

МАРТ

1998

CLASSA

Hi-Fi, High End AUDIO



**Год спустя
в СОФИТЕЛЕ
Hi-Fi Show'98**

**Как готовят
музыкальные
консервы**

**Audio Note
и Jolida**

**Как улучшить
Klipsch LaScala**



ТРИОД ИЗ

Этой статьей, уважаемый читатель, я хочу продолжить тему «Триод из подручных материалов» (Class A, октябрь 1997 г.) и поделиться накопившейся у меня с момента предыдущей публикации информацией по практическому применению наиболее широко распространенных выходных ламп. Приводимые ниже принципиальные электрические схемы усилителей мощности (из самых разных источников) должны, на мой взгляд, помочь самоделщикам разобраться в вопросах конкретного использования тех или иных типов ламп в создаваемых ими конструкциях. Сразу отмечу, что не все из этих схем целесообразно повторять один к одному. Некоторые из них скорее содержат информацию к размышлению. Впрочем, для тех, чей практический опыт невелик, удалось найти несколько хорошо повторяемых несложных схем, обеспечивающих неплохое звучание.

6П6С — знаменитый классический выходной лучевой тетрод с оригинальным баллоном, имеющим внутреннее чернение для улучшения отвода тепла от анода. Эта лампа массового применения, разработанная американской компанией RCA (оригинал имеет маркировку 6V6-GT), выпускалась в течение длительного времени многими производителями и широко применялась до середины 50-х годов в радиоприем-

никах, телевизорах, магнитофонах, а также в усилителях киноустановок. Даже в типовом тетродном включении она гораздо «благозвучнее», на мой взгляд, чем, например, 6П3С. Среди безусловно заслуживающих внимания изделий отечественной радиопромышленности, в которых применялась лампа 6П6С, следует упомянуть такие великолепные радиоприемники, как «Октябрь», «Рига 10», «Мир М-154». В начале 50-х годов был выпущен отечественный пальчиковый аналог ламп 6V6 и 6П6С — **6П1П**. По всем электрическим характеристикам октальная и пальчиковая лампы полностью идентичны, однако 6П1П имеет более компактную и, соответственно, более теплонатяженную конструкцию электродной системы. Поэтому при ее использовании в режимах с предельно-допустимой мощностью рассеивания на аноде и повышенном анодном напряжении существует большая вероятность появления термотока в цепи управляющей сетки. Вероятность этого еще более возрастает при превышении предельно допустимого по ТУ напряжения на экранирующей сетке в ультралинейном или триодном включении. Если 6П6С вполне надежно работают при величине напряжений на аноде и экранирующей сетке до 370 В (вопреки типовым ТУ), то для 6П1П пределом является 320 В. Впрочем, отечест-

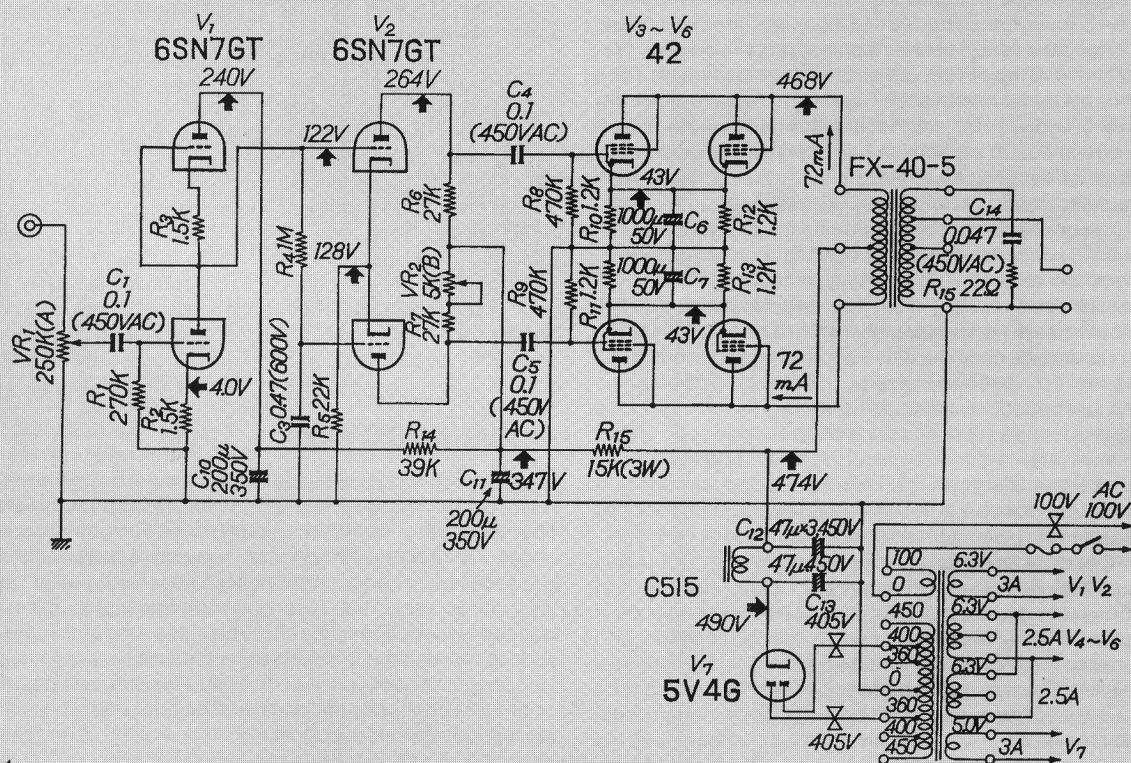


Рис. 1

ПОДРУЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ПОДРОБНОСТИ

венной промышленностью выпускался вариант лампы 6П1П с повышенной надежностью — 6П1П-ЕВ.

Принципиальным недостатком всех упомянутых выше ламп, по-видимому, можно считать их относительно невысокую выходную мощность, что приводит к необходимости использования в приличных усилителях как минимум двух включенных параллельно ламп вместо одной. Например, в недорогом двухтактном усилителе «Народный» петербургской фирмы Spb Sound используются по 2 штуки 6П6С в плече, переключаемые из триодного в ультралинейный режим и отдающие (по-видимому, в классе AB1) соответственно 15/30 Вт выходной мощности.

Непосредственным предшественником 6V6 является лампа 6F6-GT, отечественный аналог которой называется 6Ф6С. Эта лампа представляет собой выходной пентод несколько более раннего выпуска. Если вам попадутся эти раритеты, знайте, что они прекрасно работают не только в выходных каскадах, но и в качестве драйвера в паре с межкаскадным трансформатором. Лампа 6F6 является одной из любимиц японских аудиофилов. В качестве примера конкретного применения этих пентодов на рис. 1 приведена принципиальная схема усилителя мощности на ее эквиваленте — лампах

TUNG-SOL 42, из японского журнала «MJ Stereotechnic». В этой же схеме могут быть успешно применены лампы 6П6С и 6П1П, однако их электрический режим следует установить в соответствии с рекомендациями, приведенными в моей статье «Триод из подручных материалов». На рис. 2 приведена схема усилителя мощности, входящего в состав активных акустических систем стереофонического бытового магнитофона высшего класса А-122 американской фирмы Ампрех. В этом усилителе используются лампы 6V6 в традиционном тетродном включении. При их переводе в триодный режим потребуется изменить режим работы фазоинверсного каскада из-за увеличения, во-первых, требуемой амплитуды напряжения возбуждения между сетками выходных ламп, а во-вторых, увеличения динамической входной емкости ламп выходного каскада. Кроме того, могут потребоваться изменения в цепях общей ООС усилителя для получения приемлемой чувствительности со входа.

6ПЗС — классический выходной лучевой тетрод для аудиотехники. Разработан компанией RCA в середине 30-х годов. Оригинал называется 6L6 и имеет металлический баллон. Компания в своих справочниках указывает, что геометрия электродной системы этой лампы специально оптимизиро-

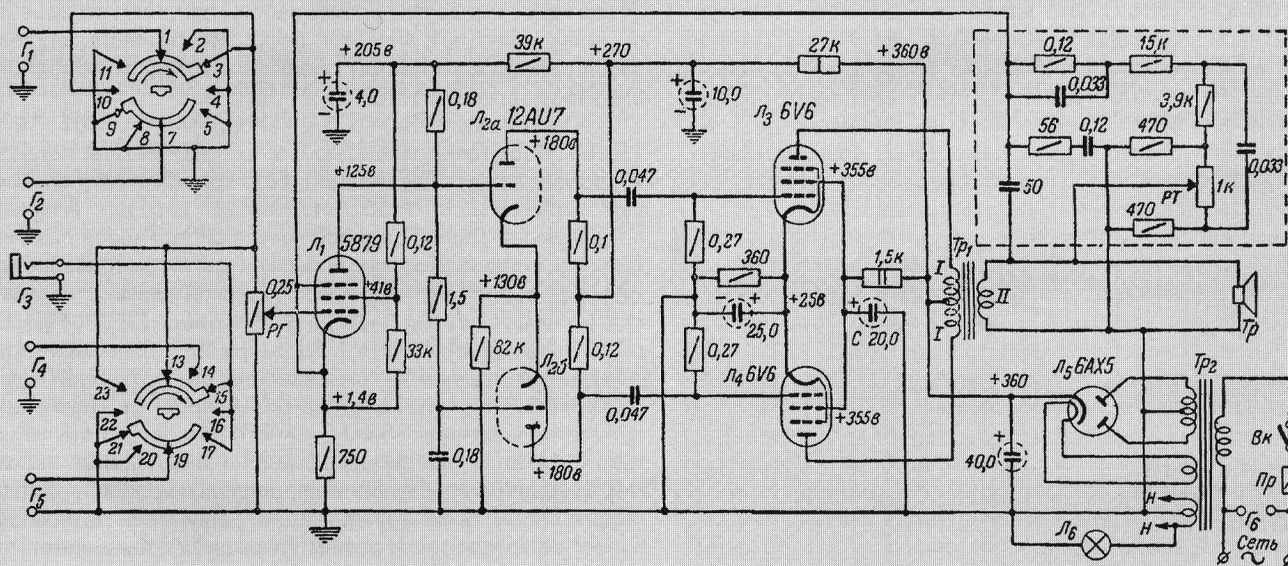
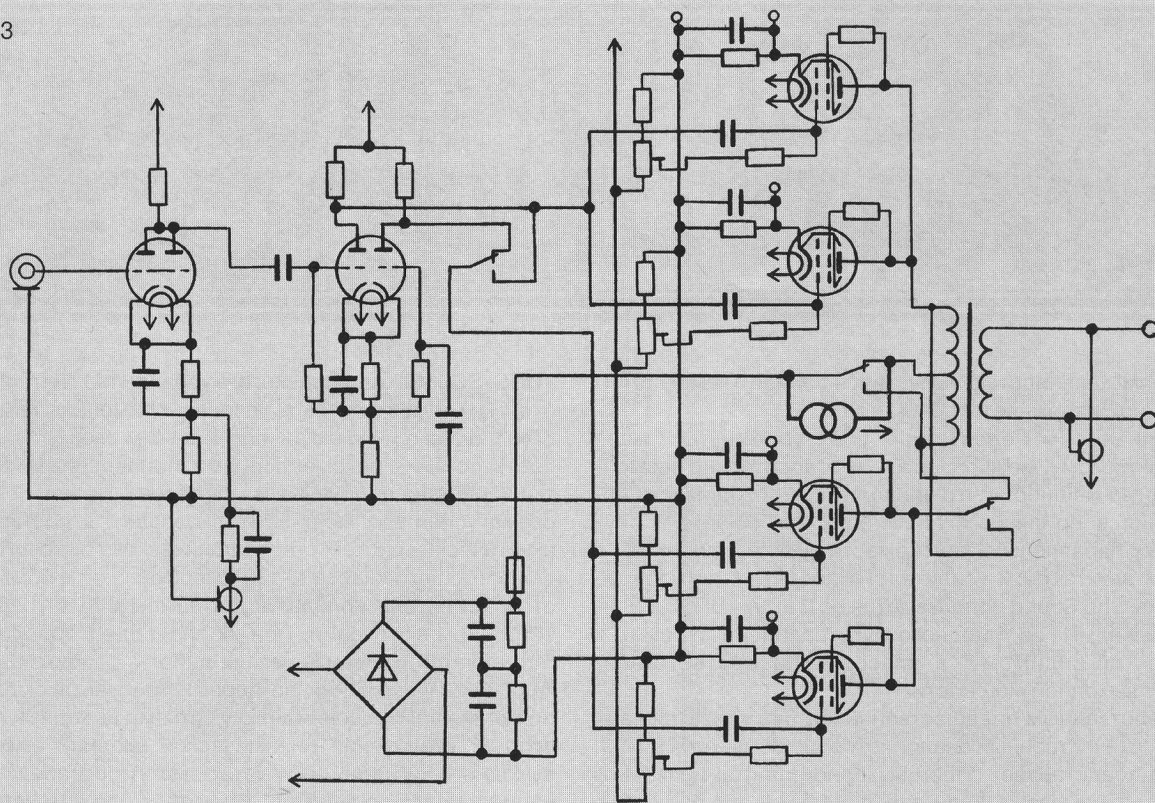


Рис. 2

Рис. 3



вана для обеспечения минимального уровня 3-й гармоники (разумеется, при работе в типовом тетродном режиме). Аналоги 6L6, выпускавшиеся и выпускающиеся множеством изготовителей в самых различных конструктивных вариантах, нашли широкое применение в бытовой аппаратуре, эстрадных и кинотеатральных усилителях. Несмотря на то, что по части качества звучания эти лампы звезд с неба не хватают, я все же рекомендую их всем желающим получить вполне добротный звук при минимальных материальных затратах.

Ближайшим аналогом лампы 6ПЗС по электрическим параметрам и цоколевке является лампа повышенной надежности **6ПЗС-Е (5881)**. Эта лампа отличается от 6ПЗС несколько иной электродной системой, более жесткой механической конструкцией, увеличенным диаметром баллона и уменьшенной высотой цоколя. Кроме того, изготовитель указывает для 6ПЗС-Е менее жесткие предельно-допустимые значения электрических режимов и, соответственно, больший срок службы. Однако, 6ПЗС-Е (5881) можно смело применять во всех режимах, рекомендованных для 6ПЗС.

Широко известный генераторный лучевой тетрод **Г-807 (RCA 807)** представляет собой ту же лампу 6ПЗС с другим цоколем, помещенную в другой баллон и изготовленную из более качественных материалов с более жесткими технологическими допусками. Но, самое главное, лампа Г-807 имеет по сравнению с 6ПЗС гораздо более глубокий вакуум. Эти особенности позволяют использовать Г-807 в более жестких электрических режимах по сравнению с 6ПЗС без ущерба (а то и с выигрышем) надежности и долговечности. Некоторое время отечественной промышленностью выпускался вариант лампы Г-807 с октальным цоколем под названием 6П7С, специально предназначенный для применения в выходных каскадах строчной развертки телевизоров (я, однако, не встречал ни одного телевизора, где бы использовалась эта лампа). Всем интересующимся вопросами практического применения ламп 6L6, 6ПЗС, Г-807 и 6П7С я рекомендую внимательно ознакомиться со статьями «Новогодний Маг» и «По следам Вильямсона», опубликованным в декабрьском

номере журнала за 1997 г. Квалифицированных конструкторов должна заинтересовать, на мой взгляд, приводимая на рис.3 упрощенная принципиальная схема моноблоков «Manley 807 SE/PP 75/150».

Этот усилитель интересен прежде всего тем, что при относительно небольших габаритах, массе и энергопотреблении (для однотактного усилителя мощностью 75 Вт!) он обладает привлекательным, добротным звучанием, легко справляясь с такой непростой на подъем акустикой, как Magnepan. Простым щелчком тумблера, прямо на ходу, этот аппарат может быть превращен в двухтактный усилитель мощностью до 150 Вт. На мой взгляд, этот режим работы придется по душе любителям «кинотеатрального» звука. Несомненно, опытный слушатель по достоинству оценит возможность переключения режимов усилителя.

Схемотехника входных каскадов «Manley 807 SE/PP 75/150» абсолютно традиционна: входной сигнал подается непосредственно на сетки двойного триода 5751 (пальчиковый аналог 6SL7 и 6Н9С), «половинки» которого включены параллельно. Далее с анодов лампы сигнал через разделительный конденсатор поступает на сетку фазоинверсного каскада, выполненного по классической схеме с катодной связью на высоколинейном двойном триоде GE 7044 (экспериментально я выяснил, что по своим электрическим характеристикам эта лампа тождественна отечественной лампе 6Н6П, хотя конструктивно она более проста). Дальнейший путь сигнала зависит от включенного режима работы усилителя. В однотактном режиме сигнал с анода левого (по схеме) триода 7044 поступает на параллельно соединенные (по переменному току) управляющие сетки всех 8 выходных ламп Г-807, триодный режим которых обеспечивается соединением экранных сеток с анодами через резисторы величиной по 1 кОм. Выходные лампы работают с фиксированным смещением. В схеме предусмотрена индивидуальная независимая установка напряжения смещения на сетку каждой лампы, что позволяет без проблем установить идентичные токи покоя ламп, имеющих технологический разброс па-

раметров. Контроль токов покоя каждой лампы осуществляется путем измерения падения напряжения на резисторах величиной $10 \text{ Ом} \pm 1\%$ в цепях их катодов. Для этого под верхней панелью корпуса усилителя имеются соответствующие контрольные точки и регуляторы смещения (выведены под шлицы). Напряжение сигнала на управляющие сетки каждой из 8 выходных ламп подается через индивидуальные переходные конденсаторы. В двухтактном режиме противофазные напряжения возбуждения выходного каскада подаются с анодов фазоинвертора на управляющие сетки 2 групп выходных ламп (по 4 лампы в плече).

Особого внимания заслуживает коммутация первичной обмотки выходного трансформатора. В двухтактном режиме источник анодного напряжения подключается к средней точке первичной обмотки, а параллельно соединенные аноды каждой из двух групп выходных ламп — к ее крайним выводам. В однотактном режиме аноды всех восьми выходных ламп соединены вместе и подключены к одному из крайних выводов первичной обмотки, а источник питания — к другому. При таком включении обычный двухтактный выходной трансформатор без зазора в сердечнике без принятия специальных мер становится неработоспособным, так как намагничивается до насыщения током покоя выходных ламп. Здесь-то и начинаются маленькие хитрости г-на Дэвида Мэнли. Чтобы сохранить габаритные размеры выходного трансформатора и вес моноблока в разумных пределах, конструктор применил компенсацию постоянной составляющей тока выходных ламп путем подачи в первичную обмотку противотока от источника тока, включенного между ее средним выводом и тем концом, на который подается напряжение анодного питания выходного каскада. В двухтактном режиме этот источник просто закорочен и ни на что не влияет. Поскольку он подключен к половине обмотки, а анодный ток выходных ламп протекает через всю обмотку, полная компенсация постоянной составляющей тока анода наступает только в том случае, если величина тока от источника тока вдвое превышает ток покоя выходных ламп. Такой подход в принципе позволяет изменять режимы работы сердечника выходного трансформатора, создавая ему типичные «однотактные» условия, однако думаю, что в описываемом усилителе это не реализуется полностью, т. к. требует жесткой стабилизации всех режимов и напряжений питания выходного каскада. Из принципиальной схемы видно, что стабилизаторы в аппарате отсутствуют. В силу того, что внутреннее (дифференциальное) сопротивление источника тока существенно превышает приведенное к первичной обмотке выходного трансформатора сопротивление нагрузки и тем более внутреннее сопротивление выходного каскада, на работу последнего по переменной составляющей примененный способ размагничивания сердечника влияния не оказывает (теоретически).

Наверное, вас удивляет, что я воздерживаюсь от описания (и изображения) подробностей схемотехники источника размагничивающего тока. Делаю это сознательно по следующим причинам: во-первых, нашим самоделщикам недоступна соответствующая элементная база; во-вторых, лично я не вполне согласен с конкретным примененным решением; в-третьих, подобная концепция построения SE-усилителей все-таки является довольно спорной; в-четвертых, те, кого не деморализовали первые три обстоятельства и кто проникся идеями м-ра Мэнли, могут без особого труда реализовать великолепный источник тока на пентодах типа 6П45С, ГУ-50, EL-34 и т. д. (а может быть, и на хорошем полевом или биполярном транзисторе, но это, по-моему, будет уже совсем нонсенс!).

И, наконец, немного об электрическом режиме выходных ламп (807). В соответствии с традициями фирмы они рабо-

тают при малом токе покоя (около 35 мА), смещением на первой сетке около 80 В и весьма высоким напряжением на аноде (и, соответственно, экранной сетке): 650В! (вспомним, что по ТУ напряжение на экранной сетке 807-й лампы не должно быть выше 250В, типовой триодный режим предусматривает напряжение величиной $400 \div 450\text{В}$ — см. статью «Триод из подручных материалов»). Конечно, далеко не все экземпляры 807-й лампы (особенно китайского производства) выдерживают такие напряжения, поэтому, по-видимому, фирма производит их предварительный отбор. Кроме того, ненадежные и некачественные лампы самоуничтожаются в период начальной приработки усилителя (что совершенно не страшно, учитывая широкую доступность и низкую стоимость этих ламп). Замечу, что отечественные лампы Г-807 любых годов выпуска имеют очень высокие качество и надежность.

Приведенное к аноду сопротивление нагрузки на одну лампу составляет $\approx 10 \text{ кОм}$ в SE и 2,5 кОм в PP включении (таким образом, реализуется чистый, высоколинейный режим класса А в SE и самый что ни есть АВ1 в PP). Номинальное сопротивление нагрузки составляет 8 Ом, но в силу неглубокой ООС усилитель, скорее всего, имеет пониженную чувствительность к импедансу АС. Анодное питание выходного каскада организовано просто и изящно: вторичная обмотка силового трансформатора с малым омическим сопротивлением, мостовой выпрямитель на высококачественных диодах, работающий на батарею из двух электролитических конденсаторов по 3200 мкФ $\times$ 450В (соединенных последовательно) без каких-либо дополнительных фильтров обеспечивают более, чем достаточную фильтрацию анодного напряжения ламп выходного каскада и жесткую внешнюю характеристику источника питания, необходимую при работе в режиме PP (в классе АВ1). Безусловно, такая организация питания является компромиссной.

ГУ-50 — точная копия генераторного УКВ-пентода LS50 фирмы Telefunken. На всякий случай отмечу малоизвестный факт, что в Европе выпускались специальные модификации этой лампы для применения в выходных каскадах УНЧ: EL112 и EL152 (с напряжением накала 6,3 В в отличие от LS50 и ГУ-50, напряжение накала которых составляет 12,6 В). Эти лампы применялись в профессиональной звуковой аппаратуре, успешно управляя не только движением диффузоров динамиков, но и резцов рекордеров при нарезании матриц для печати виниловых грампластинок.

Лампы ГУ-50 широко применялись в самой различной аппаратуре специального назначения. Поэтому они изготовли-

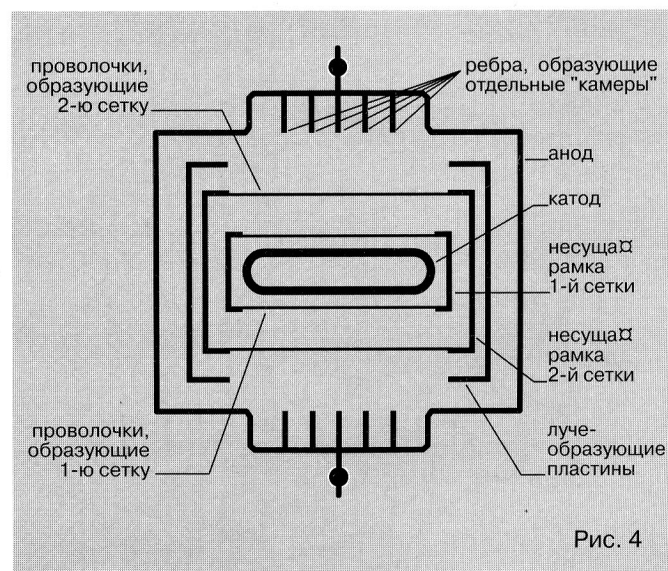


Рис. 4

вались только из высококачественных материалов при жестком контроле за соблюдением технологии производства. Имея приблизительно такие же размеры электродов, как у 6П3С, лампа ГУ-50, благодаря применению для анода специального материала — так называемого карбонизированного никеля, может длительно рассеивать на аноде мощность до 40 Вт.

Как правило, усилители, использующие эти лампы в типовых режимах, обладают значительной выходной мощностью, но малопривлекательным звучанием. Поэтому, на мой взгляд, единственным способом получения отличных результатов и полного раскрытия звуковых возможностей ГУ-50 является их применение в триодном включении. Однако в этом случае каскад драйвера должен уверенно обеспечивать получение неискаженного напряжения возбуждения выходных ламп амплитудой приблизительно до 80 В. Схемы таких драйверов (фазоинверторов) можно позаимствовать от усилителей мощности на прямотокальных триодах с малым μ . К другим особенностям применения ламп ГУ-50 следует отнести следующие. Эти лампы имеют отдельный вывод защитной сетки, который можно подключить либо к аноду (я рекомендую сделать именно так), либо к катоду. Выберите тот вариант, который обеспечит лучшее, по вашему мнению, звучание. Далее. На одну из ножек выведен внутренний междуэлектродный экран лампы. Ни в коем случае не используйте соответствующий лепесток ламповой панели в качестве опорного для монтажа! При использовании ГУ-50 при мощности рассеивания на аноде, близкой к предельно допустимой, позаботьтесь о хорошем теплоотводе, как минимум обеспечив хорошую естественную циркуляцию воздуха вокруг ламп. При некоторых условиях (неудачный монтаж и т.д.) может возникнуть паразитная генерация на УКВ, для предотвращения которой обязательна установка антипаразитных резисторов величиной $0,47 \div 1,5$ кОм в цепях управляющих сеток. Эти резисторы обязательно должны быть припаяны непосредственно к лепесткам ламповых панелей. В ряде случаев может также понадобиться установка непосредственно на анодных выводах резисторов величиной $5 \div 10$ Ом.

6П36С и 6П45С — лампы оригинальной отечественной разработки, предназначенные для работы в схемах строчной развертки телевизоров и конструктивно сильно отличающиеся от своих зарубежных аналогов (EL500 и PL504 у 6П36С,

EL509, EL519 и 6КГ6 у 6П45С). На рис. 4 показана геометрия электродной системы этих ламп. Широкий плоский катод и жесткие, точно установленные рамочные сетки образуют структуру с высокой степенью геометрической и, по-видимому, электрической однородности (см. Class A, декабрь 1996 г., сс. 16-17), что позволяет обеспечить в триодном включении сочетание высокой линейности анодных характеристик, низкого внутреннего динамического сопротивления и малой величины напряжения приведения (см. рис. 5). Аноды этих ламп имеют особую, многокамерную конструкцию, которая определяется необходимостью подавления динамического эффекта в тяжелых условиях работы в выходном каскаде строчной развертки телевизоров, в том числе цветного изображения. Кроме того, за счет такой геометрии обеспечивается чрезвычайно большая эффективная поверхность анода, что улучшает отвод тепла.

Рамочная конструкция сеток позволяет достичь не только строгой параллельности электродов, но и точного расположения проволочек второй сетки напротив проволочек первой. В результате этого уменьшается доля анодного тока, ответвляющегося в цепь экранной сетки при триодном включении лампы. Таким образом, необычная геометрия электродов 6П36С и 6П45С в электрическом отношении прекрасно соответствует строгим требованиям, предъявляемым к звуковым лампам.

А теперь дам несколько рекомендаций читателям, решившим применить эти лампы в своих конструкциях. Во-первых, кроме использования 6П36С в триодном включении в рабочих режимах, рекомендованных в статье «Триод из подручных материалов», этой лампой можно заменять прямотокальный триод 6С4С (2А3), разумеется, с учетом различий в цоколевке, способе подачи и величине тока накала (у 6П36С он ровно в 2 раза больше, чем у 6С4С, т. е. 2 А). Во-вторых, мой печальный опыт свидетельствует о том, что при работе в рекомендованных мной режимах совершенно отвратительно (с точки зрения надежности и стабильности) ведут себя лампы Новосибирского завода, в то время как даже уже бывшие в употреблении лампы, выпущенные заводом «Светлана» и Ульяновским заводом электровакуумных приборов, работают надежно. В-третьих, триоды на основе 6П36С и особенно 6П45С имеют повышенную динамическую входную емкость, поэтому требуют драйвера с низким выходным сопротивлением (не более $5 \div 10$ кОм). Величина этого сопротивления $R_{\text{вых}}$ должна быть не более $1/2\pi f(C_{\text{ас}}K_0 + C_{\text{ск}})$. В этой формуле f — верхняя частота среза каскада драйвера по уровню -3дБ (должна быть не менее $50 \div 60$ кГц), а $C_{\text{ас}}$ и $C_{\text{ск}}$ — соответственно проходная и входная емкости, K_0 — динамический коэффициент усиления лампы выходного каскада в реальной схеме (для триода обычно не более $0,7 \div 0,8$). В-четвертых, из-за большой крутизны эти лампы склонны к паразитной высокочастотной генерации (как и ГУ-50). Для ее предотвращения необходимо принять те же меры, что и для ГУ-50, причем резистор величиной 10 Ом должен быть припаян непосредственно к колпачку, надеваемому на вывод анода. В-пятых, рекомендую не тратить время на бесполезные эксперименты по использованию ламп 6П36С и 6П45С в тетродном и ультралинейном включении, а начинающим конструкторам — вообще связываться с ними. И последний совет. Не пытайтесь использовать вместо 6П36С и 6П45С лампы 6П44С и 6П45С-М (нечто совершенно удивительное и труднообъяснимое: как удалось добротную и мощную лампу 6П45С «спрессовать» по объему в 3 раза? Обнаружив недавно на радиорынке в Митино это чудо технологии, я вспомнил Козьму Прутков: «Если на клетке слона увидишь надписи «буйвол», не верь глазам своим!» Похожая метаморфоза произошла и с пентодом 6Ж52П. В продаже в том же Митино можно встретить лампы с маркировкой 6Ж52П и товарным

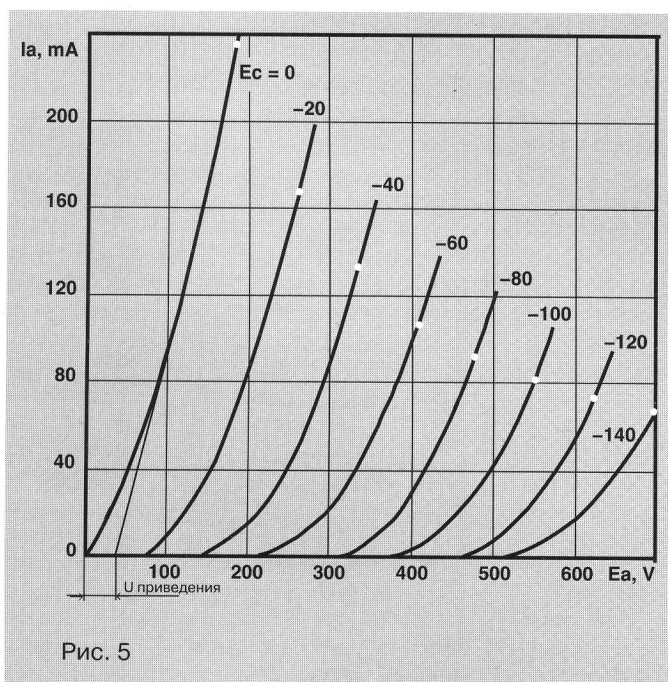


Рис. 5

знаком завода «Светлана», внутри баллона которых просматривается нечто совершенно не похожее на «внутренности» настоящей 6Ж52П, но зато очень похожее на 6Ж9П. Может быть, в телевизорах она и работает, но, например, в фонокорректоре А. Тарима играть совершенно отказывается).

6П14П — одна из самых популярных и чрезвычайно широко распространенных выходных ламп, которая наряду с отличным звучанием доступна по цене. Появившись в середине 50-х годов, эта лампа наряду с ее зарубежными аналогами EL84 и 6ВQ5 к концу 50-х годов практически полностью вытеснила из массовой радиоаппаратуры другие типы выходных ламп. Ее предшественниками были лампы с локтальным цоколем EBL21 и UBL21 (пентод-диоды, содержащие в одном баллоне выходной пентод с параметрами, аналогичными параметрам EL84, и двойной диод), выпущенные в середине 30-х годов фирмой Telefunken и производившиеся многими другими европейскими фирмами.

Особенностью конструкции 6П14П является малое расстояние между катодом и управляющей сеткой с малым шагом навивки. В результате лампа обладает высокой крутизной анодно-сеточных характеристик и, как следствие, большим коэффициентом усиления даже в триодном включении ($\mu = 20$), поэтому требует небольшой амплитуды напряжения раскачки. Однако такая конструкция электродной системы приводит к нежелательному эффекту, проявляющемуся в склонности лампы к появлению термотока в цепи управляющей сетки. Поэтому ТУ предусмотрено ее применение только с автоматическим смещением. При использовании фиксированного смещения рекомендуется для надежной работы лампы несколько снижать мощность рассеивания на аноде по сравнению с предельно-допустимой по ТУ и ни в коем

случае не допускать перекала катода (для этого желательно питать накал стабилизированным напряжением). Еще одна отличительная особенность 6П14П — достаточно малая величина межэлектродной емкости между управляющей и экранной сетками (в триодном включении эта емкость является проходной). Указанные особенности лампы позволяют существенно упростить драйвер.

Может быть, вам встретится лампа 6П18П (EL82), являющаяся по сути модификацией 6П14П для работы при более низких анодном и экранном напряжениях ($\mu = 15$ в триодном включении), или лампа EL95 в пальчиковом 7-штырьковом оформлении с пониженным потреблением мощности цепью накала.

Для интересующихся практическим применением ламп 6П14П на рис. 6 приведена принципиальная электрическая схема усилителя на этих лампах из немецкого журнала «Radio und Fernsehen» (1963 г., №12, стр.404). По меркам того времени такая конструкция представляла собой абсолютно «белую ворону»: на входе установлен пентод EF86 (6Ж32П) в триодном включении, на выходе — EL84 (6П14П) также в триодном включении, работающие в чистом классе А с независимым автоматическим смещением для каждой лампы (расчетное сопротивление нагрузки, приведенное к анодам — 10 кОм, выходная мощность при суммарном коэффициенте нелинейных искажений 0,5% — 4 Вт, полоса пропускания по уровню -3дБ — 10 Гц ÷ 50 кГц). Не соответствуя, быть может, современным критериям High End'a, эта добротная схема выдержана строго в идеологии Вильямсона и при тщательном выполнении выходного трансформатора (его конструкция приведена на рис. 7) будет великолепно работать на уровне Hi-Fi высшего качества при абсолютной до-

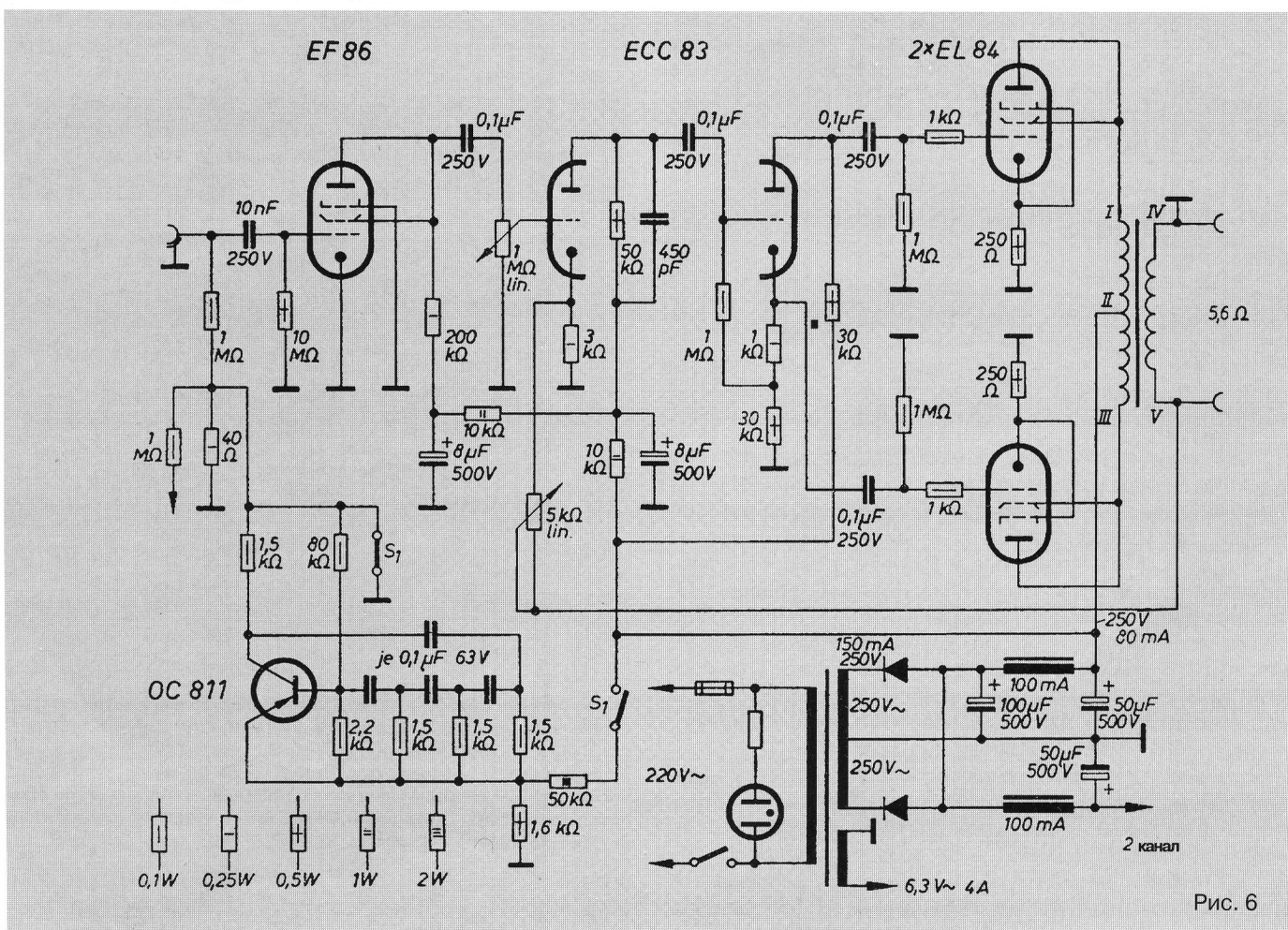
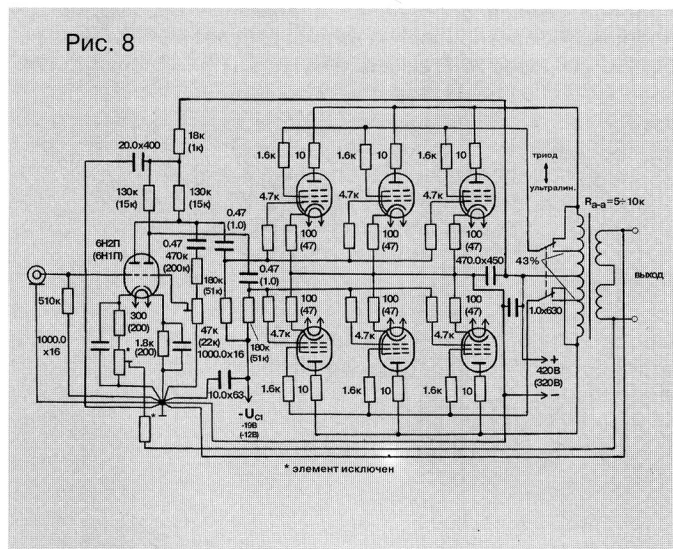
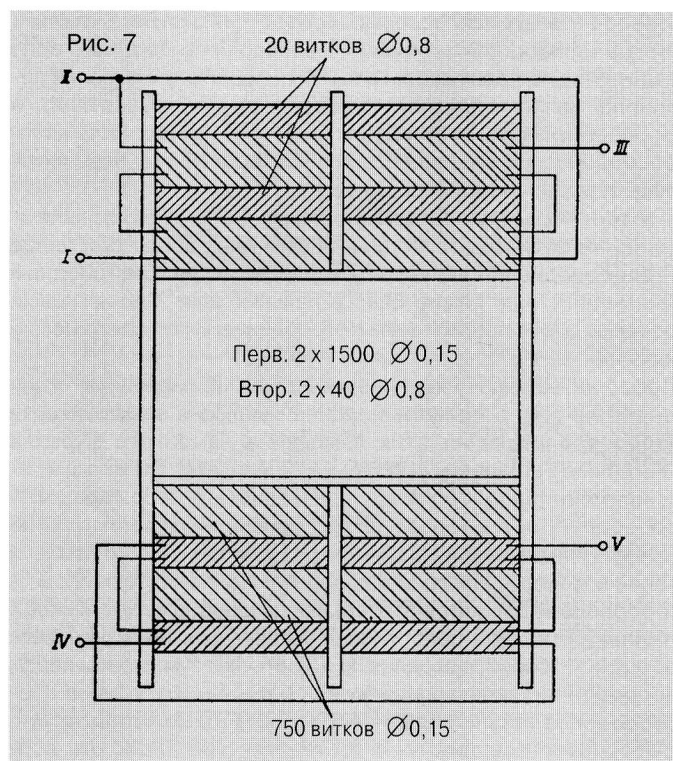
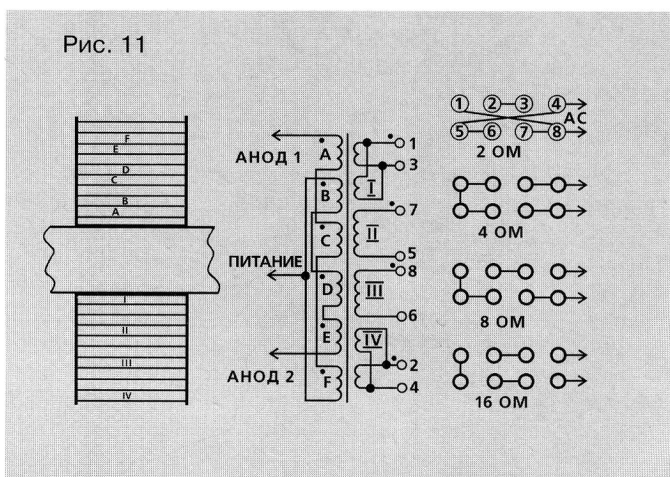
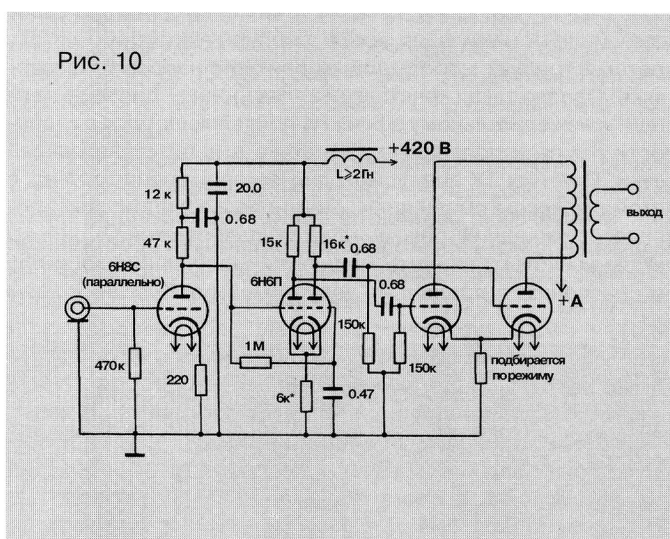
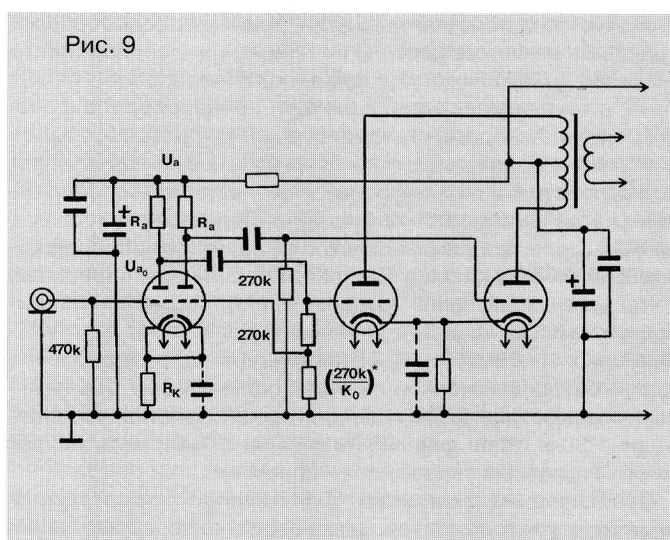


Рис. 6



ступности и очень низкой стоимости элементной базы. Не пугайтесь изображенных на схеме транзисторов! Они используются лишь в схеме звукового генератора, предназначенного для установки баланса каналов. При повторении усилителя необходимо иметь в виду, что его выходные лампы работают в облегченном режиме. Поэтому, «подав газу» по анодному питанию (см. режимы в статье «Триод из подручных материалов»), можно несколько увеличить выходную мощность. В большинстве случаев можно обойтись без общей ООС и входного каскада на лампе EF86, подав сигнал на управляющую сетку левой половины (по схеме) двойного триода ECC83 (вместо него подойдет 12AX7 и 6Н2П).



Сердечник УШ 30х50, пластины толщиной 0,35 мм из стали Э-320, сборка вперекрышку. Обмотки: секции А, В, С, D, Е, F — по 450 витков ПЭВ-2 0,27 мм; секции I, IV — по 25 витков ПЭВ-2 0,72 мм, намотанных в два провода; секции II, III — по 50 витков ПЭВ-2 0,72 мм. Изоляция: межобмоточная — один слой лакоткани и два слоя лаасановой ленты толщиной 0,05 мм, межслойная — конденсаторная бумага толщиной 0,02 мм.

схеме в скобках — Н.Т.) представляет собой ультралинейный двухтактный усилитель в классе АВ1, скорее даже на грани

класса В1 (подобный режим часто встречается в усилителях фирмы Manley Laboratories, Inc.). Выходные лампы 6П14П (по 3 шт. в плече) работают с напряжением на анодах и экранных сетках аж 420 В при токах покоя около 10 мА и фиксированном смещении -19 В!!! При этом величина приведенного сопротивления нагрузки для одной «двухтактной пары» составляет 30 кОм!!! Фазоинвертор выполнен по «раритетной» несамобалансирующейся схеме (подробнее о фазоинверторах можно прочитать в журнале «Class A», апрель 1997 г., стр. 16-21). Используемая в нем лампа 6Н2П, по-моему, находится не совсем на своем месте и работает в неподходящем режиме. При правильном подходе применение этого фазоинвертора обуславливает весьма своеобразное и привлекательное звучание, сходное по характеру с «однотактным» — Н.Т.). Проведенное 6 лет назад первое мимолетное сравнение потрепанного «Ритма» с «вылизанным» «Прибоем» едва не закончилось для последнего прощальным полетом через окно только благодаря зиме и большому весу усилителя. После этого (до появления у меня экзотических ламп 2А3, 6А3 и 6С4С) я несколько модернизировал «Ритм» и был им вполне доволен (еще раз огромное спасибо Люберецкой фабрике музыкальных инструментов. По-видимому, сказала бы близость разработчиков и исполнителей в части изготовления настоящих музыкальных инструментов). Желая повторить эту схему определенно не прогадают, применив в выходном каскаде автоматическое смещение с переводом его в класс А (см. статью «Триод из подручных материалов»), а также исключив общую ООС. Усилитель обеспечит 10 Вт выходной мощности при великолепном качестве звучания.

Вместо 6П14П качестве выходных ламп во всех приведенных схемах можно применять (при незначительной корректировке рабочих режимов) и все вышеуказанные ее заменители.

EL34 — «старшая сестра» EL84 (по аудио-статусу, хотя по возрасту — ровесница). Она является одной из самых широко распространенных в мире ламп, разработанной фирмой Philips специально для аудиоаппаратуры. Выпускалась многими производителями и продолжает выпускаться, в том числе и в России. В 60-х в бывшем Советском Союзе был вы-

пущен в количестве нескольких тысяч экземпляров отечественный вариант EL34 — 6П27С, однако дальнейшее ее производство по неизвестным мне причинам было прекращено. Лампа EL34 в определенном смысле представляет собой аудиофильный идеал, так как обладает уникальным сочетанием различных параметров, а именно высокой крутизны анодно-сеточных характеристик, значительной предельно допустимой мощности рассеивания на аноде и экранирующей сетке, высокого предельно-допустимого напряжения на аноде и экранирующей сетке. В триодном включении она имеет низкое внутреннее сопротивление, приличный коэффициент усиления и весьма линейные характеристики. Эти особенности EL34 позволяют простыми средствами создать несложный усилитель с отличным звучанием и достаточно большой выходной мощностью. Единственным недостатком этой лампы можно считать ее существенно более высокую стоимость и меньшую доступность по сравнению с 6П14П, 6П3С и т.п.

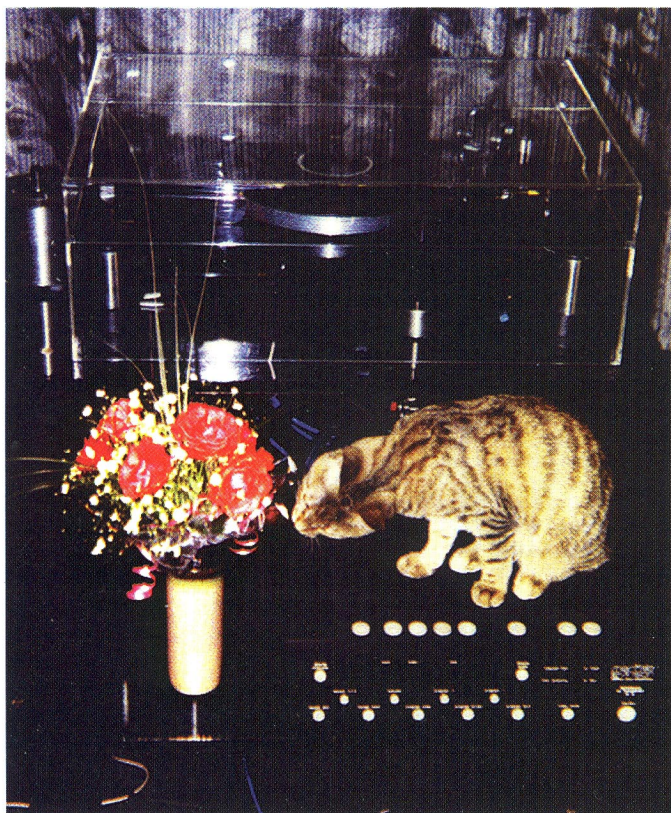
В силу указанных причин в отношении применения ламп EL34 ограничусь лишь ссылкой на две широко известные классические схемы усилителей, для одной из которых (рис. 9) привожу в таблице различные варианты «комплектации» входного каскада. Это простая, надежная и проверенная временем схемотехника, показывающая очень убедительные результаты. Как правило, любые схемы, которые можно встретить на страницах других изданий, сводятся к этим схемам или имеют в своей основе усилитель Вильямсона. В этих схемах могут быть применены любые выходные лампы, режимы которых можно взять из статьи «Триод из подручных материалов».

Изображенная на рис.11 конструкция выходного трансформатора рассчитана на номинальную величину приведенного сопротивления нагрузки между анодами выходных ламп 5 кОм. Для величины приведенного сопротивления 10 кОм секции А, В, С, D, E, F должны содержать по 650 витков провода ПЭВ-2 0,2 мм.

Никита Трошкин

№№ п/п	Тип лампы	U_a В напряжение питания каскада	U_{a0} В	I_{a0} мА	U_{c1} В	R_a кОм	R_k Ом ориент. общ. катодн.	K_0	ΔU В max ампл. вых. напр.
1	6Н1П (6Н15П)	300	155	10	-2	15	100	25	50
2	6Н23П (ЕСС88)	360	200	10	-4	18	200	27	100
3	6Н6П	400	170	18	-6	12	160	15	90
		400	140	15	-4	16	130	17	55
		300	150	8	-6	20	360	16	80
4	6Н7С	450	230	4.5	-3	47	330	27	80
		320	190	1.6	-3.6	82	1.1 кОм	28	100
5	6Н8С	360	210	5.5	-7	30	620	16	90
		300	140	3.5	-5	51	750	16	75

РАЗМЫШЛЕНИЯ О КОНЦЕНТУАЛЬНОМ И РЕАЛЬНОМ (продолжение)



Ранее рассмотрена важность реверберационных явлений в закрытых помещениях и их влияние на процессы ощущения и восприятия звуков. Очевидно, что чрезмерно малое или большое время реверберации плохо сказывается на качестве воспринимаемого звучания. Но очевидно и то, что, веро-

ятно, есть значение времени реверберации, которое наиболее благоприятно для восприятия звуков музыки. Такое время реверберации называют оптимальным ($T_{\text{опт}}$). Субъективное восприятие $T_{\text{опт}}$ требует и экспериментального статистически усредненного его определения. $T_{\text{опт}}$ оказалось зависимым от пропорций размеров помещения, т.е. формы и объема, от частоты, а также типа источника звука и характера музыкального произведения. Экспериментальные попытки определить $T_{\text{опт}}$ сопровождались теоретическими поисками.

На рис. 3.13 показаны зависимости оптимального времени реверберации от объема концертных залов. Кривая 1 построена на основе теоретических изысканий С.Я. Лифшица, который при выводе формулы (3.28) показал, что время реверберации в различных по объему помещениях должно быть таким, чтобы произведение уровня громкости L_G на время спадания (затухания) звука t_p в данных помещениях оставалось величиной постоянной, т.е. $t_p \cdot L_G = \text{const}$.

$$T_{\text{опт1}} = 0,41 \lg V, [\text{с}] \quad (3.28)$$

Как и любая математическая модель, построение С.Я. Лифшица не учитывает исчерпывающе, например, временных свойств слуха и возможных различий интенсивностей прямых и отраженных звуков на их восприятие.

На основании анализа Майера и Тиля, проведенного для безупречных с акустической точки зрения концертных залов, получена эмпирическая формула (кривая 2 на рис. 3.13):

$$T_{\text{опт2}} = 0,09 V^{1/3}. \quad (3.29)$$

Сравнивая кривые 1 и 2, можно заметить, что теоретические рекомендации несколько превышают экспериментальные при уменьшении объема залов.

Для залов с объемом $V = 200 \dots 300 \text{ м}^3$ рекомендуется $T_{\text{опт}}$ около 1 с, определяемое по эмпирической формуле (кривая 3 на рис. 3.13):

Рис. 3.11 (ссылка на рисунок в предыдущей части статьи)

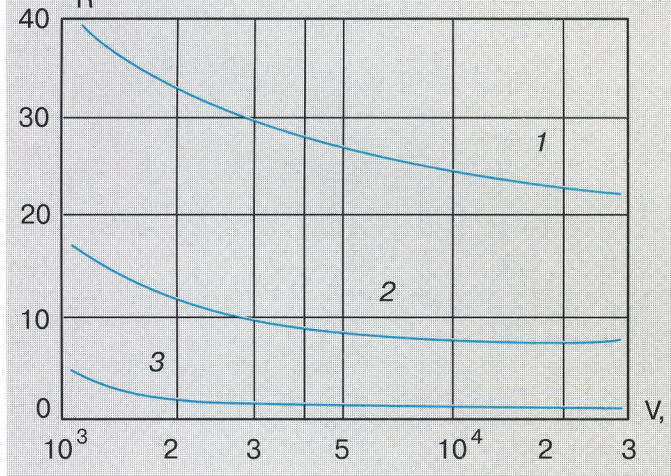
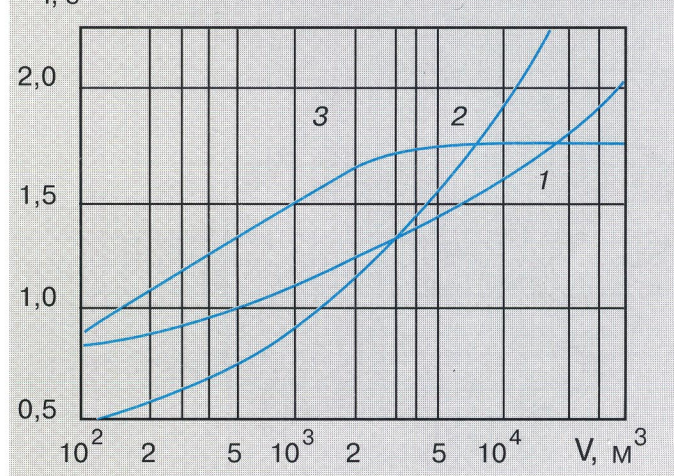


Рис. 3.13



$$T_{\text{опт}3} = 10 (0,167 \lg V - 0,374) \quad (3.30)$$

Многие исследователи предлагали иные модели зависимости $T_{\text{опт}}$ от объема помещений, но тенденции поведения кривых $T_{\text{опт}}$ в большинстве случаев приближались к рис. 3.13.

Влияние на $T_{\text{опт}}$ характера исполняемой музыки также существенно. Например, для современной музыки $T_{\text{опт}} = 1,48$ с, для классической $T_{\text{опт}} = 1,54$ с, для романтической $T_{\text{опт}} = 2,07$ с. Эти значения усреднены для большой группы слушателей, эстетические вкусы которых, разумеется, различны в соответствии с их психологической типизацией. Установлено также, что на каждого слушателя должен приходиться объем от 7 до 12 м³ при прослушивании музыкальных программ.

Весьма важное значение имеет зависимость $T_{\text{опт}}$ от частоты звука. Для обыкновенного слушателя, живущего в помещении с заданным объемом, остаются лишь два-три основных способа управлять акустическими свойствами помещения:

- во-первых, за счет изменения частотных свойств $T_{\text{опт}}$ с помощью звукопоглощающих материалов;
- во-вторых, изменение диффузности звукового поля посредством рассеивающих конструкций;
- в-третьих, изменяя структуры ранних отражений посредством установки отражающих звук элементов.

Электронные способы управления акустическими свойствами помещений оставим для тех, кто увлекается домашним театром.

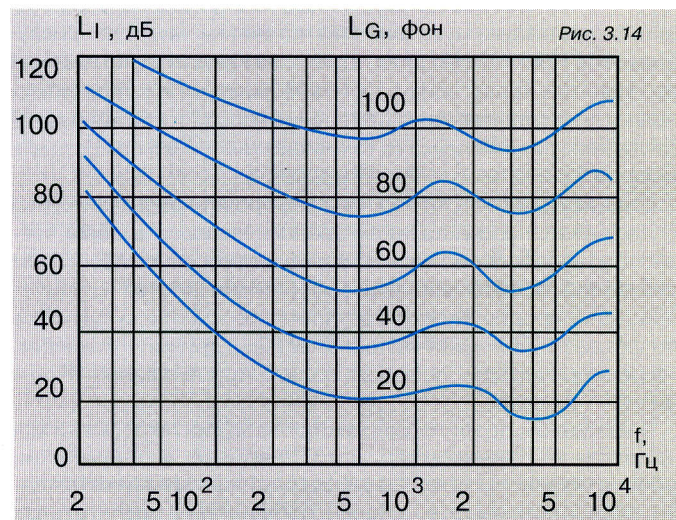
Зависимость $T_{\text{опт}}$ от частоты должна быть такой, чтобы отдельные составляющие сложных музыкальных звучаний взаимно не подчеркивались и не подавлялись. С.Я.Лифшиц полагал, что это требование можно выполнить при сохранении условия $t_p \cdot L_G = \text{const}$ для всех частотных составляющих музыкальных звучаний.

В разделе 2 при рассмотрении свойств слуха было отмечено, что уровни ощущения E различных частотных составляющих натуральных звучаний различны. Влияние этого фактора следует обязательно учитывать при проектировании комнаты прослушивания.

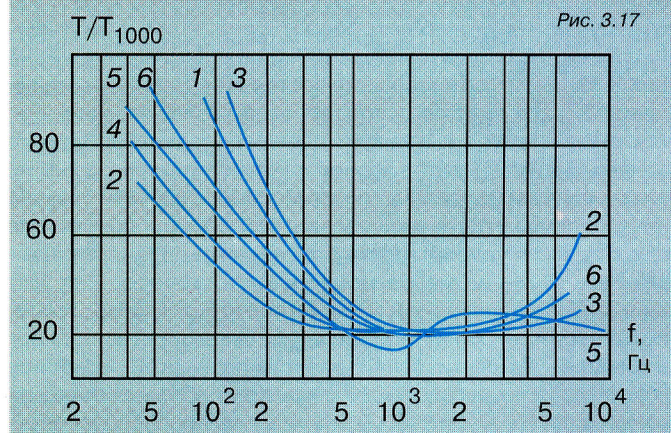
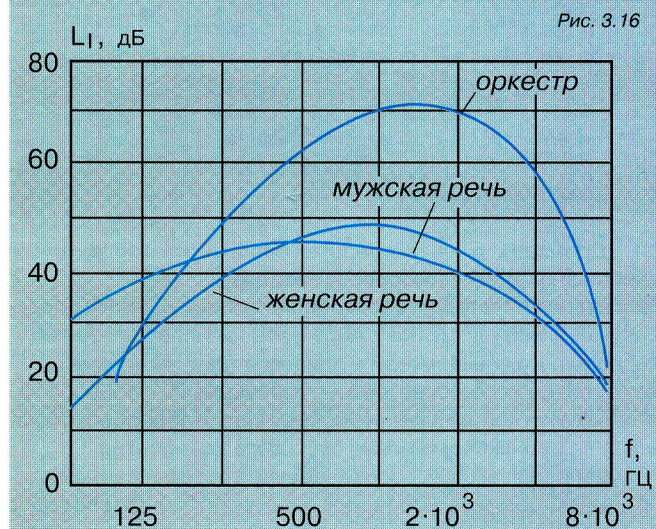
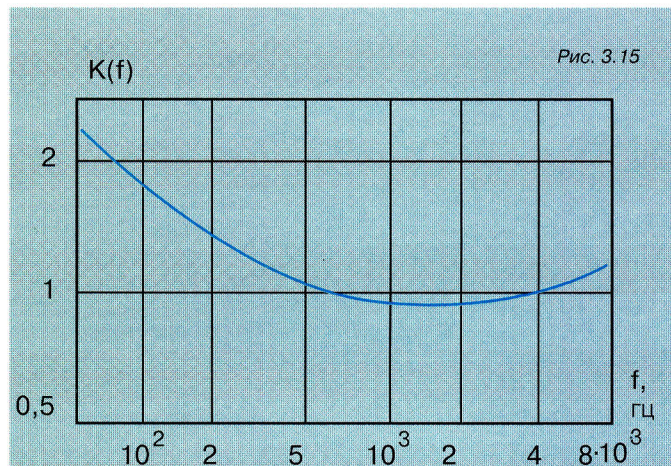
В разделе 2 рассмотрены также кривые равной громкости (рис. 2.2), повторенные для удобства читателя на рис. 3.14. Из рис. 3.14 следует, что при неизменном значении уровня интенсивности L_I уровень громкости L_G изменяется с изменением частоты обратно пропорционально $K(f)$:

$$L_G = L_I / K(f), \quad (3/31)$$

где коэффициент $K(f)$ рассчитан по кривым рис. 3.14, а его зависимость от частоты отображена на рис. 3.15.



Если же учесть, что L_I натуральных источников звука также имеет существенную частотную зависимость (рис. 3.16), то для сохранения постоянства $t_p \cdot L_G$ необходимо, чтобы время реверберации t_p было обратно пропорционально отношению (3.31). Определяя значения $K(f)$ и L_I для каждой из частот по рис. 3.14 и 3.16, можно получить зависимость оптимального времени реверберации $T_{\text{опт}}$ от частоты по критерию Лифшица (кривая 1, рис. 3.17) для музыкальных программ. Многие другие исследователи получали экспериментальные и теоретические выводы, отраженные в виде кривых: 2 — для речи, 3 — для музыки (Кнудсен);



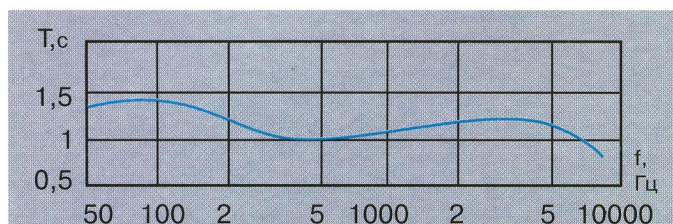


Рис. 3.18. Оптимальная частотная характеристика T , определенная при музыкальных испытаниях в тедии 3, Радиохусет, Копенгаген, объем около 1400 м³

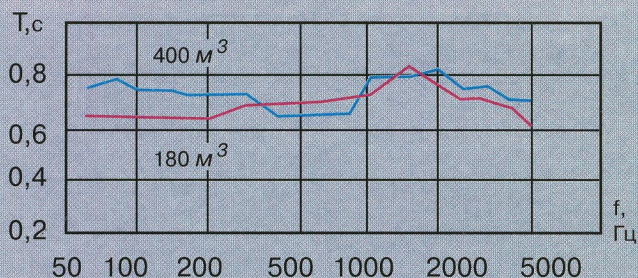


Рис. 3.19. Оптимальная частотная характеристика T , определенная в результате испытаний Бекеши в радиовещательной студии в Будапеште, объем 400 м³

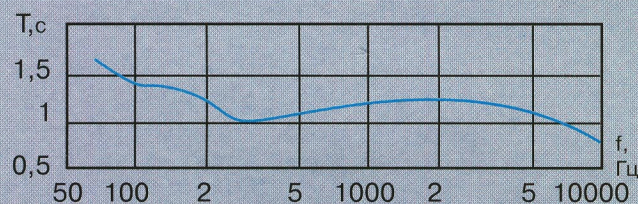


Рис. 3.20. Оптимальная частотная характеристика T , полученная во время строительства студии 2, Радиохусет, Копенгаген, объем около 2400 м³

4 — (Дрейзен); 5 — (экспериментальная кривая датского радиовещания); 6 — (Моррис и Никеди).

В. Кнудсен полагал, что для обеспечения высокого качества звучания все частотные компоненты сигнала должны затухать до порога слышимости к одному и тому же времени.

И. Дрейзен исходил из того, что флуктуации процесса затухания звука в помещении на всех частотах должны находиться на одинаковом уровне слухового восприятия.

Л. Контюри, пожалуй, единственный, кто указывал на опасность маскировки звучаний низкими частотами, рекомендуя для классической музыки прямолинейную частотную характеристику $T_{\text{опт}}$, а для эстрадной музыки уменьшенное значение $T_{\text{опт}}$ на низких и высоких частотах. Однако большинство частотных характеристик $T_{\text{опт}}$ в реальных залах с хорошими акустическими условиями имеют тенденции к подъему $T_{\text{опт}}$ ниже 200 Гц и выше 2000 Гц, что отображено на рис. 3.18...3.20. В. Йордан даже настаивает на том, что повышение $T_{\text{опт}}$ на высоких частотах имеет большее значение, нежели на низких, т.к. звучание деревянных духовых, а также струнных инструментов менее энергично, чем звучание мощных медных и ударных инструментов, максимум спектра которых находится в диапазоне 100...300 Гц, вследствие чего медные и ударные инструменты могут подавлять, маскировать звучание менее мощных инструментов. Для устранения этого явления В. Йордан полагает необходимым, чтобы частотная характеристика $T_{\text{опт}}$ была обратно пропорциональна энергетической зависимости этой наиболее мощной группы инструментов оркестра, т.е. имела меньшее значение на частотах 300...800 Гц (рис. 3.20). При распрост-

ранении звука оркестра над головами сидящих слушателей происходит его частотно зависимое поглощение в области 150...200 Гц, что несколько улучшает (но далеко не всегда) энергетический баланс для слушателей, расположившихся дальше 6 - 8 рядов. Но обычно такой провал в частотной характеристике требует повышения $T_{\text{опт}}$ на низких частотах.

Недостатки акустического проектирования иногда приводят к многократным переделкам залов. Например, зал филармонии в Нью-Йорке после открытия в 1962 году перестраивался пять раз. Ни одна из перестроек не оказалась удовлетворительной. Лишь в 1976 году после предварительных измерений на специально подготовленной в меньшем масштабе модели первоначальная облицовка интерьера была полностью удалена и осуществлена полная реконструкция зала, обошедшаяся в 6 млн. долларов. Такова цена ошибок проектирования. Именно в нью-йоркской филармонии среди прочих акустических недостатков был впервые выявлен «эффект слушательских мест» — значительный провал в области частот вблизи 150 Гц. Снова, как видите, диалектические противоречия: для одной части слушателей этот эффект приводит к ухудшению звучания, для другой — к некоторому улучшению.

Тем не менее теоретические (объективные) и экспериментальные (субъективные) методы анализа частотных характеристик $T_{\text{опт}}$ сходятся на том, что снижение $T_{\text{опт}}$ на низких частотах ухудшает пространственное впечатление. Снижение $T_{\text{опт}}$ на высоких частотах ухудшает прозрачность, ясность звучания.

До сих пор мы вели речь о влиянии на $T_{\text{опт}}$ объема и частотной характеристики помещения, а также на изменения в качестве звучания музыки при вариации этих параметров. Но и все компоненты аудиосистемы оказывают косвенное и прямое влияние на частотный и амплитудный баланс передаваемого через систему музыкального сигнала (см. рис. 3.16). Очевидно, что, изменив баланс (намеренно или же случайно, например, из-за несовершенства компонентов), мы изменим пропорции громкости звучания отдельных инструментов или группы инструментов относительно общей громкости оркестра. Влияние этого явления на слуховые впечатления описаны в «СА», №1, 1998 г. в разделе 2 данной статьи. Там же показано влияние расстановки музыкальных инструментов на баланс.

В этой связи следует заметить, что разделить понятия баланса и тембра весьма затруднительно, т.к. одни и те же музыкальные инструменты субъективно воспринимаются по-разному при изменении их расстановки, в то время как их собственные объективные тембры, разумеется, остаются неизменными. Поэтому следует ввести более глобальное понятие тембра как интегрального восприятия составляющих спектра звука музыкального источника на месте прослушивания. Применительно к проблемам акустики помещений это понятие характеризует степень влияния свойств помещения прослушивания на изменения типичного тембра какого-либо источника звука (в том числе типичного по составу и расположению инструментов оркестра).

Следует заметить, что баланс тембров (окраска звучания) определяется соотношением энергии низких и высоких частот. Субъективная оценка тембрального баланса зависит от типизации психофизиологических особенностей слушателей: одни предпочитают «светлое», «легковесное» звуковое поле, где преобладают высокие частоты, другие — «темное», «фундаментальное» звуковое поле с преобладанием низких частот.

Я назвал бы правильный тембральный интегральный музыкальный баланс квазистационарным фундаментом, обеспечивающим устойчивую макродинамику звукопередачи аудиосистемы, т.е. сбалансированность значительных

изменений громкости звучания оркестра во всем его частотном диапазоне. Причем макродинамика любого компонента аудиосистемы определяется его способностью передавать неискаженно как можно более низкие частоты, причем термин «неискаженно» подразумевает не только амплитудные, но и фазовые соотношения. На этом я делаю категорический акцент. Для обеспечения такой макродинамики совершенно непригодны, например, усилители мощности, имеющие полосу пропускания по низким частотам даже 10...20 Гц (-3 дБ). Это относится и к предусилителям в не меньшей степени. Обоснования будут даны позже, но концепция SAS определяет в качестве необходимой и достаточной полосу пропускания по низким частотам для электронных компонентов 0...0,5 Гц (-3 дБ). Очевидно, что таким требованиям могут удовлетворять весьма немногие транзисторные усилители. Среди ламповых — только «Maestro Grosso». Кстати, когда Миша Кучеренко впервые услышал точность работы «Maestro Grosso» в области баса, он уподобил свои впечатления работе усилителей Krell в этом диапазоне. Зная беззаветную преданность Миши ламповым триодным прямокальным усилителям, я с трудом смог понять, что он именно хвалит таким сравнением мой усилитель. Можно утверждать, что традиционное понятие «лампового звука» разрушено с помощью «Maestro Grosso» впервые и навсегда. Миша Кучеренко стал самым первым слушателем в лаборатории SAS, кто отметил это в столь точном сравнении «Maestro Grosso» с транзисторным Krell'ем. К счастью, в остальной части звукового диапазона сходство с транзисторным усилителем отсутствует. Музыка бывает или хорошей, или плохой. Усилители бывают или точные по звуку, или квази-музыкальные.

Следует заметить, что по концепции SAS выходное сопротивление как линейных, так и усилителей мощности в диапазоне частот начиная от 0,1 Гц не должно превышать 0,2...0,5 Ом без ООС. Как правило, усилители мощности на лампах имеют ограничение снизу 20 Гц (-3 дБ), причем при наличии ООС. Посмотрите в сводные таблицы параметров усилителей любого журнала: там вы не найдете выходного сопротивления, скорости нарастания сигнала (их стыдно обнародовать), зато 20 Гц (-3 дБ) — наиболее распространенная частота среза ламповых усилителей. Что бы по этому поводу ни говорили «субъективисты», в лаборатории SAS при непосредственном сравнении с «Maestro Grosso» становится ясно, что объективные параметры таких усилителей, увы, субъективно слышны как однозначно ущербные и для звука, и поэтому для музыки. И совершенно невозможно это скрыть, пытаюсь назвать работу таких усилителей «вовлекающей» или «музыкальной». Именно таким якобы «хайэндным» усилителям мы обязаны тем, что АС «гудят» на басах, а им охотно вторят недостаточно заглушенные на низких частотах маленькие комнаты прослушивания. Как видите, невозможно рассматривать акустику помещений в отрыве от остальной части аудиосистемы.

Еще одной причиной, по которой аудиосистемы должны быть максимально низкочастотными, является субъективный эффект боковых отражений. При достаточной эффективности всей аудиосистемы на низких частотах у слушателя возникает ощущение «погружения» в звуковое поле, ему кажется, что он охвачен звуком со всех сторон. При этом ширина и глубина саундстейджа превышают расстояния по базе между АС и между АС и стеной сзади АС, т.е. комната прослушивания «акустически увеличивается». Правда, АС непременно должны быть установлены параллельно малой стене комнаты, т.е. их акустические оси должны быть перпендикулярны малой стене.

Обещанный мною в предыдущем номере «СА» математизированный вариант расстановки АС и расположения слушателя показан на рис. 3.21.

Размеры комнаты под названием «золотой кубоид» рекомендованы AES (Audio Engineering Society): $10' \times 16' \times 26' = H \times B \times L = 3,05 \text{ м} \times 4,9 \text{ м} \times 7,93 \text{ м}$. Такие пропорции основаны на так называемых числах Фибоначчи, в частности на «золотом сечении», когда отношение одного размера к другому имеет числовое значение, близкое к 0,618034:

$$\frac{H}{B} = \frac{3,05}{4,9} = 0,622; \quad \frac{H}{L} = \frac{3,05}{7,93} = 0,385; \quad \frac{B}{L} = \frac{4,9}{7,93} = 0,618$$

Для лаборатории SAS размеры $H \times B \times L = 2,56 \text{ м} \times 3,05 \text{ м} \times 5,25 \text{ м}$ (на рис. 3.21 указаны в скобках) гармонизированы по другим значениям чисел Фибоначчи:

$$\frac{H}{B} = \frac{2,56}{3,05} = 0,839; \quad \frac{H}{L} = \frac{2,56}{5,25} = 0,488; \quad \frac{B}{L} = \frac{3,05}{5,25} = 0,581$$

Для примера приведена таблица иррациональных отношений, основанных на аддитивном ряде чисел Фибоначчи, посредством которых можно гармонизировать не только комнаты прослушивания, но и любые изделия и конструкции. В частности посредством таблицы этих чисел гармонизированы все элементы усилителя «Maestro Grosso». Концепция его дизайна определена мною, а реализована в чертежах и конструкции Александром Мишуковым, впервые выполнявшим подобную работу. Успешная реализация концепции дизайна в сложной пространственной композиции была бы невозможна без таблицы чисел Фибоначчи (табл. 3.1).

Табл. 3.1

1,000	0,730	0,553	0,403	0,279
0,944	0,691	0,528	0,382	0,249
0,897	0,653	0,472	0,361	0,223
0,854	0,618	0,451	0,326	0,202
0,764	0,583	0,428	0,292	0,112

Этот же подход, разумеется, я использовал при создании дизайна всех компонентов систем «Neophyte», «Fanatic», а теперь и усилителя «Impresario», опытный экземпляр которого вскоре появится в салоне «Гирос». Методику применения чисел Фибоначчи при конструировании усилителей на примере «Impresario» я постараюсь рассмотреть в отдельной статье.

Вернемся к комнате прослушивания с пропорциями по AES. Джордж Кардас предложил способ определения положения АС и слушателя, основанный также на числах Фибоначчи (размечено черным цветом на рис. 3.21). Для лаборатории SAS голубым цветом показано расположение АС и слушателя, если руководствоваться способом Кардаса. Красным цветом показано фактическое, оптимизированное по слуху расположение АС Mirage M1 и слушателя. Вероятно, биполярный принцип работы Mirage M1 потребовал некоторых отступлений от способа Кардаса при определении их расстояния от стены. Остальные расстояния весьма близки к таковым по Кардасу.

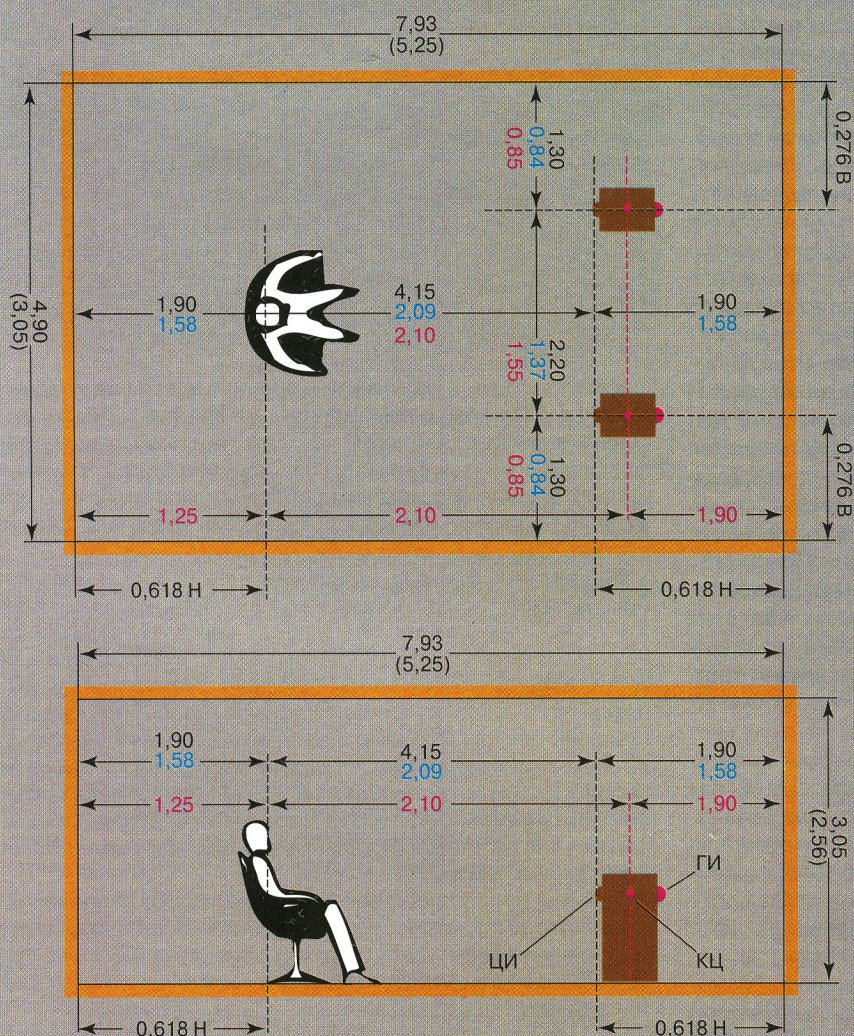
Если вы проанализируете табл. 3.2, где приведены расчеты f_n по (3.1), вновь повторенной из-за опечатки в предыдущем номере «СА», то увидите неслучайность выбора по слуху расположения АС и слушателя.

$$f_n = \frac{C_0}{2} \sqrt{\left(\frac{n_L}{L}\right)^2 + \left(\frac{n_B}{B}\right)^2 + \left(\frac{n_H}{H}\right)^2} \quad (3.1)$$

Для того, чтобы не попадать в пучности звуковых волн в помещении, требуется выбирать такие значения относительных

Табл. 3.2

№	n_L	n_B	n_H	f_n , Гц	λ , м	$\lambda/3$, м	для "SAS" по Cardas	для "SAS" по слуху	примечания
1	1	0	0	32	10,70	3,55	—	—	—
2	0	1	0	56	6,10	2,03	2,09	2,10 1,90	АС - слушатель АС - стена
3	1	1	0	64	5,33	1,78	—	—	—
4	0	0	1	67	5,09	1,70	—	—	—
5	1	0	1	74	4,61	1,54	1,58	—	—
6	0	1	1	87	3,92	1,31	1,37	1,35	между АС
7	1	1	1	93	3,67	1,22	—	1,25	слушатель- задняя стена



ГИ — полный второй комплект излучателей биполярных АС;
 КЦ — квазицентр излучения биполярных АС;
 ЦИ — полный комплект излучателей и центр излучения традиционных АС

Рис. 3.21

расстояний между АС, слушателем и АС, стенами и АС, слушателем и стеной, чтобы эти расстояния были близки к $\lambda/3$ относительно главных мод (частот) звуковых волн, определенных по (3.1) и представленных в табл. 3.2.

Расстояния от АС до боковых стен:

1. Расчет по Кардасу для SAS-Lab:
 $0,276 \cdot B = 0,276 \cdot 3,05 = 0,84$ м;

2. Фактическое по слуху для SAS-Lab: 0,85 м = $H/3 = 2,56/3$.

Расстояние между АС:

1. Расчет по Кардасу для SAS-Lab:
 $B - 2 \cdot 0,276 B = 3,05 - 2 \cdot 0,276 \cdot 3,05 = 1,37$ м;

2. Фактическое по слуху для SAS-Lab: 1,35 м; ($1,35/H = 0,527$; ближайшее число Фибоначчи 0,528).

Расстояние от слушателя до АС:

1. Расчет по Кардасу для SAS-Lab:
 $L - 2 \cdot 0,618 \cdot H = 5,25 - 2 \cdot 0,618 \cdot 2,56 = 2,09$ м;

2. Фактическое по слуху для SAS-Lab: 2,1 м ($2,1/H = 0,82$; ближайшее число Фибоначчи 0,854).

Расстояние от слушателя до задней стены:

1. Расчет по Кардасу для SAS-Lab:
 $0,618 H = 0,618 \cdot 2,56 = 1,58$ м;

2. Фактическое по слуху для SAS-Lab: 1,25 м ($1,25/H = 0,488$; ближайшее число Фибоначчи 0,472).

Позади слушателя сложено наибольшее количество стройматериалов, что значительно увеличивает звукопоглощение в этой части лаборатории, что, видимо, привело к смещению оптимальной зоны для слушателя.

Расстояние от АС до стены:

1. Расчет по Кардасу для SAS-Lab:
 $0,618 \cdot H = 0,618 \cdot 2,56 = 1,58$ м;

2. Фактическое по слуху для SAS-Lab: 1,9 м ($1,9/H = 0,742$; ближайшее число Фибоначчи 0,73).

Как видите, слуховой контроль дает оптимальное расположение АС и слушателя, когда знаешь, что и как контролировать. Числа Фибоначчи вполне адекватно показывают точность слухового аппарата для оптимизации зоны прослушивания в лаборатории SAS. Читатели, опираясь на изложенный материал, смогут проверить его применимость в своих комнатах прослушивания.

Как значительно улучшить

АС Klipsch LaScala

В настоящее время среди аудиофилов намного более широкое распространение, чем раньше, получили рупорные акустические системы. Этому, на мой взгляд, способствуют следующие особенности таких АС:

- высокая эффективность акустического излучения (более 100 дБ/Вт/м), позволяющая использовать маломощные ламповые усилители;
- высокая разрешающая способность.

Среди рупорных систем с точки зрения соотношения «цена — качество» весьма выгодно выделяется модель Klipsch LaScala, обеспечивающая при сравнительно небольших для рупорных систем размерах высокое качество звуковоспроизведения. С учетом розничной цены приблизительно \$2500 за пару ее привлекательность для аудиофилов не вызывает сомнений. Эти обстоятельства способствовали тому, что АС Klipsch LaScala выпускаются уже несколько десятков лет без каких-либо конструктивных изменений. Диапазон воспроизводимых частот этих АС, по данным фирмы-изготовителя, составляет 45 Гц÷17 кГц (± 5 дБ), чувствительность 104 дБ/Вт/м, частота раздела рабочих полос 400 Гц.

Однако, как и любые другие рупорные системы среднего размера, LaScala все же недостаточно хорошо воспроизводит нижнюю часть звукового спектра. Это вызвано использованием в низкочастотном излучателе свернутого рупора сравнительно небольших размеров. Кривая «а» на рис. 2

показывает зависимость модуля полного входного сопротивления Z низкочастотного рупорного излучателя от частоты (масштаб по оси частот линейный). Частота резонанса головки в акустическом оформлении составляет 63 Гц, на частоте 45 Гц ее отдача по сравнению с отдачей на частоте 63 Гц снижается на 8÷10 дБ.

Для существенного улучшения работы акустических систем LaScala в нижней части звукового диапазона представляется разумным значительно увеличить рабочий объем низкочастотного излучателя, а также использовать звуковую волну, создаваемую тыльной стороной диффузора низкочастотной головки. Иными словами, необходимо дополнить существующую конструкцию акустической системы рупорным фазоинвертором, что легко выполнимо. При этом изначальная конструкция практически не затрагивается. Снимается лишь плита с днища корпуса, которая крепится с помощью 16 шурупов. При необходимости АС могут быть без проблем возвращены в первоначальное состояние.

Рупорный фазоинвертор представляет собой прямоугольный параллелепипед с расположенной внутри наклонной панелью. Высота фазоинвертора составляет 300 мм, размеры в плане точно соответствуют размерам корпуса АС. Размеры входного отверстия на его верхней панели несколько превышают размеры выреза на днище корпуса. Эскиз резонатора приведен на рис. 1. Акустическая система устанавливается (через прокладку из войлока) на фазоинвертор, как показано на рисунке. Плоскость выходного отверстия фазоинвертора должна совпадать с плоскостью тыльной стороны АС. Такая ориентация фазоинвертора наиболее эффективна, так как при этом обеспечивается наилучшее совпадение по фазе прямого низкочастотного излучения низкочастотной головки АС и излучения рупорного фазоинвертора. Установка дополнительного рупорного фазоинвертора значительно увеличивает внутренний рабочий объем акустического оформления, в котором установлена низкочастотная головка. При этом степень демпфирования головки уменьшается, а ее отдача

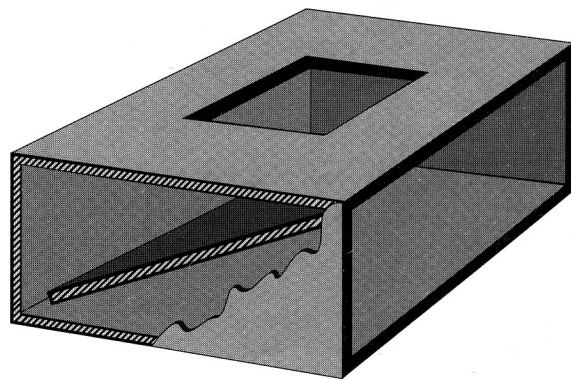
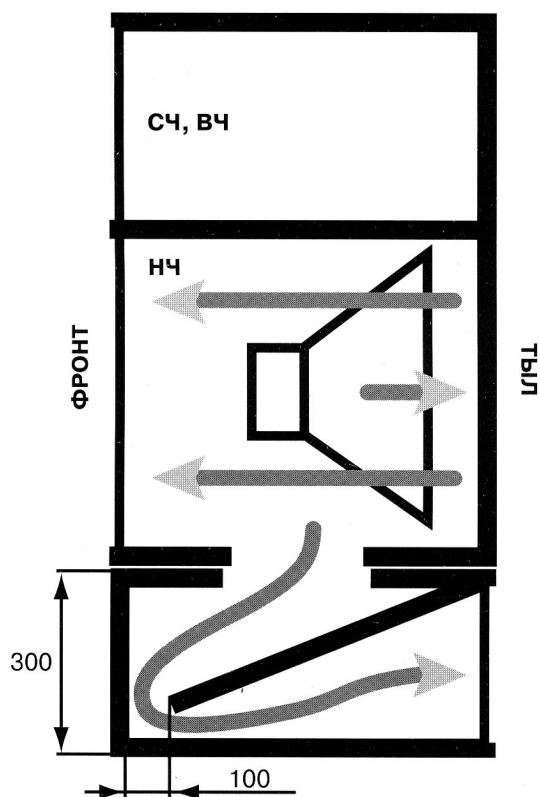
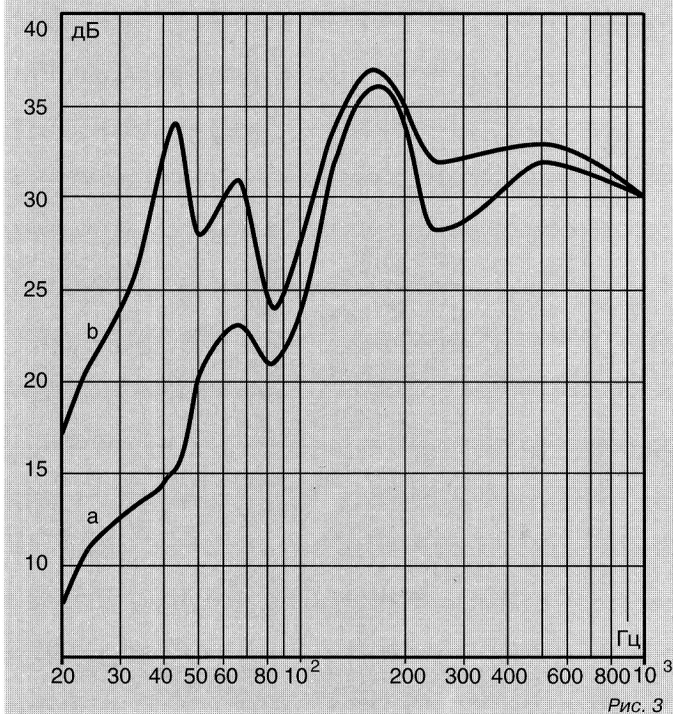
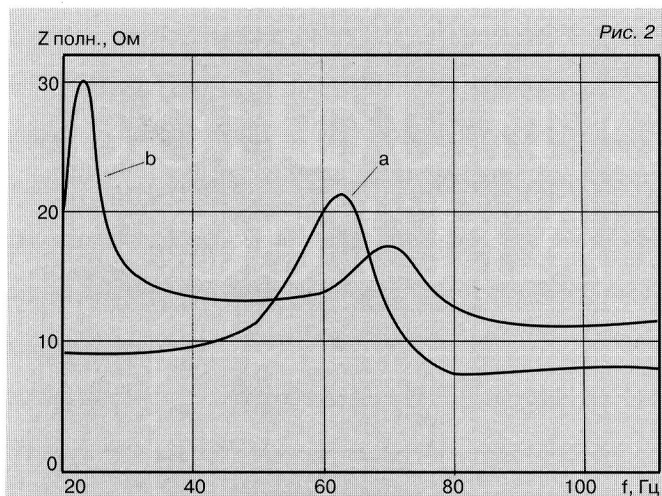


Рис. 1



во всей полосе рабочих частот увеличивается. Одновременно, как и в любом фазоинверторе, эффективно используется излучение тыльной стороны диффузора головки громко-

Частота (Гц)	Акустическое давление без резонатора (дБ)	Акустическое давление с резонатором (дБ)
20	8	17
25	11	21
33	13	26
42	15	34
50	20	28
67	23	31
83	21	24
100	27	28
133	32	33
167	36	37
200	34	35
250	28	32
500	32	33
1000	30	30

говорителя, что значительно увеличивает эффективность работы АС в области баса и мид-баса. Звучание в целом существенно улучшается, смягчается, не теряя при этом детальности.

Зависимость модуля полного входного сопротивления Z от частоты модернизированного низкочастотного излучателя акустической системы представлена на рис. 2, кривая «b». Она представляет собой классическую двугорбую характеристику акустической системы фазоинверсного типа.

Модернизированная АС характеризуется увеличенной отдачей в диапазоне частот до 400 Гц с одновременным расширением нижней границы воспроизводимых частот вплоть до 25÷30 Гц. Эти данные подтверждены прямыми акустическими измерениями АЧХ, выполненными в домашних условиях в комнате средней заглушенности. В качестве источника испытательного сигнала использовался компакт-диск «Test CD-2 (Stereophile STPH004-2)», с которого воспроизводился розовый шум в частотных полосах протяженностью 1/3 октавы. В измерительный тракт был включен микрофон фирмы «Брюль и Кьер». Измерения проводились в диапазоне частот 20÷1000 Гц (см. таблицу и рис. 3).

По своим акустическим характеристикам модифицированные Klipsch LaScala не уступают системам Klipschorn, существенно выигрывая в габаритах и стоимости. Кроме того, при соответствующем оформлении рупорного фазоинвертора внешний вид АС также значительно улучшается.

Автор предлагает владельцам акустических систем LaScala свои услуги по их модернизации. Контактный телефон: (095) 511-6400.

Игорь Дубов

Вопрос доработки или усовершенствования любого технического устройства обычно начинают с постановки двух вопросов:

1. Что я хочу получить от модернизации;
2. Можно ли провести такую работу с данным конкретным устройством. Нахождение компромисса позволяет в дальнейшем определить конкретные шаги доработки.

В данном случае автор, видимо, абстрагировался от второго вопроса, и результаты проведенной работы это подтверждают.

Но обо всем по порядку (только не считите это продолжением темы «Это все неправильно» — мы не имеем к ней никакого отношения).

Во-первых, резонатор, добавленный автором к акустическим системам, не является рупорным (по определению). Во-вторых, на частотах, где эффективность резонатора максимальна, длина волны превышает 4 метра. Поэтому ориентация выходного отверстия может быть произвольной. Другое дело, что возможные собственные резонансы при излучении в «тыл» могут быть менее заметны. Теперь, как говорят юмористы, о главном. График импеданса акустической системы после доработки говорит о том, что соотношение объема резонатора и площади выходного

отверстия выбрано не оптимально (см. Class A, октябрь 1997 г., стр.26). Соотношение амплитуд двух резонансов должно быть примерно равным или резонанс фазоинвертора должен быть чуть меньше (см. также The Loudspeaker Design Cookbook — by Vance Dickason, Audio Amateur Press, 1995). Самым же спорным в данной конструкции является выбор низкой частоты настройки фазоинвертора. Погоня за хорошим басом — дело богоугодное. Но стремление снизить граничную частоту акустической системы любыми средствами не всегда приводит к хорошему результату. Это иллюстрируется и провалом АЧХ в полосе частот 70÷120 Гц. Вполне возможно, что настройка резонатора на более высокую частоту и выбор оптимального соотношения его объема и площади выходного отверстия привели бы к более предсказуемым результатам. К сожалению, в статье не упоминается о том, что автор измерил параметры низкочастотной головки (например, добротность) перед проведением доработки. Может быть, она и не рассчитана для работы в фазоинверсном оформлении.

Дмитрий Карпунин, Георгий Соколов

<http://www.orc.ru/~dimaudi>