

# Лампы и звук: назад, в будущее или новое - это хорошо забытое старое?

Н.Сухов, В.Широков, Киев

История, как известно, развивается по спирали. Лишним тому подтверждением является нынешнее положение в High-End аудиотехнике - на рубеже нового тысячелетия наряду с сотовыми телефонами, цифровыми фотокамерами и домашними театрами вновь особо модны раритетные ламповые усилители и аналоговые проигрыватели виниловых грампластинок. Пролыстывая свежие аудиофильско-меломанские журналы, убеждаешься, что колесо истории качнулось резко в сторону от цифровых CD, MD, R-DAT, а радиолюбители со стажем обнаруживают удивительное сходство нынешних журналов с журналами 60-х, когда даже первые транзисторные УНЧ и компакт-кассеты были в диковинку. Ничуть не умаляя транзисторы и «цифру», отдадим дань моде и покажем кратко, но объективно, что стоит за повальным увлечением - «откуда растут ноги» ламповизации УНЧ конца XX века.

Сначала немного **о терминологии**. Поскольку новая ламповая волна пришла к нам с англоязычного Запада, этой же волной к множеству дилеров/дистрибьюторов занесло и названия «кланов» - «трех китов» ламповой схемотехники SE - PP - OTL. На самом деле тут нет ничего нового или таинственного:

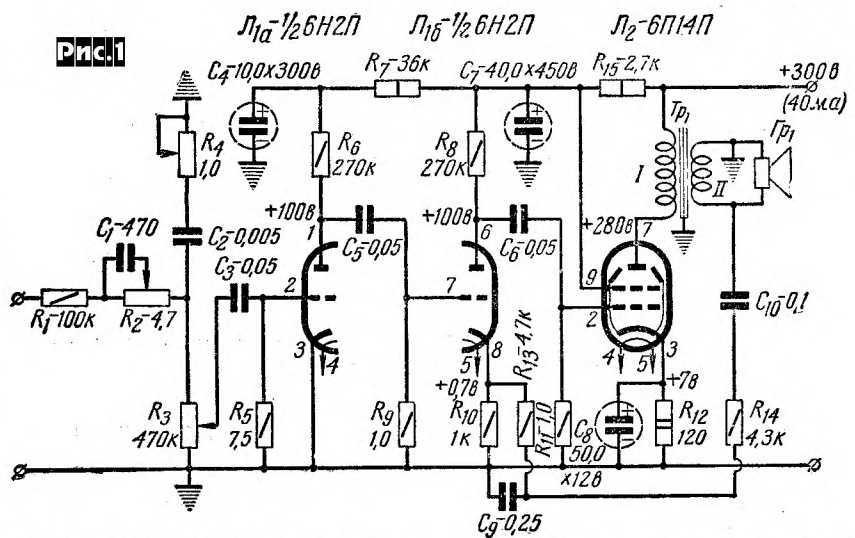
**SE=Single Ended** - это тривиальный однотактный каскад

**PP=Push Pull** - всем известный двухтактный

**OTL=Output Transformer Less** - бестрансформаторный.

**SE.** Приверженцы однотактной ламповой схемотехники считают себя самыми последовательными борцами за чистоту звука, утверждая, что только в однотактном каскаде лампа работает в настоящем режиме класса А без всяких там отсечек анодного тока, переключений активных элементов и прочих реальных и мнимых возмутителей монотонности передаточной характеристики. Все вроде бы правильно, однако критерием истины является практика, которая восторженно опускает нас с облаков на землю. Вот только **основные недостатки SE:**

- постоянный ток лампы протекает по первичке выходного трансформатора, что приводит к подмагничиванию магнитопровода и резко ухудшает его магнитные свойства - магнитную проницаемость и линейность. Падение магнитной проницаемости снижает индуктивность первичной обмотки, что тут же «режет по живому» низкочастотные сигналы (нижняя граничная частота пропорциональна индуктивности). Попытка восстановить индуктивность первичной обмотки повышением числа витков увеличивает и паразитную



индуктивность рассеивания, которая режет уже высшие звуковые частоты - «хвост вытаскишь - нос увязнет, нос вытаскишь - хвост увязнет».

- анодные характеристики ламп для положительной полуволны сеточных напряжений длиннее, чем для отрицательной (т.е. при равных по амплитуде, но противоположных по знаку приращениях сеточного напряжения изменение анодного тока будет больше для положительного приращения напряжения на сетке). В результате в передаточной характеристике имеется довольно значительная параболическая составляющая, а в выходном сигнале - вторая и другие четные гармоники.

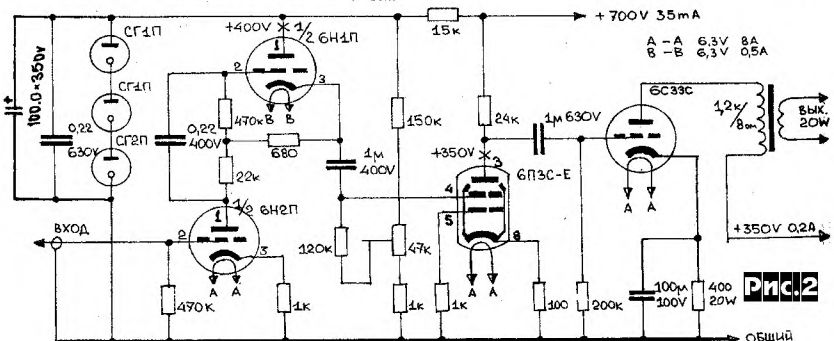
- пульсации питающих напряжений практически без ослабления передаются в нагрузку, что выдвигает довольно жесткие требования к качеству (читай - габаритам и стоимости) выпрямителей. Эти требования еще более возрастают в связи с тем, что в SE усилителях через источник питания проходит ток основной частоты (сигнала), и если не предпринять соответствующих мер, то паразитная межкаскадная связь по питанию может нарушить устойчивость усилителя в целом.

Таким образом, неплохая вроде бы идея обростает на практике подводными камнями, поэтому даже у дорогих SE уси-

лителей выходная мощность редко достигает 10 Вт (следствие очень низкого КПД - 10-20%), а звучание НЧ характеризуется «рыхлостью» и отсутствием настоящей динамики. Значительный уровень четных гармоник способен превратить «прозрачность» в «стеклянность», а ламповую «теплоту» - в «аморфную вялость». Итого от SE-оптимизма остается, пожалуй, только одна привлекательная черта - отсутствие необходимости подбора ламп выходного каскада «по парам».

Пример практической схемы SE усилителя мощностью 3 Вт показана на **рис. 1** (В.Большов). Выходной трансформатор выполнен на магнитопроводе Ш16х16, первичная обмотка содержит 3500 витков ПЭЛ 0,15, а вторичная 165 витков (нагрузка 4 Ом; для 8 Ом число витков больше на 41%) ПЭЛ 0,64. Цепь частотнозависимой ООС С10R14С9R13 и пассивные регуляторы тембра ВЧ (R4C2) и НЧ (С1R2) обеспечивают диапазон регулировок ±14 дБ на частоте 10 кГц и ±16 дБ на 100 Гц. Коэффициент гармоник при номинальной мощности не более 1,5%, чувствительность - 100 мВ.

Схема SE на «аудиофильской» лампе 6С33С, отличающейся большой мощностью анода, высокой линейностью характеристик и низким внутренним сопротивлением, показана на **рис. 2** (Д. Андронников). УНЧ обеспечивает очень большую



для однотактных устройств мощность - 20 Вт. Из-за значительного (200 В) требуемого напряжения раскачки драйвер на 6ПЗС и входные каскады запитаны от отдельного маломощного, но высоковольтного источника.

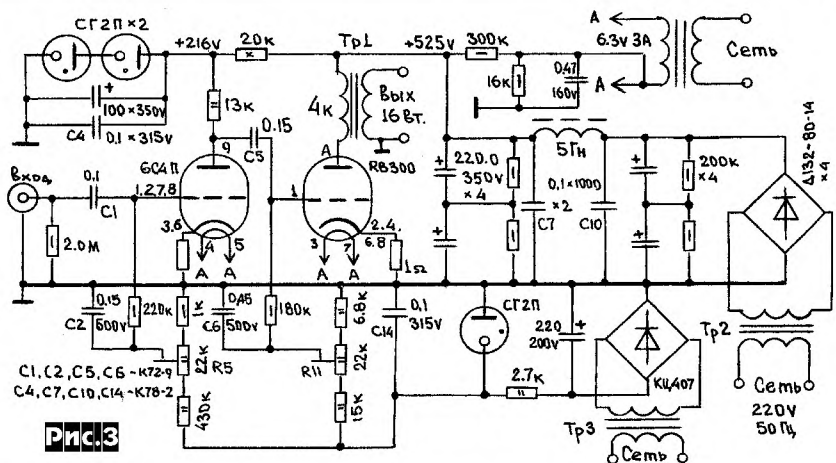
SE на мощном модуляторном (ранее сугубо военном, а ныне доступном и для простых смертных на Санкт-Петербургском ПО «Светлана») триоде RB300-CX, имеющем высокую крутизну (25 мА/В), большое анодное напряжение (2200 В) и мощность (300 Вт с обдувом, 30 без), а также низкое внутреннее сопротивление (500 Ом) разработана Д. Андронниковым (рис. 3). Выходной трансформатор Tr1 имеет коэффициент трансформации 22,6, таким образом при сопротивлении нагрузки 8 Ом анод лампы нагружен на эквивалентное сопротивление 4,08 кОм. Благодаря применению во входном каскаде лампы 6С4П, нелинейность характеристик которой близка к нелинейности RB300-CX, а также применению регулируемого фиксированного смещения на сетки обеих ламп, в данной схеме удалось реализовать принцип частичной компенсации квадратичной нелинейности выходной лампы нелинейностью входной. Суть его в том, что входная и выходная лампы работают в «противофазе», поэтому фазы четных гармоник, генерируемых этими каскадами, оказываются противоположными и частично компенсируются. В результате без применения ООС коэффициент гармоник этого УНЧ удается снизить до 2% (при этом собственно RB300-CX дает примерно 6%). Номинальный диапазон частот усилителя 45Гц-45кГц, чувствительность 0,7 В, выходное сопротивление 1,6 Ом.

**РР.** Двухтактные трансформаторные выходные каскады не случайно наиболее распространены в ламповых УНЧ. Благодаря встречному протеканию равных постоянных токов анода в двух половинках первичной обмотки постоянное подмагничивание магнитопровода отсутствует, а пульсации питающих напряжений компенсируются. Кроме того, благодаря противофазной раскачке ламп верхнего и нижнего плеча обеспечивается компенсация четных гармоник.

То есть в РР усилителях схемотехнически устранены основные ограничения SE усилителей, что на практике выражается меньшими искажениями, более широкой полосой частот, меньшим уровнем шумов и помех - более мощным и выразительным звучанием. Но, к сожалению, все это только в том случае, если:

- лампы выходного каскада специально отобраны по параметрам
- число витков, индуктивность и активное сопротивление половинок первичной обмотки идеально совпадают
- фазоинверсный каскад обеспечивает точное равенство амплитуд и противоположность фазы напряжений, подаваемых на управляющие сетки выходных ламп.

На практике подобрать две одинаковые (с отличием вольтамперных характеристик в рабочем диапазоне токов и напряжений порядка 1%) лампы невозмож-



но, приемлемую симметрию полуобмоток выходного трансформатора удается получить только применяя специальные технологические приемы (многосекционная намотка), а для обеспечения противофазной раскачки приходится вводить ряд подстроечных элементов. Другими словами, изготовление и налаживание РР усилителей - дело трудоемкое и довольно тонкое: небольшая небрежность или надежда на «авось пронесет» почти всегда заканчиваются разочарованием.

Попарный отбор ламп лучше всего производить на специальном оборудовании, например тестером Теодора Аргирiadиса, схема которого опубликована в февральском номере «РХ» на с.10 (рис.12). В крайнем случае можно применить простейший пробник с двумя миллиамперметрами в анодных цепях сравниваемых ламп, все остальные электроды которых соединены параллельно и подключены к источникам номинальных питающих напряжений, а на управляющие сетки подается постоянное напряжение с движка резистора делителя напряжения.

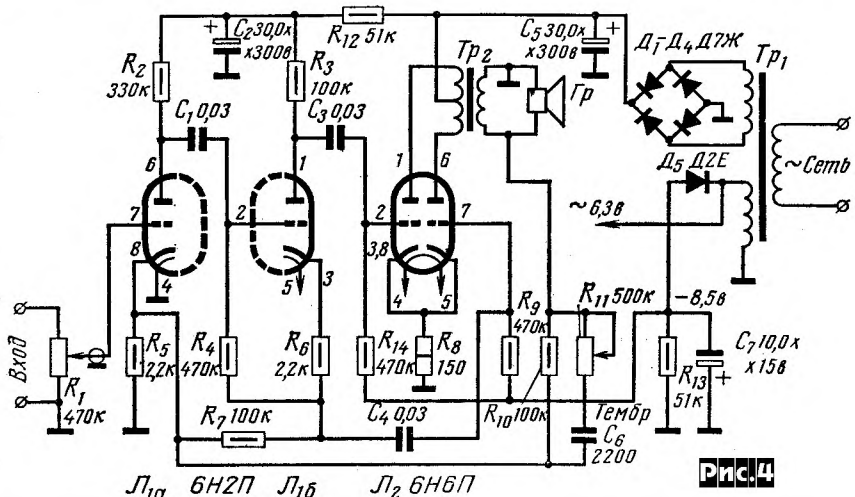
Изменяя напряжение на сетках от 0 до полностью запирающего, сравнивают анодные токи, которые не должны отличаться более, чем на несколько процентов.

Одно из решений, избавляющих от головной боли при подборе пар ламп - применить на выходе двойной триод - (рис.4 (Е.Зельдин), правда особой мощ-

ностью при этом похвалиться не удастся. В данном случае выходная мощность составляет 3,5 Вт при нелинейных искажениях 4% (ООС отсутствует) и АЧХ от 40 до 15000 Гц. Выходной трансформатор собран на магнитопроводе Ш12х20, первичная содержит 2300 витков ПЭВ 0,12, вторичная - 74 витка ПЭЛ 0,74.

Выходной трансформатор является самым нелинейным звеном лампового УНЧ и от его качества в решающей степени зависит качество усилителя в целом. Недаром говорят, что ламповый усилитель звучит так, как звучит его трансформатор. Остановимся поэтому несколько подробнее на расчете и конструкции трансформатора для двухтактного выходного каскада (расчет других звеньев и каскадов усилителей выполняется по общим для радиотехники законам Ома и Кирхгофа и поэтому здесь не рассматривается).

До и для расчета трансформатора необходимо знать тип ламп выходного каскада и выходную мощность усилителя Rвых. Для наиболее распространенного (в силу наименьших искажений и высокой энергетической эффективности) режима класса АВ можно с приемлемой точностью считать, что рассеиваемая на аноде мощность лампы равна мощности, отдаваемой этой лампой, т.е. Ра.доп = Rвых.л. Тогда, зная выходную мощность усилителя и приняв ориентировочный КПД выходного трансформатора ηтр= 0,85, можно выбрать тип (исходя из



# AUDIO HI-FI

Ра.доп) и количество (m) ламп выходного каскада

$$Ra_{доп} = R_{вых} / (2m \eta_{тр})$$

Выбрав тип лампы, из справочных данных необходимо определить ее внутреннее сопротивление  $R_i$ . Если этот параметр прямо не указан, его можно вычислить как  $R_i = \mu / S$ , где  $\mu$  - коэффициент усиления лампы,  $S$  - крутизна ее характеристики [mA/V] в рабочей точке.  $R_i$  можно определить и по нагрузочной прямой (динамической характеристике) на семействе анодных характеристик лампы как  $R_i = 2U_{ам} / (m I_{ам})$ , где  $U_{ам}$  - амплитуда анодного напряжения (для прикидочных расчетов можно принять  $U_{ам} = U_{a.макс} - 50$ ),  $I_{ам}$  - амплитуда анодного тока.

Оптимальное эквивалентное сопротивление между анодами ламп выходного каскада, обеспечивающее передачу в нагрузку максимальной мощности

$$Ra_{опт} = 2R_i$$

Индуктивность первичной обмотки, при которой завал АЧХ на частоте  $f_n$  не превысит 3 дБ

$$L1 = Ra_{опт} / (2 \pi f_n)$$

а коэффициент трансформации

$$n = W2/W1 = \sqrt{\frac{R_{нагр}}{Ra_{опт} \cdot \eta_{тр}}}$$

По этим данным можно выполнить приближенный конструктивный расчет выходного трансформатора.

Поперечное сечение магнитопровода

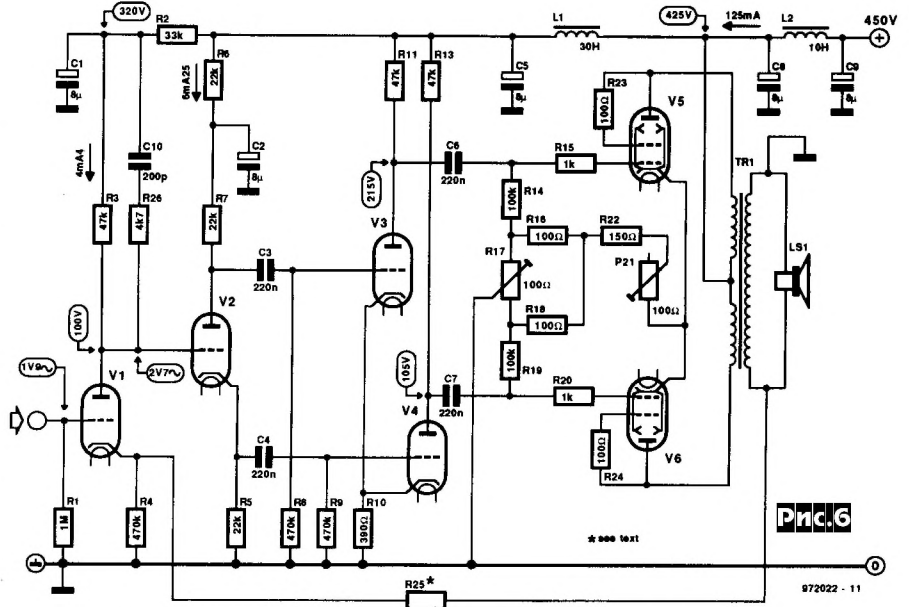
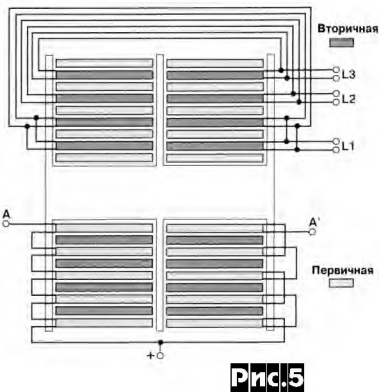
$$S = 0,4 P_{вых} / \eta_{тр} \quad [см^2]$$

Число витков первичной обмотки

$$W1 = 550 \sqrt{L1 \cdot \mu_{ср} / S}$$

где  $\mu_{ср}$  - средняя длина силовой линии магнитного поля (параметр магнитопровода), вторичной

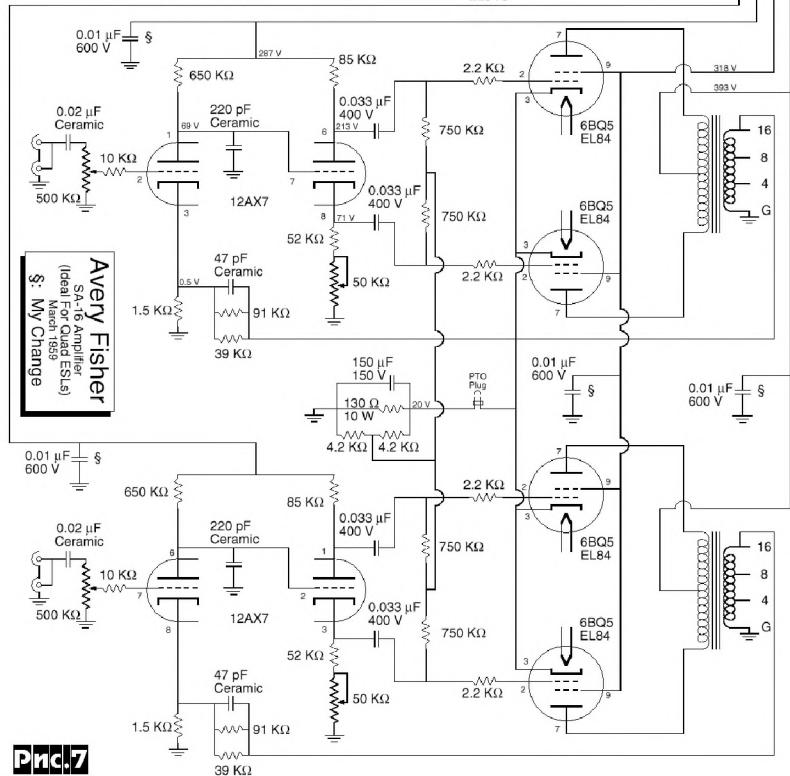
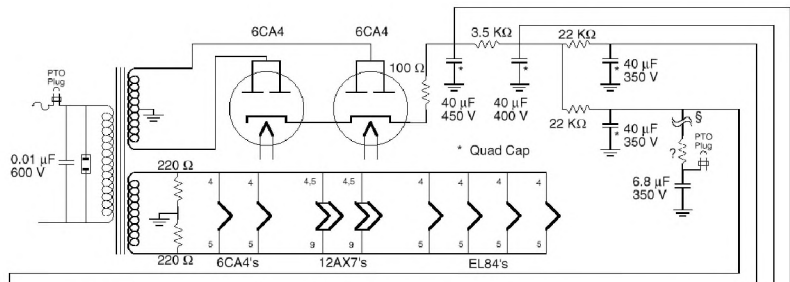
$$W2 = n W1$$



Понятно, что все расчеты носят прикидочный характер и для достижения высоких характеристик усилителя требуют корректировки. При единичном изготовлении целесообразно делать обмотки с дополнительными отводами (скажем, через 5% от полного числа витков) для обеспечения возможности оперативного под-

бора при налаживании.

Конкретное конструктивное исполнение трансформатора для высококачественного УНЧ призвано обеспечить индуктивность первичной обмотки не ниже заданной при идеальной симметрии ее половинок, минимуме паразитной индуктивности рассеивания (она ограничива-





QUAD II POWER AMPLIFIER

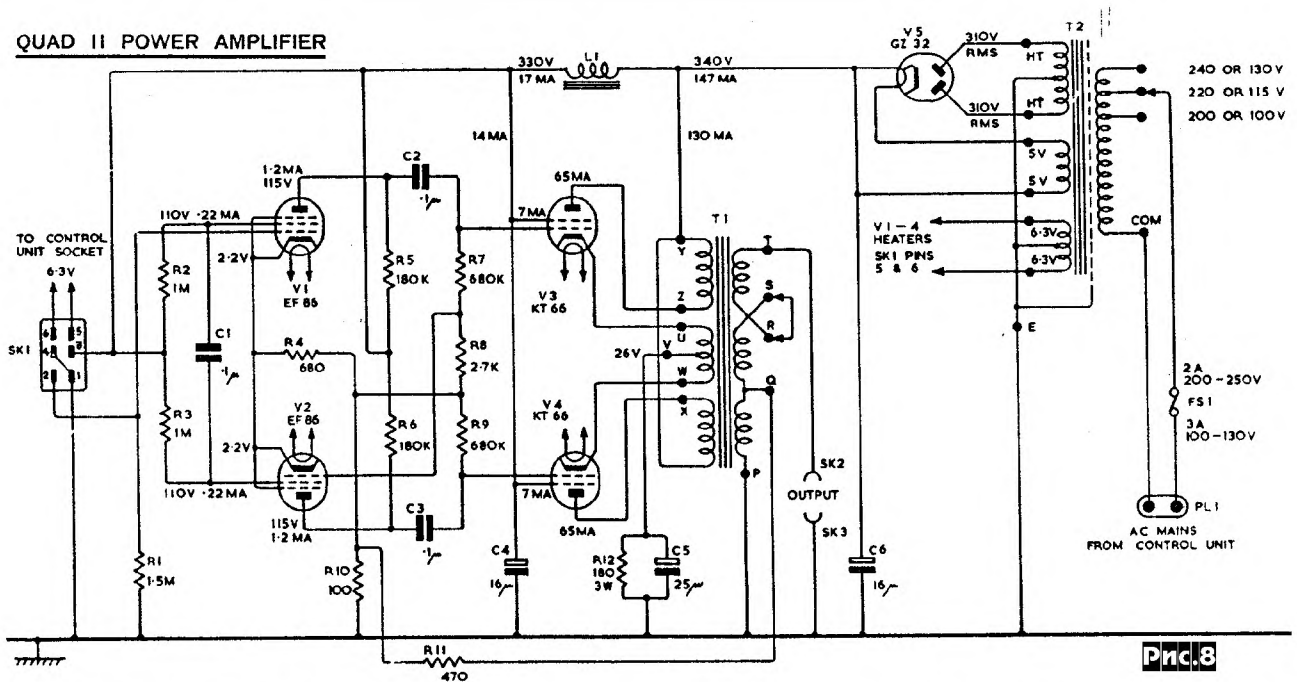


Рис.8

ет АЧХ на ВЧ) и активного сопротивления обмоток, а также неперевышения магнитным потоком предельного (обычно порядка 0,5 Тл) значения, выше которого магнитопровод будет вносить недопустимо большие нелинейные искажения. Выполнение всех этих требований - искусство на грани Страдивари, поэтому приведем лишь краткие рекомендации, позволяющие избежать грубых ошибок.

Прежде всего нужно учесть, что пластины толщиной 0,5 мм совершенно непригодны, а толщиной 0,35 мм - нежелательны. Лучше, если толщина пластин будет 0,2 мм, что минимизирует потери на вихревые токи (существенные на ВЧ). Каждую пластину индивидуально надо покрыть цапонлаком или иным изоляционным лаком, предварительно тщательно зачистив неровности. При намотке особое внимание следует уделять полной симметрии половинок первички (не только числа витков, но и длины провода и симметрии относительно магнитопровода), для чего целесообразно применять трехсекционный каркас, крайние секции которого отводятся под половинки первичной, а средняя - под вторичную обмотку. Для минимизации индуктивности рассеивания часто вторичную обмотку также секционируют, располагая несколько частей вторички между подсекциями первичек по типу слоеного пирога или гамбургера (рис.5). После намотки и сборки пропитайте весь трансформатор парафином, воском или стеарином.

Схемные решения фазоинверсных каскадов двухтактных ламповых УНЧ - наиболее варьированная их часть. Чаще всего применяют фазоинверторы с разделенной нагрузкой (реализация требует всего один триод, но неравенство выходных сопротивлений со стороны анода и катода заметно нарушают симметрию противофазных напряжений), самобалансирующийся фазоинвертор (требуется два триода, но каскад одновременно дает

усиление по напряжению) и парафазный фазоинвертор (это по сути дифференциальный усилитель с одним заземленным по переменному напряжению входу; как и самобалансирующийся, требует два триода, но обеспечивает усиление). Споры о преимуществах каждой из схем вряд ли уместны с учетом того, что для компенсации разбаланса полубомоток выходного трансформатора и пар выходных ламп в высококачественных УНЧ все равно, как правило, предусмотрены подстроечники, слегка асимметрирующие фазоинвертор и позволяющие минимизировать уровень гармоник на выходе УНЧ при налаживании непосредственно по спектру, наблюдаемому в реальном времени на спектроанализаторе.

На рис.6 показана схема УНЧ Вильямсона, ставшая классической. Фазоинвертор с разделенной нагрузкой выполнен на V2, собственно разделенную нагрузку образуют R7 и R5. В этой схеме балансировка по минимуму искажений выполняется не в фазоинверторе, а в следующем каскаде (R17). Без ООС (R25 разорван) усилитель обеспечивает выходную мощность 15 Вт в полосе от 50 Гц до 20 кГц при коэффициенте гармоник около 1% и чувствительности 200 мВ. При рекомендуемой глубине ООС 12 дБ чувствительность падает до 0,8 В, коэффициент гармоник снижается до 0,3%, а полоса частот расширяется до 30...40000 Гц. В качестве V1-V4 применены 6SN7 (6N8C), а на выходе - EL34 (6П27С). Выходной трансформатор намотан на магнитопроводе английского формата E-1 150 N (высота 150 мм), размещение его обмоток показано на рис.5 - каждая из половинок первичной обмотки содержит по четыре слоя провода диаметром 0,3 мм по 88 витков в каждом. Между слоями первичной размещены слои вторичной - в каждом по 29 витков провода диаметром 1 мм. Слои вторичной обмотки могут быть соединены как параллельно

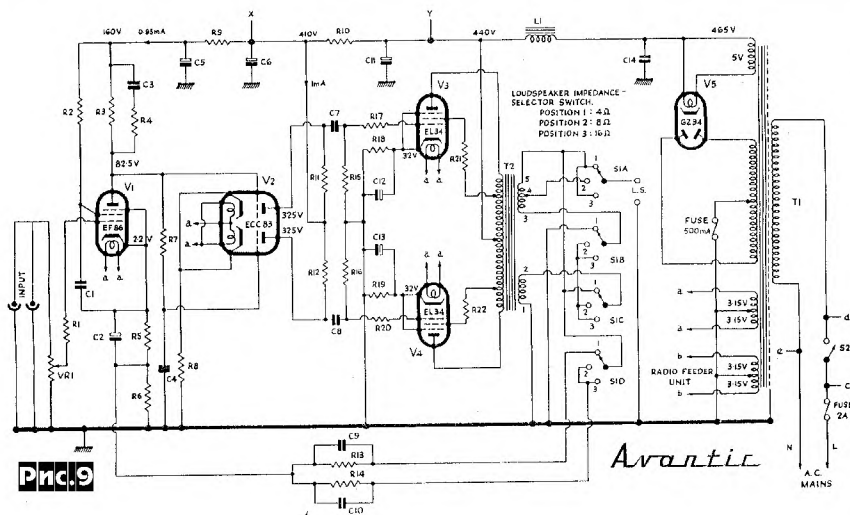
(1,7 Ом), так и последовательно (110 Ом) для нагрузки с практически любым сопротивлением. Индуктивность первичной обмотки 100 Гн, активное сопротивление 250 Ом, индуктивность рассеивания 22 мГн.

Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой и подстройкой симметрии в цепи катода применен в усилителе Avery Fisher SA-16 (рис.7). Он выполнен на правом по схеме триоде 12AX7, а собственно регулировка выполняется подстроечным резистором 50 кОм.

Типичный представитель УНЧ с самобалансирующимся фазоинвертором - QUAD II (рис.8). Верхний левый по схеме пентод V1 - по сути обычный усилитель с нагрузкой R5, а собственно инверсию выполняет нижний левый пентод V2 с нагрузкой R6, управляющая сетка которого соединена как с сеткой первой выходной лампы V3 (через R7), так и с сеткой второй V4 (через R9, R8). В современной схемотехнике такие схемы называют инвертирующим повторителем напряжения, ведь лампа по схеме с общим катодом по сути и есть операционный усилитель (сетка лампы - инвертирующий вход ОУ). Коэффициент передачи такого ОУ равен  $K_u = -(R8+R9)/R7$ , а поскольку  $R9=R7$ , небольшой довесок R8 компенсирует неидеальность (небесконечность коэффициента усиления) лампы. Из других особенностей QUAD II стоит отметить довольно глубокую общую ООС (R11R10), а также применение автоматического смещения (R12C5) и местной ООС, подаваемой с отдельной обмотки выходного трансформатора в катоды V3, V4.

Парафазный фазоинверсный каскад сегодня можно назвать дифференциальным усилителем с заземленным (по переменному току) одним из входов. На рис.9 показана схема УНЧ Avantic с таким каскадом (лампа V2) без подстройки, а на рис.10 - УНЧ Grommes 260A также с вторым парафазным каскадом и ре-



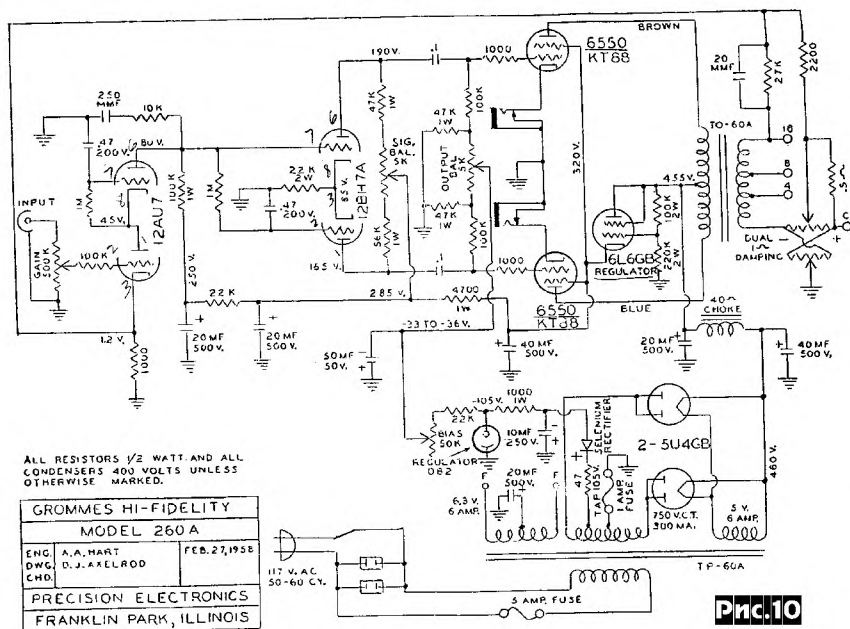


гуляторами симметрии как в анодных цепях фазоинвертора, так и в сеточных выходного каскада. В современных схемах для фазорасщепления и одновременно приложения общей ООС применяются и «чистые» дифференциальные каскады, которые, кажется, только что перепрыгнули из до боли знакомых популярных транзисторных УНЧ (рис. 11, входной каскад на ECC83).

Обзор фазоинверсных ухищрений будет неполным, если не упомянуть еще одно течение истинных борцов за чистоту звука. На рис. 12 показана схема «лампового УНЧ на трансформаторах», наглядно представляющего одну из High-Endовских философий «чем меньше элементов, тем меньше искажений».

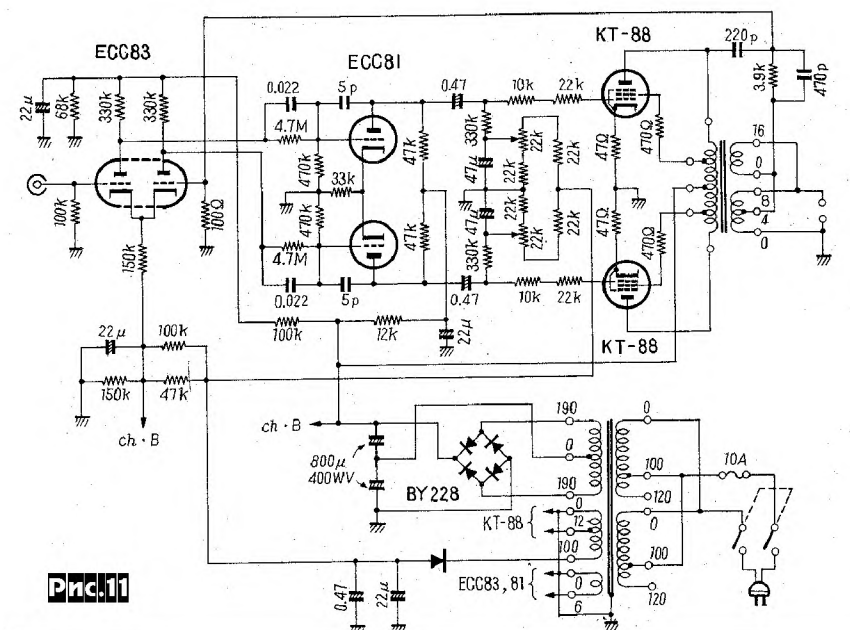
Как уже отмечалось, невыразительное звучание ламповых SE усилителей в НЧ части спектра, обусловленное ограничениями выходного трансформатора, хоть и в меньшей степени, но касается и PP усилителей. Решая проблему «в лоб», некоторые изготовители High-End техники применяют параллельное включение до десятка ламп (этим достигается снижение во столько же раз эквивалентного внутреннего сопротивления  $R_i$ ), а также трансформаторы немалых габаритов и массы. Более смелые разработчики пытаются применить эффективные схемные решения. Примером последнего является многополосные УНЧ, НЧ и ВЧ трансформаторы (рис. 13, радиолы «Латвия») или даже раздельные каналы усиления (рис. 14, В.Мошак) которых оптимизированы для соответствующей полосы частот. В схеме рис. 13 ВЧ выходной трансформатор Tr1 выполнен на магнитопроводе Ш9х12, первичная 2000 ПЭЛ 0,12, вторичная 23 ПЭЛ 0,51, НЧ Tr2 - на Ш16х24, обмотка I - 2900, II - 90, III - 580 витков ПЭЛ 0,12, обмотка IV - 40 витков ПЭЛ 0,8. В усилителе рис. 14 Tr1 на магнитопроводе Ш22х30 с первичной 1140+860+860+1140 ПЭЛ 0,16, вторичная 140 витков ПЭЛ 0,64. Tr2 - Ш16х30 с зазором 0,1 мм, первичная 1000 ПЭЛ 0,18, вторичная 20+30 ПЭЛ 0,59.

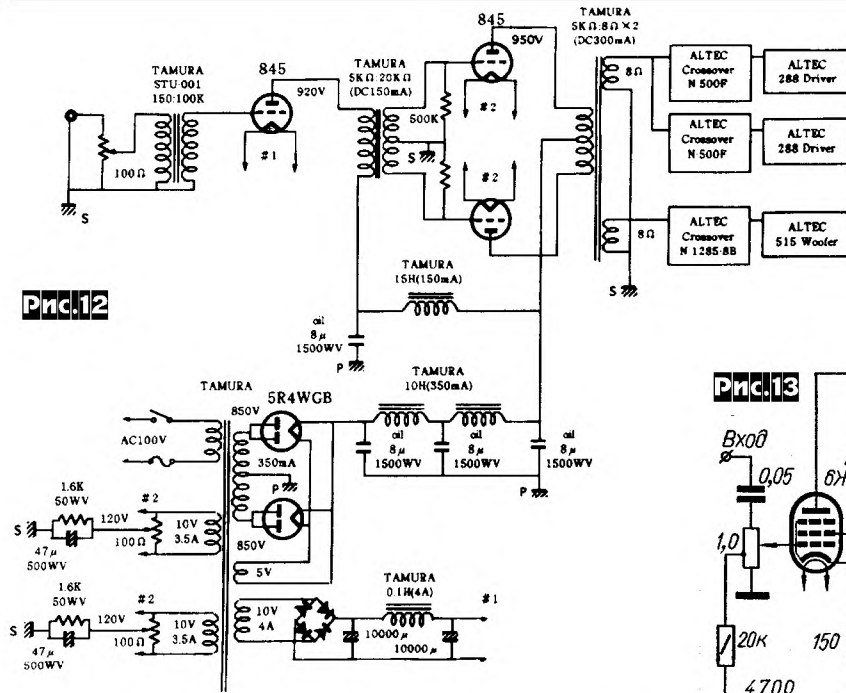
Еще более интересна находка Джеффа Маколэя - одно из редких схемотехнических решений ламповой аудиотехники, разработанное в наши дни (подавляющее большинство остальных «современных» ламповых УНЧ выполнены по схемам, заимствованным из 60-х, 50-х и даже 40-х годов). Остановимся на ней подробнее. На рис. 15 показана эквивалентная схема выходного трансформаторного каскада для НЧ, а на рис. 16 - для ВЧ. Здесь  $R_p$  - внутреннее сопротивление источника (лампы -Ri),  $R_w$  - сопротивление первичной обмотки,  $L_o$  - индуктивность первичной обмотки,  $R_l$  - приведенное к первичной обмотке сопротивление нагрузки,  $L_k$  - индуктивность рассеивания,  $C$  - эквивалентная емкость обмотки. Учитывая, что  $R_p$  обычно намного больше  $R_w$ , легко убедиться, что снижение внутреннего сопротивления лампы улучшает АЧХ как на НЧ (частота среза здесь  $f_n = R_p / (2\pi L_o)$ ), для упрощения приведенное сопротивление нагрузки опустим), так и на ВЧ (грубо  $f_v = 1 / (2\pi R_p C)$ ), также для упро-



ALL RESISTORS 1/2 WATT AND ALL CONDENSERS 400 VOLTS UNLESS OTHERWISE MARKED.

GROMMES HI-FIDELITY	
MODEL 260 A	
ENG. A.A. HART	FEB. 27, 1958
DWG. D.J. ARELROD	
CHKD. CHD.	
PRECISION ELECTRONICS	
FRANKLIN PARK, ILLINOIS	



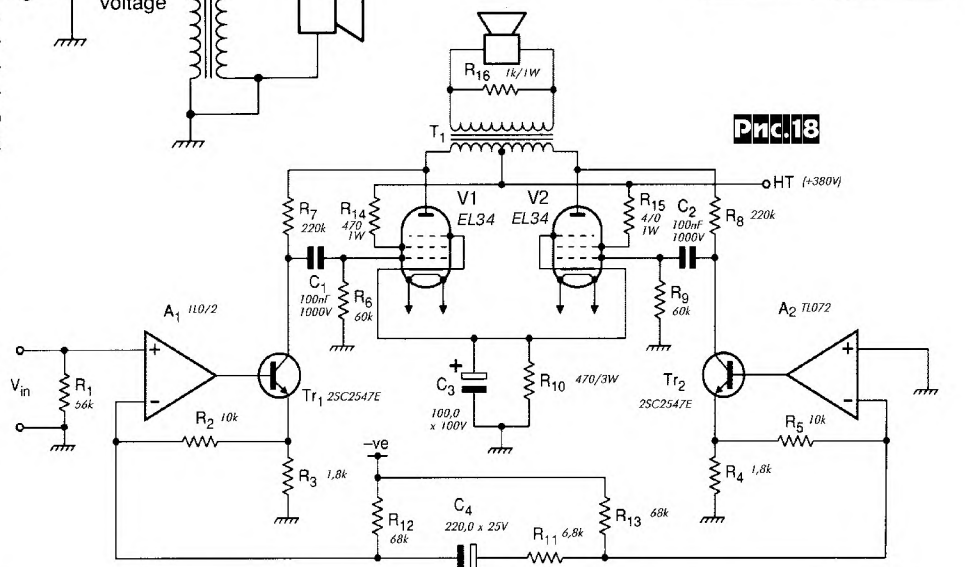
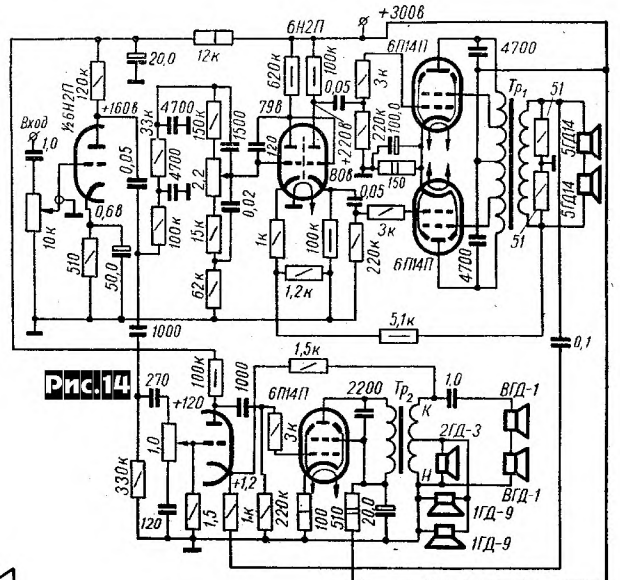
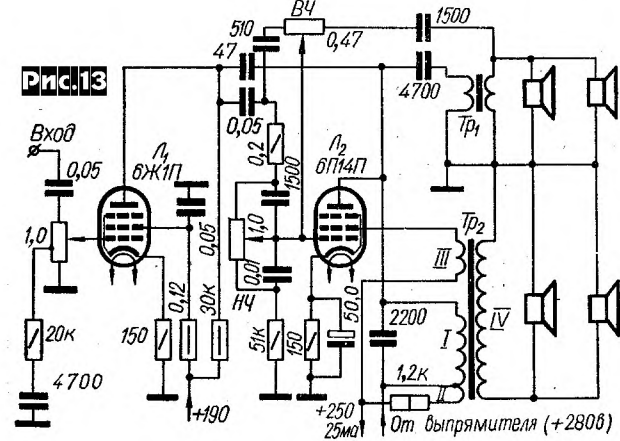
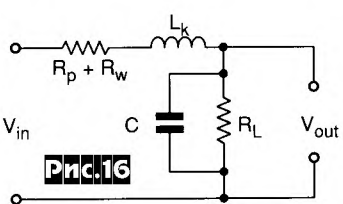
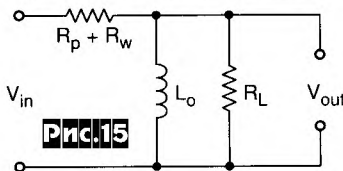
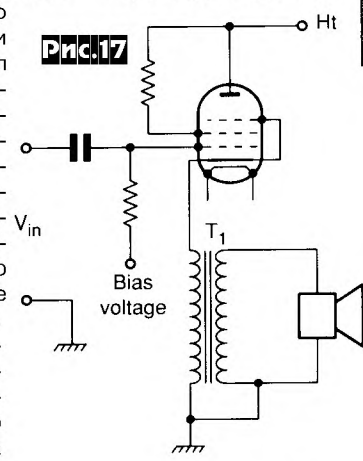


для ламповых каскадов формируют управляемые напряжением источники тока на ОУ А1, А2 и транзисторах Tr1, Tr2, нагруженные на «виртуальную землю» - токовые входы V1R7 и V2R8 и поэтому принципиально не искажающие сигнал.

К сожалению, при перепечатке данной схемы в журнале «Радиоаматор» №1/96 (с.20) и дальнейшей перепечатке уже из «Радиоаматора» в «Радио» №10/97 (с.58) был неправильно указан тип ламп

щения опуская нагрузку). Для снижения  $R_p$  обычно загоняют лампу в режим с максимальным током анода и небольшим анодным напряжением или применяют параллельное включение однотипных ламп (это «лобовые» решения), или используют вместо схемы с общим катодом катодный повторитель (т.е. местную 100%-ную ООС, снижающую эквивалентное внутреннее сопротивление лампы, **рис. 17**). Но такое решение требует очень большого раскачивающего напряжения на управляющей сетке, которое вдвое превышает анодное  $H_t$ ). Джефф решил проблему нестандартно и очень красиво (**рис. 18**) - включил лампу как управляемый ток

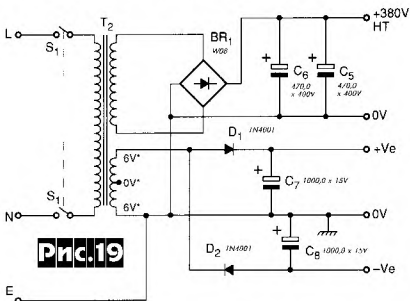
вторичной обмотке пропорционально скорости изменения магнитного потока, а последний в трансформаторе с нелинейным ферромагнитным магнитопроводом тем ближе к входному напряжению, чем меньше внутреннее сопротивление источника, питающего первичку). Входной ток



# AUDIO HI-FI

EL84 (6П14П), а надо EL34 (6П27С) - вдвое мощнее и с меньшим  $R_i$ , поэтому попытки повторения этого УНЧ на 6П14П просто не могли подтвердить заявленные автором характеристики - беспрецедентную для ламповых УНЧ полосу частот от 5 (!) Гц до 55 кГц при выходной мощности 32 Вт и коэффициенте гармоник 0,07%. Выходное сопротивление 0,6 Ом, достигнутое без общей ООС, также недостижимо для подавляющего большинства других ламповых УНЧ. Детальный анализ схемы выявил также оплошность и самого автора - Джеффа Маколяя: соединение инвертирующих входов ОУ А1 и А2 через резистор R11 (очень похожее на схемотехнику мостовых транзисторных УНЧ), на поверку не обеспечивает равенства амплитуд противофазной раскачки. Действительно, применив принцип виртуального замыкания входов ОУ, можно определить, что коэффициент передачи входного сигнала в эмиттеры транзисторов для каскада на А1Tr1 равен  $K_{u1} = 1 + R_2/R_{11} = 2,47$ , а для каскада А2Tr2  $K_{u2} = -R_5/R_{11} = -1,47$ . Как говорится, налицо асимметрия на 68%. Для ее устранения достаточно увеличить сопротивление R5 до 16,8 кОм (включить последовательно 10 кОм и 6,8 кОм) с одновременным увеличением до 110 кОм сопротивления резистора R13, совместно с R12 задающего режим генераторов Tr1, Tr2 по постоянному току.

Для тех, кто решил повторить эту схему, приводим схему блока питания (рис. 19). Анодная обмотка T2 должна быть рассчитана на напряжение 280 В (700 мА), а питание ОУ осуществляется от накальной обмотки (2x6 В, 4А) через простейшие выпрямители. Выходной



трансформатор T1 должен иметь индуктивность первичной обмотки 8 Гн, коэффициент трансформации 20:1 и индуктивность рассеивания не более 10 мГн. Допуск на все резисторы - 1%. Мы также рекомендуем вместо C4 и R11 установить два резистора по 3,3 кОм, в общую точку которых подключить нижний по схеме вывод R12, а R13 из схемы исключить.

**OTL.** Как говорил один из сильных мира сего, «нет человека - нет проблемы». Приверженцы бестрансформаторных решений столь же категоричны - уж если звучание усилителя определяется качеством его выходного трансформатора, то, устранив последний, преодолеем последний рубеж на пути к идеальному звуку! Но... реалии и здесь приземляют необузданный полет фантазий. Основное противоречие состоит в том, что лампы - относительно высоковольтные и слаботочные (следовательно, по закону Ома -

высокоомные) устройства, в то время как акустические системы (АС) - низковольтные, сильноточные и потому низкоомные (за исключением электростатических АС - вот где «идеальная пара» для ламповых ОТЛ!). Поскольку типовое  $R_i$  пентодов и лучевых тетродов составляет десятки кОм, триодов - единицы кОм, и только у специализированных ламп типа 6С33С  $R_i = 100$  Ом, их непосредственное подключение к 8-омной нагрузке хоть принципиально и даст звук, но КПД будет настолько мизерным (даже для 6С33С всего  $8/(100+8) \times 100\% = 7\%$ , а для других ламп - доли процента), что более правильным будет назвать такой агрегат не усилителем, а калорифером. Да и звук вряд ли устроит меломана - питание АС генератором тока, а не напряжения резко подчеркнет всевозможные электроакустические резонансы и нарушит нормальную работу разделительных фильтров. Попытки решить проблему с другого конца - увеличением сопротивления АС с электродинамическими головками предпринимались еще в 40-х годах и без особого успеха - создать качественный высокоомный динамик оказалось не проще, чем низкоомную лампу. Оставим поэтому в стороне технологию и рассмотрим, что нам предлагает схемотехника.

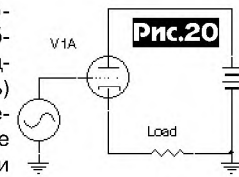
**SE OTL** на катодном повторителе (рис. 20). Его выходное сопротивление  $R_{вых} = R_i / (1 + \mu)$ , где  $\mu$  - коэффициент усиления лампы. Из трех возможных схем включения (общий катод, общая сетка и общий анод-катодный повторитель) такая схема имеет наименьшее сопротивление и в принципе может быть применена в SE усилителях, однако проблемы с протеканием через нагрузку постоянного тока и крайне малая выходная мощность являются преградой для ее широкого распространения.

**PP OTL.** В 1951 г. Флетчер и Кук продемонстрировали двухтактный бестрансформаторный УНЧ на восьми лампах 6А57G (6Н13С), который генерировал 6,32 Вт на нагрузку 16 Ом. Проблема с постоянным током через нагрузку вроде решена, но выходное сопротивление та-

кого решения (рис. 21)  $R_{вых} = 2R_i / (1 + \mu)$  вдвое больше, чем в однокатодном SE варианте, поскольку с точки зрения нагрузки обе лампы включены последовательно. Это означает, что при использовании четырех 6С33С выходное сопротивление не удастся снизить менее 27 Ом. Кроме того, режим ламп может быть только в классе А, что практически исключает возможность получения значительной выходной мощности.

**SEPP OTL.** В том же 1951-м Петерсон и Синклер предложили схему асимметричного двухтактного каскада, названного Single-Ended Push-Pull (рис. 22), который впоследствии нашел широкое применение в транзисторной технике. Но это в транзисторной технике, которые бывают двух типов проводимости. Поскольку «позитронных» ламп, complementарных обычным электронным, не бывает, то в ламповой технике такой каскад в силу явной асимметрии выходных сопротивлений верхнего и нижнего плеча, а также сложности получения напряжений раскачки, в чистом виде широкого распространения не получил, хотя попытки коммерческого применения и были (рис. 23, SEPP OTL с выходом на 600 Ом).

**Futterman OTL.** В 1954 самоучка из Нью-Йорка Юлий Футтерман предложил схему раскачки SEPP OTL, в которой катодный резистор фазоинвертора был соединен не с землей, а с выходом усилителя (рис. 24). В ней 100%-ная ООС ка-



$$Z_o = \frac{R_p}{1 + \mu}$$

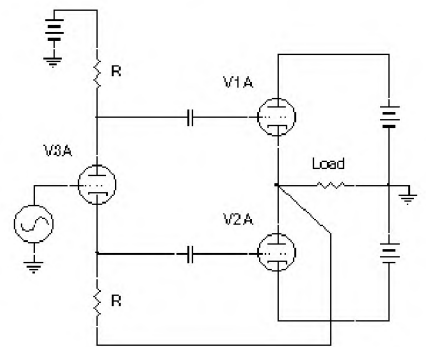


Рис. 24

$$Z_o = \frac{R_p}{2}$$

тодного повторителя (верхнее плечо) компенсировано 100%-ной ПОС через катодный резистор фазоинвертора, поэтому асимметрия выходных сопротивлений верхнего и нижнего плеч устранена, но... на худшем из двух уровней - каскада с общим катодом. То есть эквивалентное выходное сопротивление этой схемы  $R_{вых} = R_i / 2$  (для нагрузки обе лампы включены параллельно). Для нашего примера с четырьмя 6С33С это соотве-

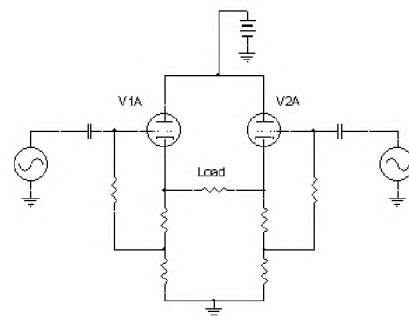
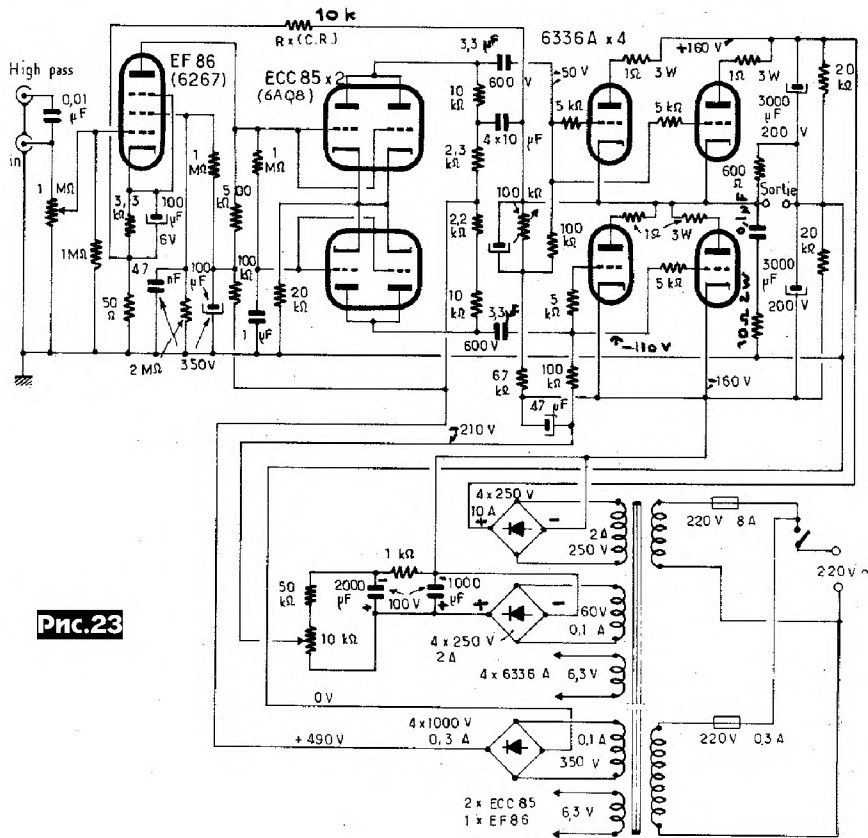


Рис. 21

$$Z_o = \frac{2R_p}{1 + \mu}$$

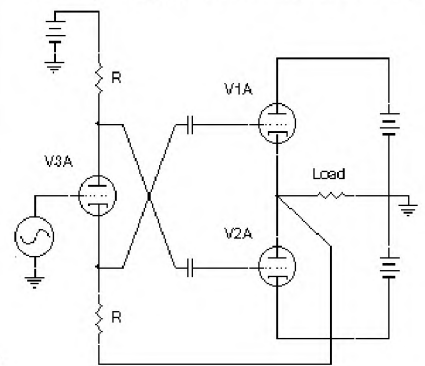




**Рис.23**

стует 25 Ом, т.е. практически как и у PP OTL, но здесь лампы уже могут работать и в режиме АВ, что дает существенный выигрыш по мощности. Современную практическую реализацию Футтермана находим в усилителе Андреа Циуффоли (рис.25).

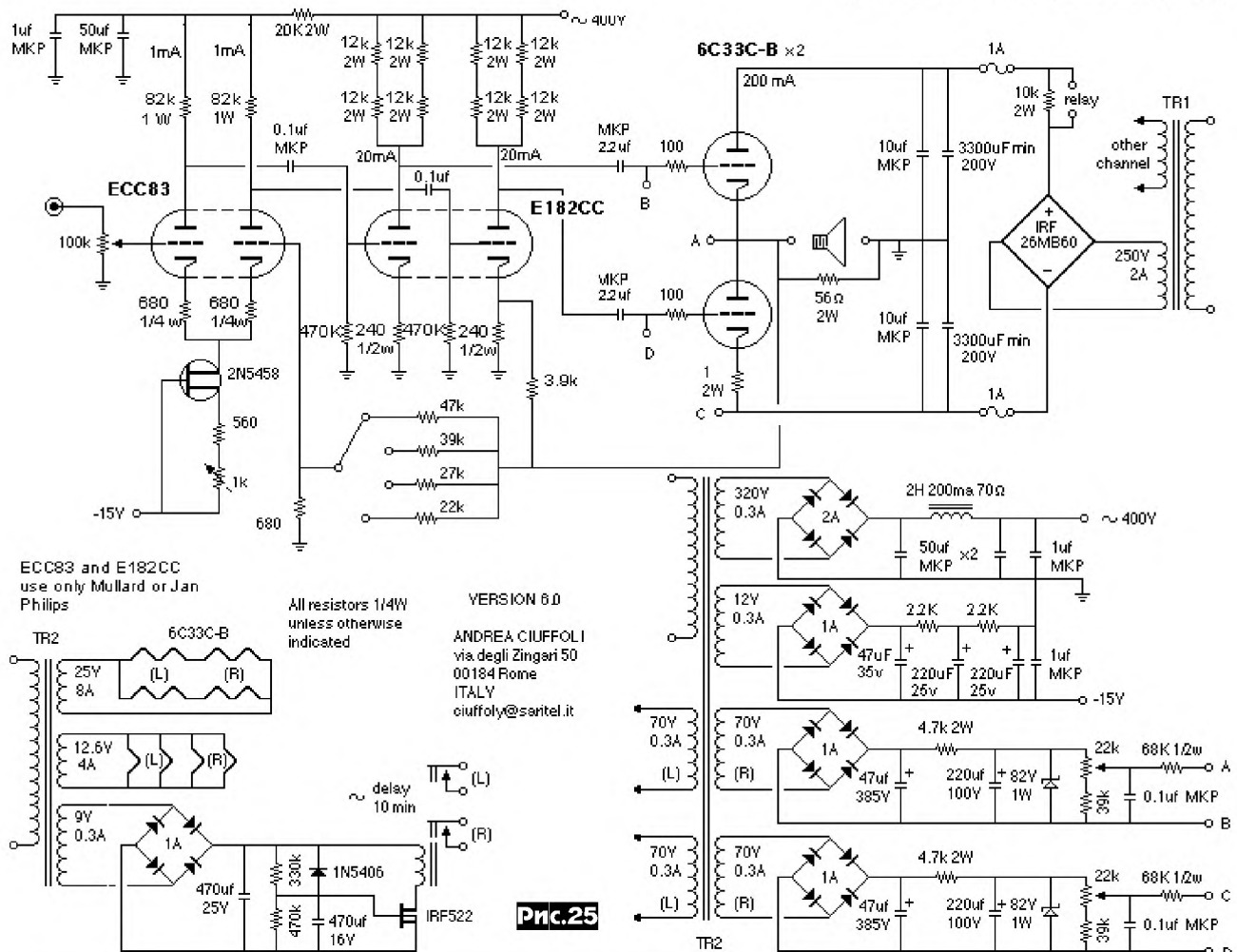
Вариации на тему Futterman OTL. Если в предыдущей схеме поменять мес-



**Рис.26**

$$Z_o = \frac{R_p}{2(1+\mu)}$$

тами управляющие напряжения на сетках ламп (рис.26), то (эврика!) оказывается, что схема преобразуется в настоящую пару повторителей напряжения и выходное сопротивление уменьшается до теоретического минимума  $R_{вых} = R_i / (2 + 2\mu)$ ,



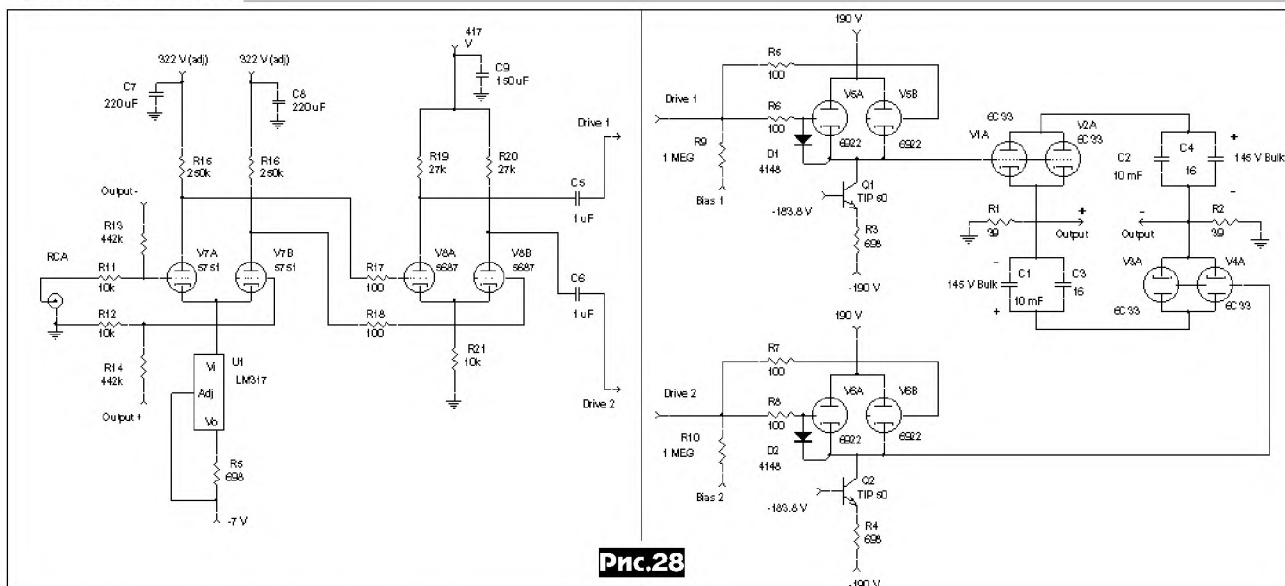
**Рис.25**

ECC83 and E182CC use only Mullard or Jan Philips

All resistors 1/4W unless otherwise indicated

VERSION 6.0

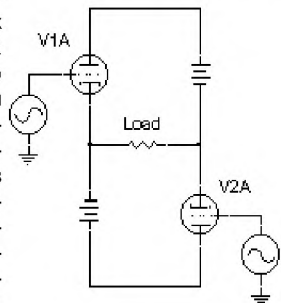
ANDREA CIUFFOLI  
via degli Zingari 50  
00184 Rome  
ITALY  
ciuffoly@satitel.it



**Рис.28**

для нашего примера это 6,8 Ом. Очень близко к тому, что надо.

**CIRCLOTRON OTL.** В 1955 г. фирма Electro-Voice полностью избавилась от врожденного порока SEPP - асимметрии - путем введения плавающего питания и переворота в одном из плеч лампы и источника питания (рис.27). В конце 80-х фирма Atma-Sphere Music Systems вернулась к «хорошо забытому старому» CIRCLOTRONу в своем усилителе MA-1. Выходное сопротивление этой схемы  $R_{вых} = R_l / (2 + \mu)$ , для нашего примера с четырьмя 6С33С это 10,6 Ом, а в Atma-Sphere MA-1, выполненном на 12 параллельных лампах

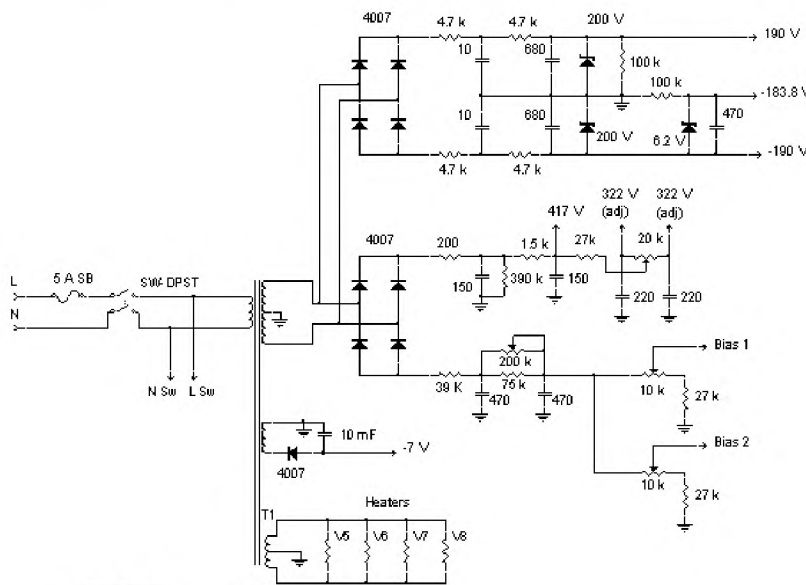


**Рис.27**

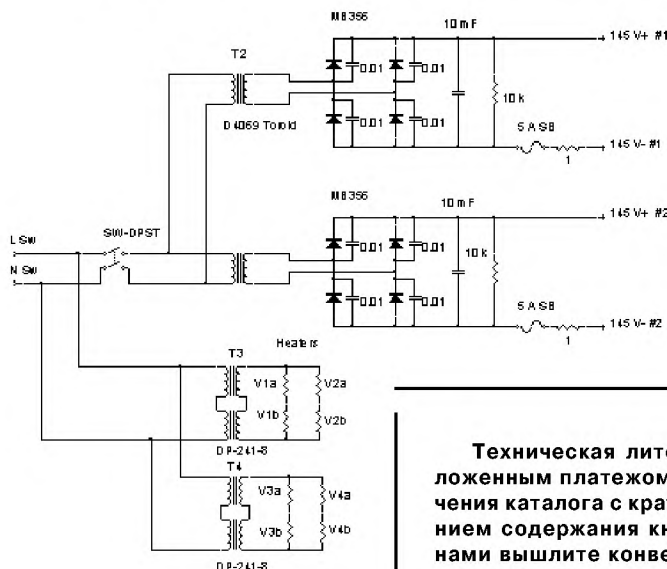
$$Z_o = \frac{R_p}{2 + \mu}$$

типа 6AS7G, это 11 Ом. Для согласования с нагрузкой в этом усилителе применен автотрансформатор, согласующий 11 Ом с нагрузкой в 1, 2, 3 или 4 Ома (поэтому его нельзя считать «чистым» OTL). Преимущество цирклотрона перед схемами Футтермана - высокая степень подавления помех с шин питания, полная симметрия, оба катода находятся под нулевым потенциалом.

«Чистый» OTL CIRCLOTRON применен в современном усилителе COVI MARK II (рис.28). Его выходное сопротивление снижено до менее 1 Ома введением в стандартный цирклотрон неглубокой (около 10 дБ) общей ООС с балансных выходов через резисторы R13, R14 в управляющие сетки лампы входного и по совместительству фазоинверсного каскада V7a, V7b. Еще из схемотехнических «приколов» COVI MARK II мож-



**Рис.29**



Техническая литература наложенным платежом. Для получения каталога с кратким описанием содержания книг и их ценами вышлите конверт с обратным адресом.

286036, г.Винница, а/я 4265

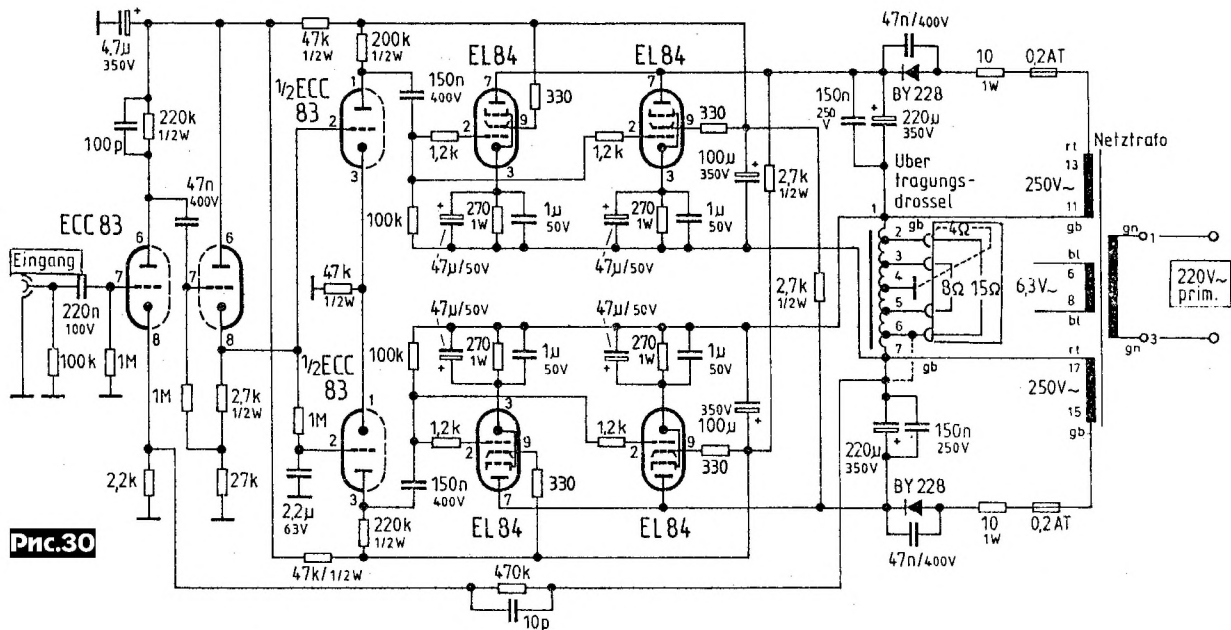


Рис.30

но отметить применение в качестве генераторов тока интегрального стабилизатора U1 и биполярных транзисторов Q1, Q2, а также довольно мощные низкоомные каскады раскочки (V5,V6), позволившие загнать лампы выходного каскада в режим класса AB2 с сеточными токами. Благодаря этому усилитель развивает 100 Вт на нагрузке 4 Ома и 125 Вт на 8 Ом, а амплитуда анодного тока составляет 3,75 А! Схема блоков питания показана на рис.29.

Схемотехника цирклотрона применяется не только в бестрансформаторных УНЧ. На рис.30 показана схема УНЧ мощностью 30 Вт, выходной каскад которого выполнен на квартете EL84 (6П14П) по схеме цирклотрона (который может быть назван параллельным двухтактным - Push-Pull Parallel или PPP) с выходным сопротивлением 800 Ом и согласующим автотрансформатором, позволяющим подключать нагрузку 16 - 8 - 4 Ома. Парафазный каскад выполнен на ECC83 (6Н2П), а общая ООС подается в катод лампы входного каскада. Объективные параметры усилителя очень высоки (для ламповых): полосу частот 10 Гц ... 70 кГц, коэффициент гармоник 0,01%, коэффициент демпфирования 30, отношение сигнал/шум 101 дБА. Соотношение числа витков автотрансформатора: 1-7 относится к 2-6 как 7:1, а к 3-5 как 10:1. Эта схема многократно воспроизведена одним из авторов, причем всегда с неизменным успехом.

В одной статье, разумеется, невозможно охватить абсолютно всю ламповую аудиосхемотехнику, но, надеемся, она будет полезной для тех, кого завораживает оранжевое свечение разогретых катодов...

В связи с тем, что в статье опубликовано много принципиальных схем, в том числе разработанных профессионалами, рубрика «Профессиональная схемотехника» как таковая в этом номере журнала отдельными страницами не выделена.

### FILESERVICE RadioHobby BBS

Не все наши читатели имеют возможность установить себе модем - то ли ввиду отсутствия средств на его покупку, то ли из-за отсутствия телефонной линии. Для помощи в этом случае предназначена служба FILESERVICE, посредством которой **все доступные файлы RadioHobby BBS можно получить на дискете обычной почтой**. Это также альтернативное решение при плохой телефонной связи из вашего населенного пункта и при дальних междугородных звонках, а также если ваши файловые запросы значительно превышают ежедневный 15-минутный лимит времени связи с BBS.

Запись выбранных вами файлов производится на трехдюймовые (5-дюймовые только в виде исключения) brandname (Verbatim, Polaroid или аналогичные) дискеты 1,44 М. Отсылка - ценной бандеролью наложенным платежом (без предоплаты). Стоимость такой услуги включает дискету (1 грн.), поиск, отбор и запись файлов (1,5 грн. за дискету), а также упаковку (50 коп.) и почтовые расходы со страховым сбором (зависят от веса, в среднем



1...1,5 грн. при отсылке в пределах Украины).

Плата за собственно файлы как программное обеспечение не взимается, поскольку все выложенные исполняемые файлы имеют статус freeware или shareware. Заказ отправляйте письмом в адрес редакции: «Прошу выслать следующие файлы <тут перечислите точные имена интересующих вас файлов с обязательным указанием файловых областей, в которых они находятся, а если у вас нет списка файлов BBS, вы можете заказать его, указав вместо имени «список всех файлов»> на дискете(ax) 1,44 М по адресу <тут укажите разборчиво свой полный почтовый адрес с почтовым индексом и полностью ваши инициалы>. Оплату наложенного платежа при получении на почте гарантирую. Подпись».

Наши читатели, имеющие адрес электронной почты (E-mail), могут получать **электронную версию журнала** по E-mail. Для оформления подписки направьте на E-mail (editor@users.ldc.net) адрес редакции электронное письмо с просьбой о подписке на электронную версию «РадиоХобби».

Новое предложение от фирмы  
**ATMEL**  
предельно упростит Вашу разработку:  
**Only Serial DataFlash™**  
Флэш-память до 16 Мбит  
с последовательным интерфейсом  
со склада в Киеве

ООО «Инкомтех»  
г.Киев, ул.Лермонтовская 4  
тел.(044)2133785, факс 2133814  
E-mail eletech@webber.net.ua



## СПРАШИВАЙТЕ - ОТВЕЧАЕМ

**?** Я слишком поздно узнал о существовании вашего журнала и подписался только 3 января 1999 года. Могу ли я получить журналы за предыдущий год?

С целью минимизации накладных расходов и цены журнала мы не содержим склада и выпускаем тираж в соответствии с подпиской без форсирования розницы. В связи с этим тираж распродается почти полностью в течение 1-2 месяцев и сегодня в редакции имеется лишь ограниченное количество «РХ» №4, 5 и 6 за 1998 год (№1, 2 и 3 распроданы полностью). В порядке исключения редакция может выслать по вашей письменной заявке (в своем адресе обязательно укажите почтовый индекс и инициалы без сокращений) эти номера почтой по цене 0,75 у.е. за штуку без учета стоимости пересылки. Для жителей Украины бандероли высылаются наложенным платежом (с оплатой при получении на почте). Учтите, что индивидуальная пересылка заказной бандеролью сегодня стоит довольно дорого (по Украине - около 2 грн., а за пределы Украины - почти доллар, что превышает собственную цену журнала), поэтому не забывайте вовремя оформить подписку, это самый дешевый способ получения журнала.

Если у вас есть доступ в ИНТЕРНЕТ, вы можете загрузить электронную версию любого номера журнала за 98 год с нашего сайта <http://radiohobby.da.ru>. Правда, объем одного номера составляет около 3 мегабайт и даже со скоростным модемом на это уйдет 20-30 минут, что при средней цене доступа 2\$ в час может превысить цену настоящего «бумажного» варианта. Да и качество рисунков на выложенной в ИНТЕРНЕТЕ электронной версии с целью снижения размера файлов ограничено 144 dpi, что не дает возможности четко разглядеть мелкие рисунки.

Идея навстречу пожеланиям новых читателей, редакция создала высококачественный электронный вариант журналов за 98 год в формате Adobe Acrobat, в которых текст и рисунки имеют полиграфическое качество (1200 dpi) и могут быть просмотрены программами Acrobat Reader или распечатаны с высочайшим качеством как на лазерном, так и на любом другом принтере. Размер файла одного номера в таком варианте занимает 20-30 мегабайт, что исключает возможность его загрузки через ИНТЕРНЕТ, поэтому все номера за 98 год собраны на однократно записываемый компакт-диск CD-R. Его можно заказать, вырезав и отправив в редакцию талон, который вы видите ниже в углу этой страницы.

**?** По подписке за прошлый год я не получил один из номеров журнала. Куда мне обратиться, чтобы его получить?

Редакция всегда полностью (и даже с требуемым технологическим запасом) удовлетворяет заявки подписных организаций (Украины и Роспечати), но по условиям т.н. «карточной» системы экспедирования (доставки) не имеет данных о конкретном подписчике, поскольку доставка журнала в конкретный город или населенный пункт происходит одной общей бандеролью (что существенно дешевле, чем при доставке индивидуальными бандеролями каждому подписчику), а затем журналы распределяются по почтовым отделениям

подписчиков местными почтовыми организациями.

Вам необходимо подать письменный запрос в ваше почтовое отделение о причинах непоступления журнала по подписке. Вам обязаны дать письменный ответ в течение двух недель. Если журнал не поступал в ваше почтовое отделение, вышлите в адрес редакции заверенный штампом почтового отделения и подписью его начальника акт о недоставке журнала вместе с копией или оригиналом вашей подписной квитанции. Мы предъявим эти документы подписным организациям для доставки вам журнала из резерва и возмещения нанесенного вам и нам ущерба. Если же журнал был получен почтовым отделением, но вам не доставлен, выясните отношения с вашим почтальоном, а на будущее арендуйте для надежности почтовый ящик прямо на почте.

**?** У меня есть собственные разработки, которые представляют интерес для широкого круга читателей, но я никогда не оформлял статьи. Как это сделать?

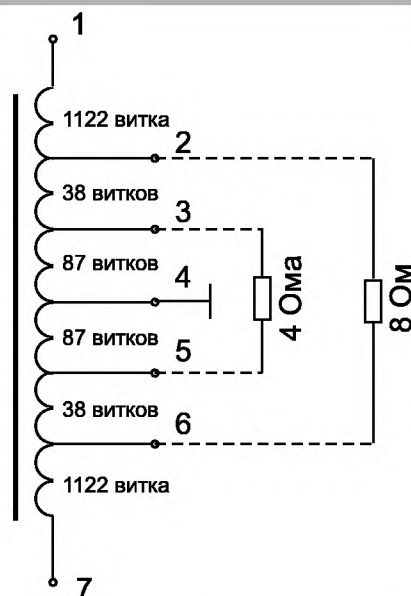
Мы принимаем материалы для публикации в любом виде, даже рукописный. Главное, чтобы затронутая тема была интересна. Если вы в этом не уверены, то пришлите нам сначала краткое описание. Вы облегчите труд редакции и повысите свой гонорар, если напечатаете текст на пишущей машинке, а если у вас есть компьютер, то, конечно, лучше всего пришлите материалы в виде файлов (на дискете или по сети Фидо или Интернет). Оптимальный формат текстовых файлов - DOS без переносов и разгонки по формату или Word for Windows (предпочтителен, если есть сложные формулы или таблицы). Схемы и графики - в форматах cdr, png, psc, tif (1-bit b/w 300-600 dpi), фотографии - jpg с разрешающей способностью 300 dpi.

Концепция «РАДИОхобби» - журнал радиолюбителей для радиолюбителей, поэтому доля доходов, расходуемая на гонорары, у нас больше, чем в других изданиях (за счет снижения офисных, складских и прочих накладных расходов). Даже маленькой опубликованной в журнале заметки буквально из нескольких предложений достаточно, чтобы взамен гонорара можно было получать годовую подписку.

**?** В «РАДИОхобби» №4/98 опубликована статья «Лампы и звук: назад в будущее или новое - это хорошо забытое старое?». Я хочу повторить схему рис.30 (Circlotron PPP) на 6П14П, но затрудняюсь с расчетом выходного согласующего автотрансформатора. Укажите его конструктивные данные.

Один из авторов - Владимир Широков - рекомендует выполнять автотрансформатор этого усилителя на магнитопроводе Ш40х40 из электротехнической листовой стали Э310 (или выше - Э320... Э360) с изоляцией пластин фосфатной пленкой (а не лаком, ухудшающим коэффициент заполнения) и толщиной пластин 0,2...0,35 мм. Сначала проводом ПЭВ-2 Ø1,4 мм наматывают «вторичную» часть (между выводами 2-3-4-5-6 - см. рис.), а затем две секции «первичной» (1-2 и 6-7) проводом ПЭВ-2 Ø0,38 мм. Обмотки 1-2 и 6-7 содержат по 1122 витка, 2-3 и 5-6 - по 38 витков, 3-4 и 4-5 - по 87 витков. Каждый слой обмоток 1-2 и 6-7 изолируют тонкой фторопластовой пленкой. На обе половинки «первички» 1-2 и 6-7 уходит примерно 560 метров провода. Магнитопровод собирают без немагнитного зазора, поскольку схема двухтактная и подмагничивания не создает.

Нагрузку 4 Ома подключают к выводам 3-5, а



8 Ом - к выводам 2-6. При выходной мощности 30 Вт (две пары 6П14П) такой трансформатор на частоте 20 Гц создает в магнитопроводе индукцию примерно 0,55 Тл.

Не рекомендуется заменять автотрансформаторное включение на эквивалентное трансформаторное: как показывает практика, у автотрансформатора фазовые искажения на высших звуковых частотах намного меньше, а звучание чище.

**?** Прочитав статью «Дешевые компьютеры» в декабрьском «РХ» за 98 год, я собрался приобрести поддержанную «четверку» (AMD 486DX4-100) за \$140, но в одном из компьютерных журналов прочитал, что операционную систему WINDOWS 98 можно установить только на Pentium. Мне придется довольствоваться WINDOWS 95?

Нет, такие слухи распускают фирмы, заинтересованные в подстегивании покупки новых аппаратных средств. WINDOWS 98 отлично становится и на ПК с процессорами 486, за исключением UMC U5 и 486SX, не имеющих сопроцессора (впрочем, они не работают и с WINDOWS 95). Ряд наших авторов установили WINDOWS 98 на AMD 486DX2-66, так что и у вас не будет проблем. Правда, в отличие от WIN 95, для WIN 98 требуется ОЗУ минимум 16 Мб и не менее 300 Мб свободного места на винчестере.

**Поправка.** В статье «Таймер реального времени» («РХ» №6/98, с.39) тиристор VS1 следует заменить на симистор КУ208Г.

**ПРЕДПРИЯТИЕ**  
**«ТРИОД»**

**ЛАМПЫ: Г, ГИ, ГК, ГМ, ГМИ, ГС, ГУ, Б... и др.**  
**Магнетроны, клистроны, тиратроны,**  
**разрядники, ФЭУ, видиконы и др.**  
**ВЧ, СВЧ-транзисторы.**

**(044) 478-09-86 (с 10.00 до 17.00)**  
**E-mail: ur@triod.kiev.ua**

Прошу выслать CD-R «РАДИОхобби» по адресу:

Оплату налож. платежом гарантирую, \_\_\_\_\_ (подпись)