансформатора для нагрузок сопротивлением 4 Ом и 16 Ом (б).

Разработчик — Анатолий Манаков.

Выходной трансформатор для усилителя «цирклотрон» на лампах 6П41С, 6ПЗС, EL34



Примечание.

Все в пентодном включении, по одной лампе в плече.

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. 8.2.

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 8.2

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



Примечание.

Обмотка III выполняется в один слой и состоит всего из 120 витков с отводами через каждые 30 витков.

На рис. 8.10 приведена электрическая схема трансформатора и схема размещения обмоток на магнитопроводе.

Разработчик — К. Вайсбейн.

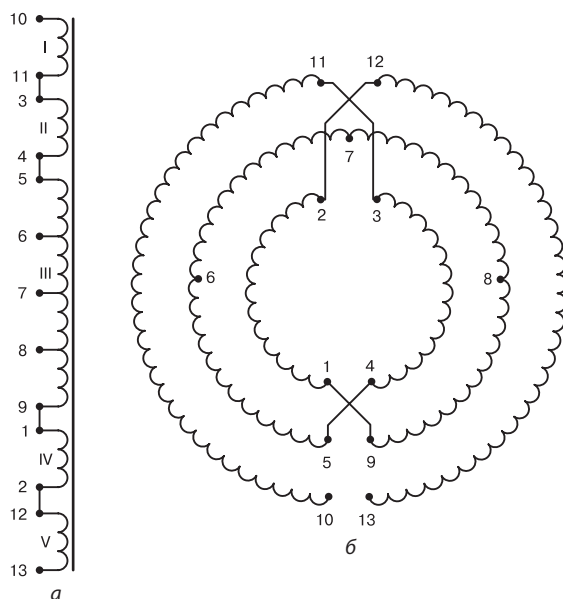


Рис. 8.10. Электрическая схема трансформатора (а) и схема расположения обмоток на магнитопроводе (б)

Выходной трансформатор для двухтактного выходного каскада на лампах ГУ-50



Примечание.

Пентодное включение, по одной лампе в плече.

Трансформатор выполнен на магнитопроводе Ш24×57, размер окна 24×60 мм. Основные данные обмоток этого трансформатора приведены в табл. 8.3, а схема расположения обмоток показана на рис. 8.11.

Намоточные данные трансформатора

Таблица 8.3

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



Рис. 8.11. Схема расположения обмоток трансформатора

**Внимание.**

Данные вторичных обмоток соответствуют нагрузке сопротивлением 14 Ом.

Разработчик — А. Баяв.

Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6С50 (в триодном включении, $R_a = 2,7 \text{ кОм}$)

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. 8.12 показана конструкция катушки трансформатора.

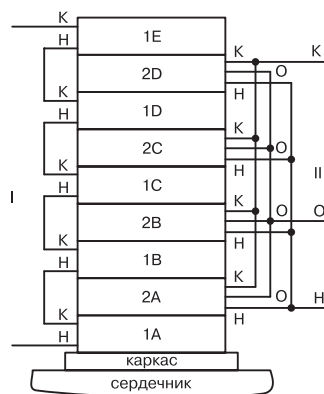


Рис. 8.12. Размещение секций обмоток в катушке трансформатора

Разработчик — Дмитрий Андреев.

Выходной трансформатор для однотактного выходного каскада на лампе 6П36С (в триодном включении)

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 сек-

ций (по 3 секции на катушке) по 190 витков, провод диаметром 0,38 мм, все шесть секций 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.

Разработчик — Анатолий Манаков.

8.6. Ламповый калейдоскоп

По просьбам читателей авторы приводят 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, которым хотели бы видеть книгу авторы 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 33 Ом.

Лампа 6Д22С превосходит по звуковым свойствам многие доступные кенотроны, 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 <http://www.duncanamps.com/psud2/index.html>).

Моделирование источника анодного питания на базе 6Д22С в программе PSU Designer II представлено на **рис. 8.13**.

Прямых **аналогов** не имеет. В крайнем случае, заменяется другими демпферными диодами: 6Д20П, обладающим более скромными параметрами, либо похожим, но дефицитным 6Ц17С (EY500, 6ЕС4).

Отметим, что звуковая сигнатура 6Д22С получает полярные оценки на аудиофорумах (вероятно, по причине косвенного накала).

Пример использования 6Д22С в блоке питания лампового одноконтного усилителя: <http://www.vestnikara.spb.ru/vestn/n6/ga12.gif>

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.

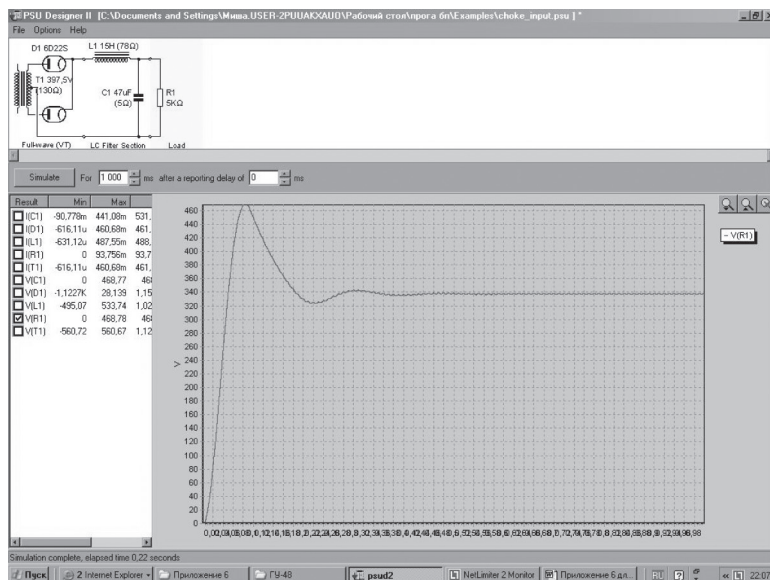


Рис. 8.13. Моделирование источника анодного питания на базе 6Д22С в программе PSU Designer II

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!).



Примечание.

Однако авторы поменяли свое мнение, повторив несколько конструкций с использованием ГУ-48 в более скромных режимах, например: <http://www.metaleater.narod.ru/se833nynoise.gif> (схема Боба Даниляка).

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. 8.14).

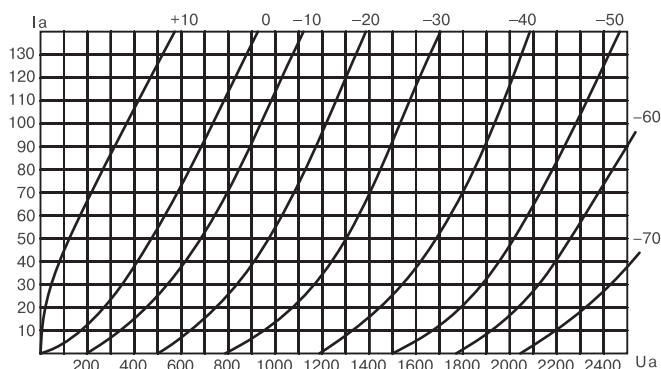


Рис. 8.14. (бывший П6.2.) ВАХ лампы ГУ-48

Благодаря программе SEAmPCAD стало возможным и моделирование однотактного выходного каскада на ГУ-48, так как в ламповой библиотеке данной программы имеется лампа 6X572-30, ВАХ которой близка к ГУ-48 на соответствующем участке (рис. 8.15).

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 пентодная часть лампы 6Ф12П (довольно близкий).

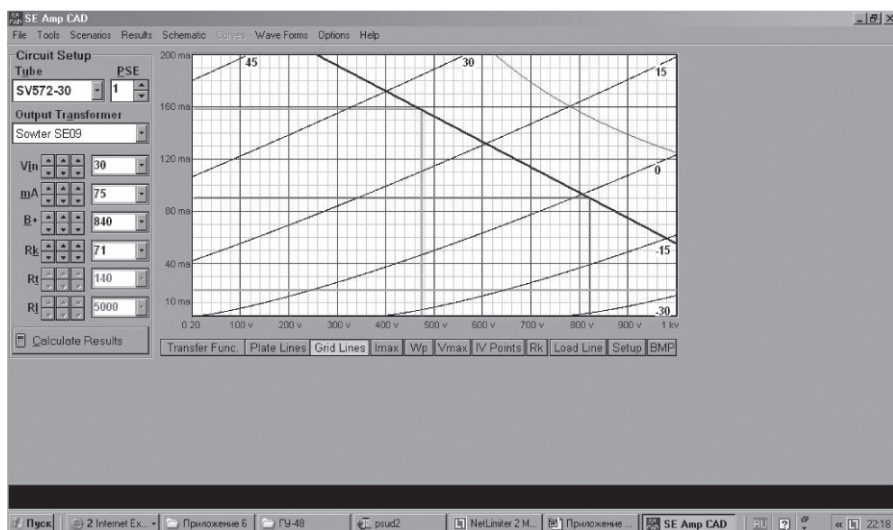


Рис. 8.15. Моделирование в программе SE AmpCAD

Лампа 6Ж43П очень надежна, что позволяет использовать ее в «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 (батареинное смещение), чего вкупе с межкаскадным трансформатором 1:1,4 будет достаточно для раскачки лампы 300В.

6Н30П — двойной триод. Лампа, родственная 6Н6П, но отличающаяся вдвое меньшим внутренним сопротивлением и очень хорошей звуковой сигнатурой. Сравнительные ВАХ обеих ламп, снятые Николаем Онуфриевым (<http://www.klausmobile.narod.ru>), приведены на рис. 8.16.

Низкое внутреннее сопротивление при большом раскрытии характеристик позволяет успешно применять лампу, например, на выходе предусилителя-корректора (рис. 8.17).

Разумеется, даже несколько «прохладная» по звуковому почерку 6Н30П лучше, чем любая лампа в усиленном SRPP (при равном выходном сопротивлении). Однако в целях достижения усиления выходного каскада, аналогичного рис. 8.17 (т. е. 11), можно применить псевдотриод 6Ж43П совместно с трансформатором ($K_{tr} = 5:1$). Это позволит получить выходное сопротивление на порядок меньшей величины! В этом случае не помешает даже малый раскрыт ВАХ 6Ж43П, вследствие

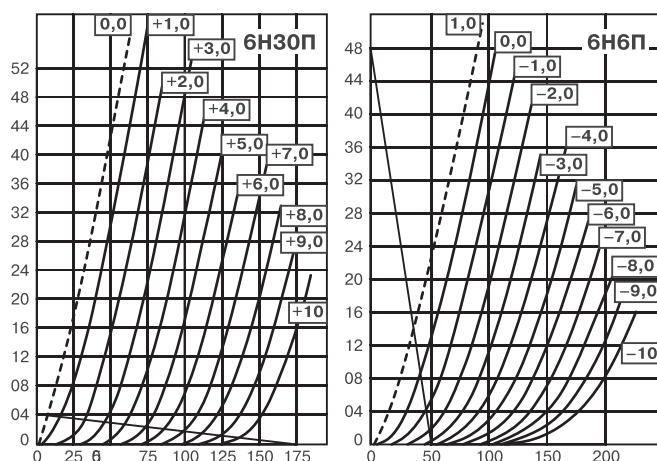


Рис. 8.16. Сравнительные ВАХ ламп 6Н6П и 6Н30П

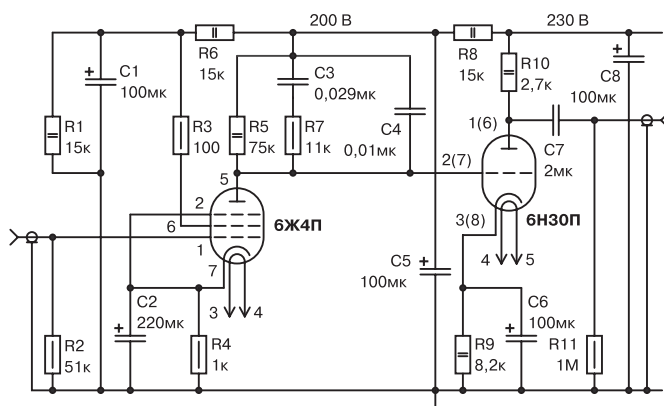


Рис. 8.17. «Народный» корректор Евгения Комиссарова (фрагмент схемы)

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 гуров — использование ламп со средним μ на деле нередко приводил их последователей к переходу на трехка-

скадное 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 A2). 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 однотактных 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: производителю будет 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.

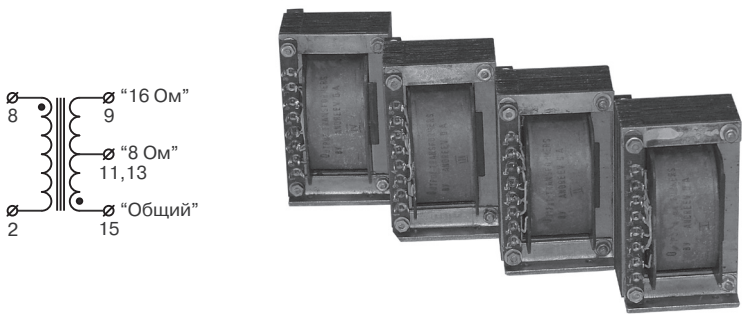
Удачи Вам!

ПРИЛОЖЕНИЯ

Все рассмотренные ниже конструкции разработаны и воплощены в реальные конструкции авторами этой книги.

Приложение 1

Трансформатор выходной SE 3,5K / 8,0 и 16,0 Ом
для использования с лампами 6EA7 , 6C4C



Параметры	Трансформатор			
	I	II	III	IV
R _в , кОм	3,5	3,5	3,5	3,5
R _н , Ом	8,0; 16,0	8,0; 16,0	8,0; 16,0	8,0; 16,0
I _{омах} , мА	75,0	75,0	75,0	75,0
P _{мах} , Вт	4,5	4,5	4,5	4,5
R1, Ом (T = 24 °C)	184,1	184,1	184,1	184,6
R2 (8,0 Ом), Ом (T = 24 °C)	1,7	1,7	1,7	1,7
R2 (16,0 Ом), Ом (T = 24 °C)	2,0	2,0	2,0	2,0
L1 (рез. метод), Гн	37,5	38,8	38,6	38,4
L _{рас} (рез. метод), мГн	74	80	76	82
АЧХ (–0,5 дБ), Гц*	13,0—19300	12,6—19300	12,8—19600	12,5—19100
АЧХ (–3,0 дБ), Гц*	6,6—43900	6,8—43100	6,6—43600	6,4—44300
Вес, кг	1,77	1,77	1,77	1,77
Габаритные размеры, мм	62×80×104	62×80×104	62×80×104	62×80×104

Примечание к табл.
*АЧХ измерена при P_{вых} = 1 Вт, I_о = 65 мА, R_н = 8 Ом. Используемые приборы: ВЗ-42, М3870D, АСК-2043, ГЗ-117.

Сердечники и каркасы. Используется сердечники и каркасы от трансформаторов преобразователей линий связи.

Сердечник из пластин Ш25 с укороченным окном 25×38 мм. Толщина набора 31 мм. Для лучшего результата пластины и пере-мычки отобрать по механическим показателям.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков **первичной обмотки** — 3528, диаметр провода «по меди» — 0,28 мм. Число витков в одном слое первичной обмотки — 98. Первичная обмотка состоит из шести одинаковых секций.

Все секции первичной обмотки содержат по 588 витков, намотанные в шесть слоев и соединены последовательно.

Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из пяти одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 186 витков, намотанных в два слоя обмоточным проводом диаметром «по меди» 0,3 мм.

Дополнительная обмотка для сопротивления нагрузки 16 Ом состоит из двух одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных по краям катушки трансформатора, т. е. одна — ближайшая к сердечнику, а вторая — последняя в катушке. Каждая секция дополнительной вторичной обмотки содержит по 76 витков, намотанных в два слоя обмоточным проводом диаметром «по меди» 0,71 мм.

Две секции дополнительной вторичной обмотки включены параллельно между собой и последовательно с вторичной обмоткой, рассчитанной на нагрузку 8 Ом.

Изоляция:

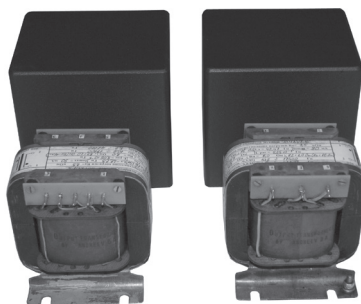
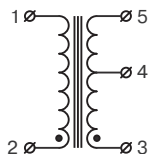
- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,01 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и та же самая фторопластовая пленка в один слой. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную, также подойдет чертежная калька.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,11 мм. В качестве используемого материала подойдет лист вощеной бумаги.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 2

Трансформатор выходной SE 3,5K / 8,0 и 16,0 Ом для использования с лампами 6С4С, 2А3 и их аналогами



Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_{ар}$, кОм	3,5	3,5
$R_{н}$, Ом	8,0; 16,0	8,0; 16,0
$I_{оmax}$, мА	90	90
P_{max} , Вт	6,0	6,0
$R1$, Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	129,5	129,7
$R2$ (8,0 Ом), Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	0,7	0,7
$R2$ (16,0 Ом), Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,0	1,0
$L1$ (рез. метод), Гн	42,2	42,5
$L_{расc}$ (рез. метод), мГн	5,0	5,2
АЧХ (–0,5 дБ), Гц*	10,6—19100	10,2—19400
АЧХ (–3,0 дБ), Гц*	5,2—41100	4,8—41800
Вес, кг	3,0	3,0
Габаритные размеры, мм	105×90×112	105×90×112

Примечание к табл.

*АЧХ измерена при $P_{вых} = 1\text{ Вт}$, $I_o = 65\text{ мА}$, $R_n = 8\text{ Ом}$. Используемые приборы: В3-42, М3870Д, АСК-2043, ГЗ-117

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе от промышленного трансформатора ОСМ-0,16.

Для лучшего результата будущий сердечник необходимо отобрать из нескольких трансформаторов по механическим и магнитным свойствам.

Способ намотки — виток к витку. Используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков **первичной обмотки** — 2926, диаметр провода «по меди» — 0,315 мм. Число витков в одном слое

первичной обмотки — 133. Первичная обмотка состоит из пяти секций. Первая, вторая, четвертая и пятая секции первичной обмотки содержат по 532 витка, намотанные в четыре слоя, третья секция — 624 витков в шести слоях. Все секции соединены последовательно.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из четырех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 150 витков в два слоя обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,56 мм.

Дополнительная обмотка для сопротивления нагрузки 16 Ом состоит из двух одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных по краям катушки трансформатора, т. е. одна ближайшая к керну сердечника, а вторая — последняя в катушке. Каждая секция дополнительной вторичной обмотки содержит по 58 витков, намотанных в один слой обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,75 мм.

Две секции дополнительной вторичной обмотки включены параллельно между собой и последовательно с вторичной обмоткой, рассчитанной на нагрузку в 8 Ом.

Изоляция:

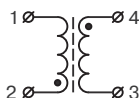
- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,015 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и та же фторопластовая пленка в один слой. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную или чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,1 мм. В качестве используемого материала подойдет лист обычной бумаги для принтеров.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 3

**Трансформатор выходной SE 7K / 8,0 Ом
для использования с лампой 6М-70
(возможно использование с лампой 300В)**



Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_{\text{вн}}$, кОм	7,0	7,0
$R_{\text{н}}$, Ом	8,0	8,0
$I_{\text{отмах'}}$, мА	150	150
$P_{\text{мах'}}$, Вт	22	22
R_1 , Ом	276,6	277,8
R_2 (8,0 Ом), Ом	0,4	0,4
L_1 (рез. метод), Гн	90,1	89,0
$L_{\text{рас}}$ (рез. метод), мГн	6,1	5,9
АЧХ (–0,5 дБ), Гц*	11,2—22700	11,9—23100
АЧХ (–3,0 дБ), Гц*	3,2—52800	3,4—53400
Вес, кг	5,8	5,8
Габаритные размеры, мм	135×110×165	135×110×165

Примечание к табл.

*АЧХ измерена при $P_{\text{вых}} = 5$ Вт, $I_0 = 100$ мА, $R_{\text{н}} = 8$ Ом. Используемые приборы: ВЗ-42, МЗ870Д, АСК-2043, ГЗ-117

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе от промышленного трансформатора ОСМ1-0,4.

Для лучшего результата будущий сердечник необходимо отобрать из нескольких разобранных трансформаторов по механическим и магнитным свойствам.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков **первичной обмотки** — 4900, диаметр провода «по меди» — 0,315 мм. Число витков в одном слое

первичной обмотки — 175. Первичная обмотка состоит из четырех секций.

Первая и четвертая секции первичной обмотки содержат по 1050 витков, намотанных в шесть слоев, третья и вторая секции — 1400 витков в восьми слоях. Все секции соединены последовательно, последовательность соединения по секциям 1-3-2-4.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из пяти одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных снаружи и между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 182 витка и имеет 2 слоя проводом диаметром «по меди» — 0,63 мм.

Изоляция:

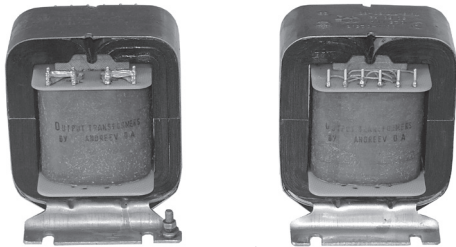
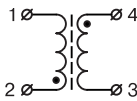
- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,01 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в два слоя и та же фторопластовая пленка в два слоя. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную или чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,16 мм.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 4

**Трансформатор выходной SE 5K / 4,0 Ом
для использования с лампой ГУ-50
(возможно использование с лампами 300B и SV572-10)**



Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_{зл}$, кОм	5,0	5,0
$R_{нл}$, Ом	4,0	4,0
$I_{оmax}$, мА	100	100
P_{max} , Вт	10,0	10,0
R_1 , Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	137,5	137,0
R_2 (8,0 Ом), Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	0,2	0,2
L_1 (приборная М3870D $f = 1000$ Гц), Гн	32,5	31,9
L_1 (рез. метод), Гн	72	69
$L_{рас}$ (рез. метод), мГн	14,7	14,3
АЧХ (–0,5 дБ), Гц*	16,8—22800	18,4—23900
АЧХ (–3,0 дБ), Гц*	9,9—38000	10,6—39600
Вес, кг	4,2	4,2
Габаритные размеры, мм	105×106×130	105×106×130

Примечание к табл.

*АЧХ измерена при $P_{вых} = 5$ Вт, $I_o = 100$ мА, $R_n = 4$ Ом. Используемые приборы: В3-42, М3870D, АСК-2043, ГЗ-117

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе от промышленного трансформатора ОСМ1-0,25.

Для лучшего результата будущий сердечник необходимо отобрать из нескольких разобранных трансформаторов по механическим и магнитным свойствам.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков **первичной обмотки** — 3476, диаметр провода «по меди» — 0,355 мм. Число витков в одном слое

первичной обмотки — 158. Первичная обмотка состоит из пяти секций.

Первая, вторая, четвертая и пятая секции первичной обмотки содержат по 632 витка, намотанных в четыре слоя, третья секция — 948 витков в шести слоях. Все секции соединены последовательно.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 4 Ом состоит из четырех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 102 витка и имеет 2 слоя, намотанных в два провода диаметром «по меди» — 0,56 мм.

Изоляция:

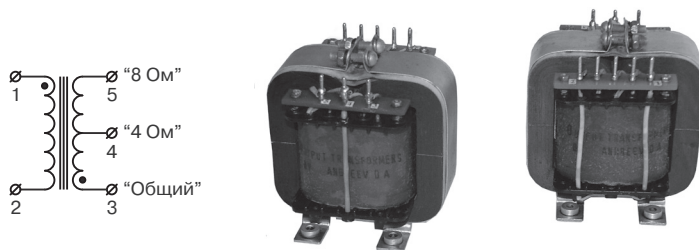
- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,015 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и та же фторопластовая пленка в один слой. В качестве бумаги лучше использовать — конденсаторную или чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,16 мм.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 5

**Трансформатор выходной SE 3,7K / 4,0 и 8,0 Ом
для использования с лампой 6Ф3П в триодном включении
(возможно использование с лампами 6Ф5П, 6П14П —
обе в триодном включении)**



Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_{\text{вх}}$, кОм	3,7	3,7
R_1 ($R_{\text{с1}}$), Ом	240,1	239,3
R_2 , Ом ($R_{\text{н}} = 4,0$ Ом)	0,5	0,5
R_2 , Ом ($R_{\text{н}} = 8,0$ Ом)	0,6	0,6
L_1 , Гн (рез. метод)	41,4	40,5
L_1 расс, мГн	4,8	4,8
АЧХ $-0,5$ дБ ($R_{\text{н}} = 8,0$ Ом), Гц*	13,3—20300	13,9—20500
АЧХ $-3,0$ дБ ($R_{\text{н}} = 8,0$ Ом), Гц*	5,2—45500	5,5—46100
P , Вт	3,5	3,5
$I_{\text{с}}$, мА	70	70
Габаритные размеры, мм	70×80×85	70×80×85
Вес, кг	1,45	1,45

Примечание к табл.

*АЧХ измерена при $P_{\text{вых}} = 5$ Вт, $I_{\text{с}} = 100$ мА, $R_{\text{н}} = 4$ Ом. Используемые приборы: ВЗ-42, МЗ870Д, АСК-2043, ГЗ-117

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе ШЛ24×32.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков первичной обмотки — 3344, диаметр провода «по меди» — 0,224 мм. Число витков в одном слое первичной обмотки — 152. Первичная обмотка состоит из четырех секций.

Первая и четвертая секции первичной обмотки содержат по 760 витков, намотанных в пять слоев, вторая и третья секции — 912 витков в шести слоях. Все секции соединены последовательно. Последовательность соединений секций 1-3-2-4.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 4 Ом состоит из трех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 124 витка в два слоя обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,56 мм.

Дополнительная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из двух одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных по краям катушки трансформатора, т. е. одна ближайшая к керну сердечника, а вторая — последняя в катушке. Каждая секция дополнительной вторичной обмотки содержит по 50 витков намотанных в один слой обмоточного провода диаметром «по меди» 0,7 мм.

Две секции дополнительной вторичной обмотки включены параллельно и последовательно с вторичной обмоткой, рассчитанной на нагрузку в 4 Ом.

Изоляция:

- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,01 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и та же фторопластовая пленка в один слой. В качестве бумаги лучше использовать — конденсаторную или чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,1 мм.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 6

Трансформатор выходной SE 4K / 8,0 и 16,0 Ом
для использования с лампой EL156
(возможно использование с лампой 300B)



Параметры	Трансформатор	
	I	II
R_a1 , кОм	4,0	4,0
$R1 (R_a1)$, Ом	172,5	172,5
$R2$, Ом ($R_n = 8,0$ Ом)	0,6	0,6
$R2$, Ом ($R_n = 16,0$ Ом)	0,7	0,7
$L1$, Гн (рез. метод)	61,4	59,7
$L1$ расс, мГн (рез. метод)	1,5	1,5
AЧХ $-0,5$ дБ ($R_n = 8,0$ Ом), Гц*	11,4—39400	11,8—37500
AЧХ $-3,0$ дБ ($R_n = 8,0$ Ом), Гц*	5,1—71200	5,6—71700
P , Вт	10	10
I_o , мА	90	90
Габаритные размеры, мм	135×116×140	135×116×140
Вес, кг	4,5	4,5

Примечание к табл.
*АЧХ измерена при $P_{вых} = 5$ Вт, $I_o = 100$ мА, $R_n = 4$ Ом. Используемые приборы: ВЗ-42, М3870D, АСК-2043, ГЗ-117

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе от промышленного трансформатора ОСМ1-0,25. Для лучшего результата будущий сердечник необходимо отобрать из нескольких разобранных трансформаторов по механическим и магнитным свойствам.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков **первичной обмотки** — 3440, диаметр провода «по меди» — 0,315 мм. Число витков в одном слое

первичной обмотки — 172. Первичная обмотка состоит из четырех секций.

Первая и четвертая секции первичной обмотки содержат по 688 витков, намотанных в четыре слоя, вторая и третья секции — 1032 витка в шести слоях. Все секции соединены последовательно.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из трех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 170 витков в два слоя обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,63 мм.

Дополнительная обмотка. Дополнительная обмотка для сопротивления нагрузки 16 Ом состоит из двух одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных по краям катушки трансформатора, т. е. одна ближайшая к сердечнику, а вторая — последняя в катушке. Каждая секция дополнительной вторичной обмотки содержит по 70 витков, намотанная в один слой обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,85 мм.

Две секции дополнительной вторичной обмотки включены параллельно между собой и последовательно с вторичной обмоткой, рассчитанной на нагрузку в 8 Ом.

Изоляция:

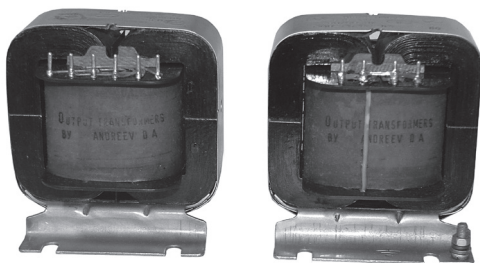
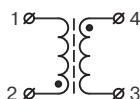
- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,01 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и та же фторопластовая пленка в два слоя. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную или чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,14 мм.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 7

**Трансформатор выходной SE 1K/ 8 Ом
для использования с лампой 6С41С (возможно использование
с двумя лампами 6С19П, соединенными параллельно)**



Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_{зл}$, кОм	1,0	1,0
$R_{нл}$, Ом	8,0	8,0
I_0 , мА	120	120
P_{max} , Вт	8,0	8,0
$R1$, Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	50,2	49,8
$R2$ (8,0 Ом), Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,0	1,0
$L1$ (резонансный метод), Гн	14,2	13,9
$L_{расc}$ (резонансный метод), мГн	1,4	1,38
АЧХ ($-0,5$ дБ), Гц*	10—32600	11,4—32300
АЧХ ($-3,0$ дБ), Гц*	5,0—93500	5,5—94000
Вес, кг	3,2	3,2
Габаритные размеры, мм	105×95×110	105×95×110

Примечание к табл.

*АЧХ измерена при $P_{вых} = 3,5$ Вт, $I_0 = 90$ мА, $R_{нл} = 8$ Ом. Используемые приборы: ВЗ-42, МЗ870Д, АСК-2043, ГЗ-117.

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе от промышленного трансформатора ОСМ1-0,16. Для лучшего результата будущий сердечник необходимо отобрать из нескольких разобранных трансформаторов по механическим и магнитным свойствам.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков первичной обмотки — 1872, диаметр провода «по меди» — 0,4 мм. Число витков в одном слое первичной обмотки — 104. Первичная обмотка состоит из пяти секций.

Первая и пятая секции первичной обмотки содержат по 208 витков, намотанные в два слоя, вторая и четвертая секции — 416 витков в четырех слоях, третья секция — 624 витка в шести слоях. Все секции соединены последовательно.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из четырех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 182 витков в два слоя обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,5 мм.

Изоляция:

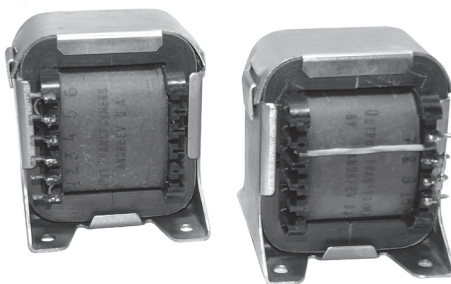
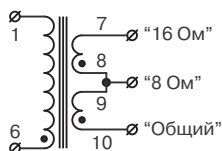
- ♦ межслойная — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,015 мм в один слой;
- ♦ межсекционная — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и та же фторопластовая пленка в один слой. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную или чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,15 мм.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 8

**Трансформатор выходной SE 5K/ 8 и 16 Ом
для использования с лампами 6Э5П или 6П14П —
обе в триодном включении, а также с УО-186, 6С4С и ее аналогами**



Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_{ар}$, кОм	5,0	5,0
$R_{н}$, Ом	8,0; 16,0	8,0; 16,0
$I_{ор}$, mA	50	50
$I_{омах}$, mA	60	60
$P_{мах}$, Вт	5,0	5,0
$R1$, Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	299,5	299,0
$R2$ (8,0 Ом), Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,0	1,0
$R2$ (16,0 Ом), Ом ($T = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$)	1,5	1,5
$L1$ (резонансный метод), Гн	58,9	61,8
$L_{расс}$ (резонансный метод), мГн	49,3	46,1
АЧХ ($-0,5\text{ дБ}$), Гц*	11,7—22670	11,4—22300
АЧХ ($-3,0\text{ дБ}$), Гц*	3,0—65500	2,5—66230
Вес, кг	1,76	1,76
Габаритные размеры, мм	82×75×82	82×75×82

Примечание к табл.

*АЧХ измерена при $P_{вых} = 3,5\text{ Вт}$, $I_o = 50\text{ mA}$, $R_n = 8\text{ Ом}$. Используемые приборы: В3-42, М3870D, АСК-2043, ГЗ-117.

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе ШЛ24×40. Для лучшего результата будущий сердечник необходимо отобрать из нескольких разобранных трансформаторов по механическим и магнитным свойствам.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков **первичной обмотки** — 3912, диаметр провода «по меди» — 0,224 мм. Число витков в одном слое

первичной обмотки — 163. Первичная обмотка состоит из пяти секций.

Первая, третья и пятая секции первичной обмотки содержат по 652 витка, намотанных в четыре слоя, вторая и четвертая секции — 1978 витков в шести слоях.

Все секции соединены последовательно.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из трех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки содержит по 172 витка в два слоя обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,4 мм.

Дополнительная обмотка для сопротивления нагрузки 16 Ом состоит из двух одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных по краям катушки трансформатора, т. е. одна ближайшая к сердечнику, а вторая — последняя в катушке. Каждая секция дополнительной вторичной обмотки содержит по 72 витка, намотанных в один слой обмоточного провода диаметром «по меди» — 0,5 мм.

Две секции **дополнительной вторичной обмотки** включены параллельно между собой и последовательно с вторичной обмоткой, рассчитанной на нагрузку в 8 Ом.

Изоляция:

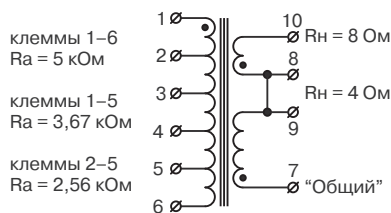
- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,01 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,05 мм в один слой и фторопластовая пленка толщиной 0,03 мм в два слоя. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную, либо чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,1 мм.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

Приложение 9

Трансформатор ТВЗ SE 5 кОм (3,67 кОм; 2,55 кОм)/ 4,0 и 8,0 Ом для использования с лампой 300В



Параметры	Трансформатор	
	I	II
$R_a 1$, кОм (приведенное сопротивление)	5	5
$R_a 2$, кОм (приведенное сопротивление)	3,67	3,67
$R_a 3$, кОм (приведенное сопротивление)	2,55	2,55
$R1 (R_a 1)$, Ом (активное сопротивление 1 обмотки)	96,4	96,9
$R1 (R_a 2)$, Ом (активное сопротивление 1 обмотки)	80,6	81,1
$R1 (R_a 3)$, Ом (активное сопротивление 1 обмотки)	69,0	69,6
$R2$, Ом ($R_H = 4,0 \text{ Ом}$)	0,25	0,25
$R2$, Ом ($R_H = 8,0 \text{ Ом}$)	0,33	0,33
$L1$, Гн (рез. метод)	58,3	59,4
$L1_{расч}$, мГн	21,0	21,4
АЧХ –3,0 дБ ($R_H = 4,0 \text{ Ом}$), Гц*	4,8—47000	4,6—49300
АЧХ –3,0 дБ ($R_H = 8,0 \text{ Ом}$), Гц*	5,5—37000	5,0—36300
P , Вт	15	15
I_o , мА ($I_{омах}$, мА)	100 (120)	100 (120)
Габаритные размеры, мм	140×170×125	140×170×125
Вес, кг	11,5	11,5

Примечание к табл.

*АЧХ измерена при $P_{вых} = 3,5 \text{ Вт}$, $I_o = 50 \text{ мА}$. Используемые приборы: В3-42, М3870Д, АСК-2043, АМ-3023, ГЗ-117.

Магнитопровод. Трансформатор выполнен на магнитопроводе Ш40, набор 95 мм. Для лучшего результата будущий сердечник необходимо отобрать из нескольких разобранных трансформаторов по механическим свойствам.

Способ намотки — виток к витку. Для намотки используется обмоточный провод марки ПЭТВ-2.

Первичная обмотка. Число витков первичной обмотки — 2996, диаметр провода «по меди» — 0,5 мм. Число витков в одном слое первичной обмотки — 107. Первичная обмотка состоит из пяти секций.

Первая и пятая секции первичной обмотки содержат по 428 витков, намотанных в четыре слоя, вторая и четвертая секции — 642 витка в шести слоях, третья — 856 витков в восьми слоях. Все секции соединены последовательно.

Вторичная обмотка. Вторичная обмотка для сопротивления нагрузки 4 Ом состоит из четырех одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных между секциями первичной обмотки. Каждая секция вторичной обмотки намотана в два слоя двойным проводом диаметром «по меди» — 0,63 мм и содержит по 88 витков.

Дополнительная обмотка для сопротивления нагрузки 8 Ом состоит из двух одинаковых секций, соединенных параллельно и расположенных по краям катушки трансформатора, т. е. одна ближайшая к керну сердечника, а вторая — последняя в катушке. Каждая секция дополнительной вторичной обмотки намотана в один слой двойным проводом диаметром «по меди» — 0,75 мм содержит по 36 витков.

Две секции дополнительной вторичной обмотки включены параллельно и последовательно с вторичной обмоткой, рассчитанной на нагрузку в 8 Ом.

Изоляция:

- ♦ **межслойная** — фторопластовая пленка марки Ф4, толщиной 0,015 мм в один слой;
- ♦ **межсекционная** — бумага, толщиной 0,12 мм в один слой и та же фторопластовая пленка в два слоя. В качестве бумаги лучше использовать конденсаторную или чертежную кальку.

Немагнитная прокладка. Толщина немагнитной прокладки в зазоре трансформатора — 0,16 мм.

После сборки сердечника трансформатор необходимо проварить в натуральном воске в течение 40—60 минут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nathan R. Grossner. Transformers for electronic circuits. McGraw-Hill book company. New York.
2. Андронников Д. Выходной трансформатор — почти просто, но не дешево — http://lynx-audio.h1.ru/state/trans/adv_trans.htm
3. АудиоМагазин. 1998. №1. Статья доступна на сайте: http://www.igdrassil.narod.ru/audio/tips/trans_selection.djvu
4. Белканов А. Life in a Vacuum // Вестник А.Р.А. — №1.
5. Белканов А. Life in a Vacuum // Вестник А.Р.А. — №6.
6. Брускин В. Определение параметров пентодов в триодном включении // Радио. — 1959. — №2. — С. 32.
7. В твой альбом. Выходные трансформаторы НЧ // Радио. — 1967. — №3. — С. 49.
8. Войшвилло Г. В. Руководство по проектированию усилителей звуковой частоты. — Л.: ЛЭИС. — 1958.
9. Гендин Г. С. Высококачественные любительские усилители низкой частоты. — М.: Энергия. — 1968.
10. Гендин Г. С. Высококачественные усилители низкой частоты. — М.: Радио и связь. — 1997.
11. Гурлев Д. С. Справочник по электронным приборам. — К.: — Техніка. — 1966.
12. Дайджест зарубежной периодики // Радиолюбби. — 1999. — №4. — С. 13.
13. Дайджест зарубежной периодики // Радиолюбби. — 2001. — №5. — С. 15.
14. Коновалов В. Рупор читателя. Из Иркутска о ГМ-70 // Вестник А.Р.А. — №4.
15. Симулкин С. Ламповый калейдоскоп // Радиолюбби. — 2003. — №4. — С. 53.
16. Трошкин Н. Триод из подручных материалов // Class A. — 1997, октябрь.
17. Трошкин Н. Фазоинверторы // Class A. — 1997, апрель.
18. Фрундзян А. Акробатика ламповых каскадов // Class A. — 1997, февраль.
19. Цыкин Г. С. Трансформаторы низкой частоты. — М.: Связьиздат. — 1955.
20. Цыкин Г. С. Усилители электрических сигналов. Изд. 2-е, переработ. — М.: Энергия, 1969.



Книжный магазин

издательства «Наука и Техника»
приглашает за покупками

**Предлагаем широкий ассортимент
технической литературы ведущих
издательств (более 2000 наименований):**

- Компьютерная литература
- Радиоэлектроника
- Телекоммуникации и связь
- Транспорт, строительство
- Научно-популярная медицина,
педагогика, психология

Чем привлекателен наш магазин:

- низкие цены;
- ежедневное пополнение ассортимента;
- поиск книг под заказ;
- обслуживание за наличный
и безналичный расчет;
- гибкая система скидок;
- комплектование библиотек;
- обеспечение школ учебниками
по информатике;
- возможна доставка.

Наш адрес: г. Санкт-Петербург
пр. Обуховской Обороны д. 107
ст. метро Елизаровская

Справки о наличии книг по тел. 412-70-25

E-mail: admin@nit.com.ru

(рассылка ассортиментного прайс-листа по запросу)

Мы работаем с 10 до 19 часов без обеда и выходных
(в субботу и воскресенье до 18 час)

Уважаемые господа!
Книги издательства «Наука и Техника»

Вы можете заказать наложенным платежом
в наших интернет-магазинах

www.nit.com.ru, www.nit-kiev.com

а также приобрести

➤ **в крупнейших магазинах г. Москвы:**

ТД «БИБЛИО-ГЛОБУС»	ул. Мясницкая, д. 6/3, стр. 1, ст. М «Лубянка»	тел. (495) 781-19-00, 624-46-80
Московский Дом Книги,	ул.Новый Арбат, 8, ст. М «Арбатская», «ДК на Новом Арбате»	тел. (495) 789-35-91
Московский Дом Книги,	Ленинский пр., д. 40, ст. М «Ленинский пр.», «Дом технической книги»	тел. (499) 137-60-19
Московский Дом Книги,	Комсомольский пр., д. 25, ст. М «Фрунзенская», «Дом медицинской книги»	тел. (499) 245-39-27
Дом книги «Молодая гвардия»	ул. Б. Полянка, д. 28, стр. 1, ст. М «Полянка»	тел. (499) 238-50-01
Сеть магазинов «Новый книжный»	тел. (495) 937-85-81, (499) 177-22-11	

➤ **в крупнейших магазинах г. Санкт-Петербурга:**

Санкт-Петербургский Дом Книги	Невский пр. 28 тел. (812) 448-23-57
«Энергия»	Московский пр. 57 тел. (812) 373-01-47
«Аристотель»	ул. А. Дундича 36, корп. 1 тел. (812) 778-00-95
Сеть магазинов «Книжный Дом»	тел. (812) 559-98-28

➤ **в регионах России:**

г. Воронеж, пл. Ленина д. 4	«Амитель»	(4732) 24-24-90
г. Екатеринбург, ул. Антона Валека д. 12	«Дом книги»	(343) 253-50-10
г. Екатеринбург	Сеть магазинов «100 000 книг на Декабристов»	(343) 353-09-40
г. Нижний Новгород, ул. Советская д. 14	«Дом книги»	(831) 277-52-07
г. Смоленск, ул. Октябрьской революции д. 13	«Кругозор»	(4812) 65-86-65
г. Челябинск, ул. Монакова, д. 31	«Техническая книга»	(904) 972 50 04
г. Хабаровск	Сеть книжно-канцелярских магазинов фирмы «Мирс»	(4212) 26-87-30

➤ **и на Украине (оптом и в розницу) через представительство издательства**

www.nit-kiev.com

e-mail: nitkiev@gmail.com

Мы рады сотрудничеству с Вами!