

Секреты ламповой High-End ТЕХНОЛОГИИ

Станислав Симулкин, г.Алчевск Луганской обл.

Создание высококачественной звукоусилительной техники всегда являлось одним из наиболее широких увлечений радиолюбителей. Начав с изготовления простейших УНЧ для радиоприемников, энтузиасты электроники оставались на «передовых линиях» науки и техники, проявляя при этом чудеса находчивости и изобретательности. Все было подчинено одному: сохранить и передать живой звук. Развитию этого направления способствовало появление фундаментальных трудов таких авторов, как Г.В.Войшвилло («Общий курс радиотехники» Москва, Связьиздат, 1950), В.К.Иоффе («Электроакустика» Москва, Связьиздат, 1954), Р.М.Малинин («Усилители низкой частоты» Москва-Ленинград, Госэнергоиздат, 1953) и других. В 60-х годах развитие звукоусилительных устройств шло по пути улучшения технических характеристик: повышения выходной мощности, уменьшения шумов и нелинейных искажений, расширения полосы воспроизводимых частот.

Примерно тогда же появились первые транзисторные усилители. Поначалу транзисторные схемы уступали ламповым по параметрам, но быстрое развитие полупроводниковой техники дало возможность еще в начале-середине 70-х годов собирать усилители со следующими характеристиками: полоса частот 10-100000 Гц, коэффициент гармоник $K_g=1-0,01\%$; коэффициент демпфирования $K_d=100$ против 50 Гц-16000 (максимум 30000) Гц; $K_g=1-5\%$; $K_d=3-15$ у ламповых схем. Казалось, ура, вопрос высококачественного звуковоспроизведения закрыт, однако, надежды не оправдались. Подавляющее большинство как профессионалов, так и рядовых любителей отмечало неестественное «мертвое» звучание транзисторных усилителей. Началось многолетнее исследование этого парадокса, борьба за улучшение параметров, продолжающиеся по сей день. Наступила эпоха Hi-Fi - господства технических характеристик, изощренных инженерных решений, идей борьбы с динамическими искажениями, пропагандируемых такими специалистами, как М.Отала или М.Лич. Все громче звучали призывы: «Долой лампы, ведь у них хуже параметры, а проблемы полупроводниковой техники - «детские болезни», мы что-то «померяем», потом «привинтим или приклеим» и все будет «ОК». В результате ситуация запутывалась еще больше, объективные измерения частенко не срабатывали, усилители с «предельными» и даже «запредельными» характеристиками нередко проигрывали своим куда более скромным «собратьям», а в звучании ламповых усилителей черно-белых телевизоров или радиол 1-го класса выпуска 60-х годов было что-то завораживающее - они давали *живой* звук.

Поскольку звуковоспроизводящая техника нужна для прослушивания музыки, а не как источник сигнала для измерительного комплекса, на смену Hi-Fi пришел High-End - эпоха *художественных* достоинств звучания. Радиолампы вернулись в область звукоусиления, но, к сожалению, вместе с ними пришли и новые крайности: «с лампой и жестянка «запоет», «измерения не срабатывают - вон их!». На рынок мощным потоком хлынули низкопробные поделки и подделки, у которых общее с ламповыми усилителями - разве что светящиеся «стеклянные колбы». Между тем, создание действительно *звучащих* схем на лампах задача не столь простая. Конечно, «живучесть» радиоламп не идет ни в какое сравнение с полупроводниковыми приборами, к тому же более простые схемные реше-

ния, в первом случае, значительно облегчают работу. Я не хочу пугать читателей, особенно начинающих радиолюбителей, и преувеличивать трудности, просто следует подчеркнуть, что легких побед не бывает. Самостоятельное выполнение всех электрических расчетов - задача весьма сложная, а различная литература, особенно последних лет, при бездумном и не критичном использовании приведенных в ней формул и методик может принести больше вреда, чем пользы, и навсегда отбить всякое желание работать с ламповыми схемами. Это связано с публикацией в этих работах весьма разнообразной, а нередко и противоречивой информации. Строго говоря, электроакустика - это одна из тех областей электроники, в которой только математические расчеты, четкие правила и объективные измерения тесно переплетаются с методом «разрежь, приклей (припаяй) и попробуй (послушай)», причем экспериментальная проверка и контрольные прослушивания даже важнее. Что касается выполнения расчетов электрических режимов, то теоретический материал и многолетние наработки по данному вопросу сейчас мною систематизируются и в будущем будут предложены читателям. В то же время за многие годы радиолюбителями создано немало хороших ламповых схем, которые можно с успехом повторить.

Именно для тех радиолюбителей, кто впервые решился собрать ламповую схему, предназначается данный цикл статей. В них последовательно шаг за шагом, от простого к сложному, рассматриваются правила монтажа и настройки, причем все приведенные схемы взяты из моего личного архива и потому ранее нигде не публиковались. В описаниях конструкций будут приводиться лишь некоторые технические характеристики, необходимые в качестве иллюстративного материала, а главный упор сделан на электрические режимы элементов схем. Малое количество параметров объясняется тем, что объективные измерения бесполезны, а тем, что они являются всего лишь *одним* из инструментов, с помощью которого можно с большей или меньшей степенью вероятности предположить (предсказать), как будет работать данное устройство. Основной и к тому же самый совершенный «прибор» в области электроакустики человеку дан природой - ухо, поэтому, после каждой переделки в схеме необходимо «слушать, слушать и еще раз слушать». В качестве примера достаточно сказать, что всего-навсего один неудачно расположенный проводник, по которому проходит звуковой сигнал, может напрочь «убить» звук. Цель написания данных статей - дать начальную базу и возможность поверить в собственные силы радиолюбителя, ранее никогда не собиравшим ламповые устройства, и предостеречь от явных «ляпов». Необходимо сказать, что совершенно недопустимо рассматривать данные рекомендации как догму, поскольку получение «живого» звука - дело, все-таки, «живое и творческое». Поэтому экспериментировать в данном случае не только можно, но и нужно, а в некоторых случаях будет и прямо предложено «поиграться» с тем или иным элементом схемы и сделать соответствующие выводы.

Итак, что же нужно для первых шагов на этом поприще? Перво-наперво избавиться от страха перед радиолампами (не боги горшки обжигают), во-вторых, иметь следующий минимум измерительных приборов: а) ампервольтметр (тестер); б) генератор синусоидальных сигналов ЗЧ, хотя бы простейший с двумя фиксированными частотами 400 и 10000

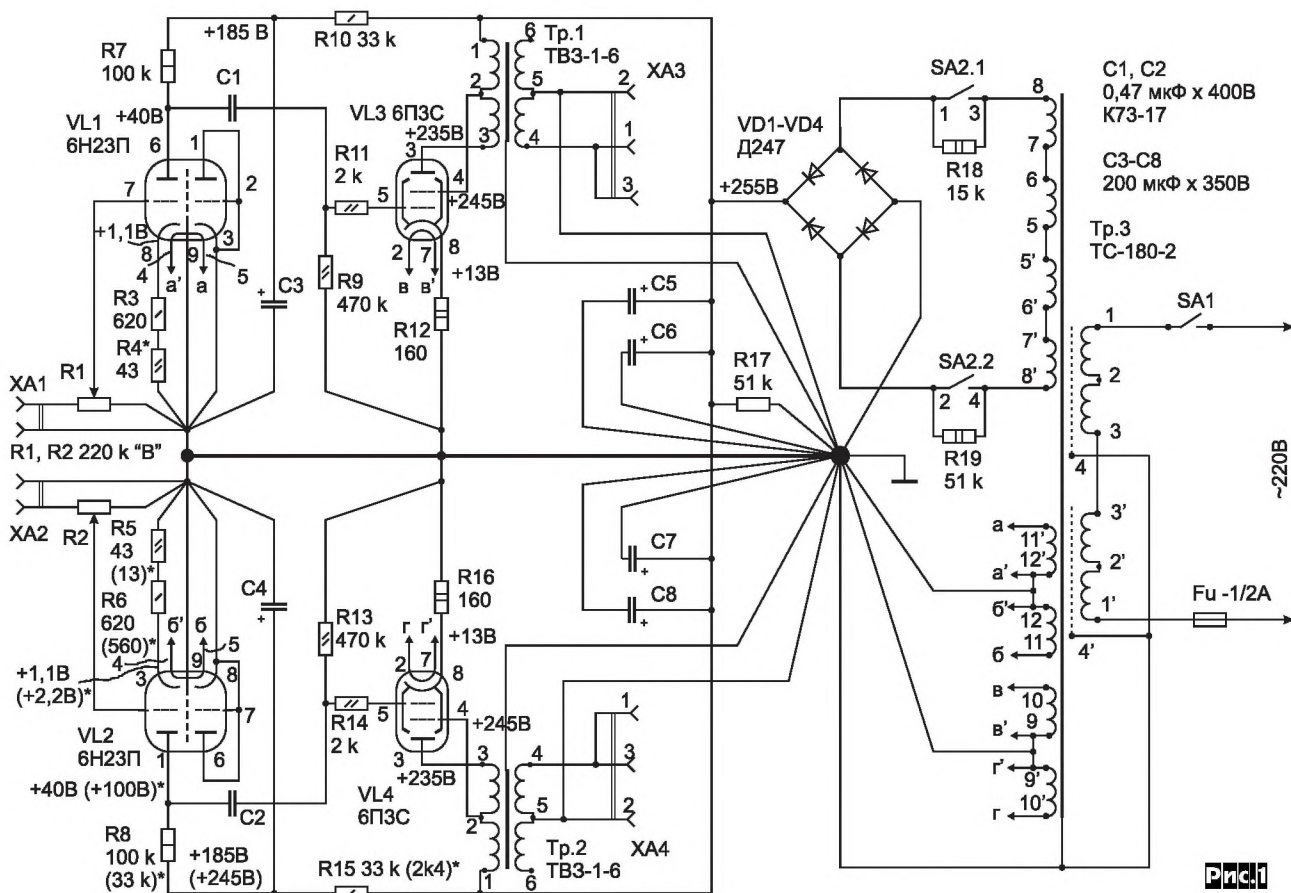
Гц. Такие устройства, собранные на одном-двух транзисторах, неоднократно публиковались в радиолюбительской литературе; в) очень полезен и простейший осциллограф, хотя на первых порах можно обойтись и без него. Ну, а теперь делаем

ПЕРВЫЙ ШАГ. Многих радиолюбителей в схемах ламповых усилителей больше всего пугает необходимость самому мотать сложные по конструкции выходные и громоздкие сетевые (далее может встречаться устаревший термин «силовые») трансформаторы. В связи с этим для первых опытов воспользуемся готовыми изделиями: а) трансформатор выходной звука ТВЗ-1-6 (ТУ 0.473.000), они применялись в черно-белых ламповых телевизорах 1-го класса и выносной акустической системой - 2 шт, б) трансформатор питания ТС-180, трансформатор силовой от черно-белых ламповых телевизоров 2-го или 3-го классов. То, что предложенные выходные трансформаторы предназначены для двухтактного оконечного каскада и к данной схеме, в общем-то не подходят, сейчас не имеет принципиального значения. На первом этапе важно собрать устройство, заставить его работать и научиться производить измерения. Первоначальный успех, пусть даже очень скромный, навсегда излечит Вас от «лампобоязни», к тому же аппетит, как известно, приходит во время еды, и выходные трансформаторы можно будет намотать самому (об этом будет сказано далее) специально для этого усилителя. Трансформаторы ТВЗ-1-6 не пропадут и пригодятся в дальнейших экспериментах.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА приведена на рис. 1. Как видно из схемы усилитель двухкаскадный, без общей ООС, с однотактным оконечным каскадом. Первый каскад собран на одной половинке лампы VL1 (VL2) типа 6Н23П, которая представляет собой двойной малощумящий ВЧ триод для каскодных схем. На первый взгляд может показаться довольно странным применение такой исходно не «звуковой» лампы. Однако, её низкий уровень шума, сравнительно малое внутреннее сопротивление и хорошая линейность говорят в пользу такого выбора. Интересно отметить, что этот триод с клеймом российской фирмы «Sovtek» очень часто встречается в изделиях «хай-эндовских» фирм всего мира и скорее всего именно поэтому в каталогах Hi-Fi-магазинов Европы на пару специально отобранных ламп этого типа указана цена до 180\$(!), в то время как отпускная цена завода изготовителя около 4\$ за штуку¹.

После такого отступления пора вернуться к схеме и рассмотреть более подробно работу одного из каналов усилителя. Входной сигнал с разьема ХА1 приходит на резистор R1 без гальванической развязки по постоянному току. Её отсутствие объясняется не стремлением сэкономить один конденсатор, а желанием уменьшить количество «заборов» на пути звукового сигнала. Такое схемное решение вполне безопасно, поскольку появление постоянного потенциала на управляющей сетке происходит только в случае пробоя либо замыкания промежутка сетка-анод, что в мало-

¹ Зарубежные фирмы предпочитают применять лампу 6Н23П-ЕВ. Дополнительные буквенные индексы обозначают: В - повышенную механическую прочность и надёжность; Е - долговечность; И - лампы, предназначенные для работы в импульсном режиме; К - высокую виброустойчивость. В «застойные» годы индексы ЕВ или ЕВК присваивались, как правило, элементам, изготовленным и отобранным для нужд военного-промышленного комплекса. Отсутствие индексов обычно обозначало «бытовуху».



мощных лампах случается исключительно редко². Предыдущее устройство (предварительный усилитель и т.п.) либо уже имеет разделительный конденсатор, либо выполнено по симметричной схеме, например на ОУ, а наличие небольшого постоянного смещения в пределах 0,1-0,3 В на работе ламповой схемы сколько-нибудь заметно не сказывается.

Резистор R1 помимо функции регулятора громкости дополнительно является сопротивлением утечки первой сетки лампы VL1. Что же это за сопротивление? При работе лампы часть электронов, испускаемых катодом, попадает на сетку, к тому же возможно и появление положительных ионов, которые притягиваются к сетке. Именно это сопротивление должно обеспечивать надежное стекание таких зарядов. Вот почему в паспортных данных электронных ламп приводится максимально допустимое значение этого сопротивления, которое обычно обозначается $R_{c, max}$. Для 6H23P этот параметр не более 1 МОм. Поскольку эксплуатировать лампы в предельно допустимых режимах не рекомендуется, резистор R1 следует взять не более 680 кОм. С другой стороны чрезмерно уменьшать это сопротивление не следует, так как оно является нагрузкой предыдущего устройства по переменному току. Действовавший не столь давно ГОСТ 24838-81 (СТ СЭВ 1080-78) четко нормировал входное сопротивление усилителя величиной 220 кОм. Для импортной аппаратуры какого-либо единого стандарта не существует, но в большинстве случаев это значение находится в пределах 30-100 кОм. Учитывая все изложенное, выбираем резистор с номинальным сопротивлением 220

кОм. Этот резистор должен быть группы «В» с экспоненциальной зависимостью сопротивления от угла поворота оси, обязательно непроволочный³, лучше всего металлопленочный. В дальнейшем его можно будет заменить дискретным, но его контактные группы допустимы только позолоченные. Применять дискретные резисторы с посеребрёнными и даже чисто серебряными контактами в звукоусилительной аппаратуре высокого класса не следует. Это связано с тем, что под воздействием атмосферы, особенно в крупных промышленных городах, серебро покрывается пленкой окислов, которая для электрического сигнала является цепочкой «плохих диодов». Характерная особенность данной схемы заключается в отдельной регулировке громкости каждого канала, что позволило отказаться от специального регулятора стереобаланса.

Собственно предварительный усилитель напряжения⁴ собран по классической схеме. Анодной нагрузкой является резистор R7. Автоматическое смещение создается за счет падения напряжения на катодном сопротивлении, которое для более точного задания рабочего режима собрано из двух резисторов R3 и R4. Все выводы неиспользуемого триода VL1 соединены с общим проводом. Такое казалось бы «расточительное» включение лампы применено по следующим причинам: во-первых, упрощается монтаж схемы и соответственно уменьшается длина проводников; во-вторых, уменьшаются взаимные наводки между каналами; в третьих, «лишний» триод понадобится при изготовлении этого каскада по двухтактной схеме⁵.

Коэффициент усиления равняется 22,5 и обеспечивает номинальную чувствительность усилителя порядка 0,8 В, чего вполне достаточно для непосредственного подключения к проигрывателю компакт-дисков либо к выходу конвертера цифро-аналогового преобразователя. У подавляющего большинства таких устройств номинальное выходное напряжение около 2 В. Чтобы повысить чувствительность усилителя, например в случае подключения к кассетной деке, необходимо устранить влияние местной ООС, для чего достаточно зашунтировать цепочку R3 и R4 конденсатором емкостью 400-700 мкФ с номинальным напряжением не менее 6,3 В. Коэффициент усиления в этом случае возрастает до 27.

Следует отметить, что к использованию электролитических конденсаторов в цепях прохождения звукового сигнала и сигнальных ООС подходить нужно с очень большой осторожностью, поскольку эти элементы вносят значительные искажения. Данный вопрос более подробно освещен в [1]. Любопытные читатели могут поставить следующий эксперимент. В одном из каналов зашунтируем катодные резисторы первого каскада алюминиевым оксидно-электролитическим конденсатором типа K50-20, 50-24, K50-29 или K50-31, второй канал оставляем без изменений. После этого включаем питание, даем постоять усилителю под напряжением в

² В мощных выходных и генераторных лампах это случается гораздо чаще, особенно у прямокальных. В связи с этим «качать» ламповый оконечный каскад полупроводниковым устройством, а тем более дорогим «хай-эндоским» аппаратом без гальванической развязки не следует.

³ Для предотвращения влияния паразитной индуктивности.

⁴ Поскольку этот каскад является предвыходным, вполне корректно употребление жаргонного названия «драйвер».

⁵ Входные и промежуточные каскады нередко собирают по двухтактной схеме с последовательным управлением (возбуждением) однофазным напряжением (Shunt Regulated Push Pull), сокращенно SRPP, даже если оконечный каскад однотактный. Такое построение позволяет увеличить выходное напряжение и нагрузочную способность, уменьшить нелинейные искажения по сравнению с классической схемой. Широко применяется самыми крутыми «хай-эндоскими» фирмами «Audio Note», «Sonic Frontiers» и др.

течение 24 часов⁶ и проводим прослушивание. Далее во втором канале надо установить конденсатор иного типа, например, танталовый оксидный объемно-пористый серии K52. Завершив прослушивание, элемент, который показал худшие результаты, удаляют и проводят контрольное сравнение канала, в котором установлен конденсатор лучшего качества, с каналом без шунтирующего конденсатора. Таким образом Вы можете проверить пригодность для высококачественного звуковоспроизведения деталей различного типа и конструкций. Необходимо предупредить, что четко выраженное различие в звучании усилителя можно услышать только при наличии высококачественного источника сигнала, а также соответствующих акустических систем. О том какая аппаратура использовалась при тестировании данной схемы, будет сказано ниже. Тем читателям, кто пока не располагает трактом соответствующего качества, предлагаю готовый вывод: **в системах класса High-End использование электролитических конденсаторов допустимо только в цепях питания.** Именно так и поступает часть весьма уважаемых фирм. Другие, не менее уважаемые фирмы, стремясь создать усилитель без всякой ООС, все же применяют в катодах ламп RC-цепочки, но при этом используют «электролиты» очень высокого качества, чаще всего собственного изготовления. Радиолюбителям этот путь, к сожалению, закрыт⁷. Если поставить электролитический конденсатор по каким-либо причинам необходимо, отберите из имеющихся у Вас с наилучшим звучанием по описанной выше методике. Хочу обратить внимание на то, что взять следует побольше экземпляров одного типа, желательно несколько штук из разных партий.

Усиленный звуковой сигнал проходит через один-единственный в данной схеме разделительный конденсатор С1 и поступает на оконечный каскад. Главное требование к этому элементу: **он должен быть «прозрачным» для звукового сигнала.** Сообщения, изложенные в [1] в полной мере относятся и к данному случаю. Какого же типа конденсатор допустимо использовать в качестве переходного? Фирма «Audio Note» в своих изделиях применяет конденсаторы своего собственного изготовления, специально разработанные для звуковых цепей, с диэлектриком из полимерных пленок и обкладками из серебра высокой степени очистки [2]. Другие менее крупные и известные аудио-производители используют, как правило, пленочные конденсаторы, например, фторопластовые, полипропиленовые и т.д., приобретаемые у различных изготовителей. Встречаются, конечно, исключения: в ламповых предварительных усилителях «VK-3» и «VK-5» фирмы «Balanced Audio Design» в сигнальных цепях стоят бумажно-масляные конденсаторы. Из деталей, которые широко распространены у наших радиолюбителей, можно применить полиэтиленерефталатные (лавсановые) серии K-73, например, K73-17, фторопластовые серии K-72 или ФТ, ФГТИ, полистирольные серии K71, поликарбонатные K77. Здесь имеется очень широкое поле для экспериментов. Довольно неплохим «голосом» обладают устаревшие слюдяные конденсаторы типов КСО, КСГ, СГМ, которые,

⁶ Электролитические конденсаторы любого типа должны сформироваться под напряжением, поэтому после установки нового элемента ему дают «потренироваться». Стоит отметить, что перед серьезным прослушиванием аппаратуры «греют» в течение 70-100 часов, подавая на ее вход сигнал типа «розовый шум».

⁷ Правильнее сказать, почти закрыт, поскольку в специализированных магазинах все же продаются комплектующие изделия и детали таких фирм, как Draloric, Holco, Audio Note, Solen и др., но цена... Приобретать же на рынке такие вещи «по дешевке», «почти даром» не советую, скорее всего подделка.

к сожалению, великоваты по размерам⁸. Совершенно **недопустимо** ставить конденсаторы на основе **керамики**, особенно Т-900, типа КМ, КД и т.п. в связи с тем, что у них очень большой коэффициент абсорбции⁹. Близким к идеальному следует признать вакуумный конденсатор, но только теоретически, поскольку низкая удельная ёмкость предопределяет колоссальные массогабаритные показатели, которые не позволяют применить элементы этого типа на практике¹⁰.

Оконечный каскад выполнен по однотактной схеме на широко распространенном лучевом тетраде 6П3С. Такое построение позволяет значительно упростить монтаж и настройку усилителя, так как отсутствует фазоинверсный каскад, а также отпадает необходимость выполнять балансировку плеч - факторы весьма немаловажные для начинающих радиолюбителей. Кроме того, однотактный выходной каскад даёт возможность лучше ощутить особенности звучания ламповых схем. Связано это как с отсутствием фазоинвертора, который в большей или меньшей степени разрушает (можно читать - искажает) звуковой сигнал, так и с тем, что выходной трансформатор работает с постоянным подмагничиванием, при котором перемагничивание «трансформаторного железа» происходит на **частной** петле гистерезиса и, как следствие, резко уменьшается влияние коэрцитивной силы материала. Просто и в тоже время достаточно подробно данный вопрос освещен в [3]. По однотактной схеме на 2-х включенных параллельно прямокальных триодах типа 845 (аналоги MC-1/50 «Tesla», T-110-1 «Brown Boveri») собран оконечный каскад одного из самых дорогих усилителей мира категории «High-End». Пара моноблоков «Gaku-On» по 45 Вт выходной мощности фирмы «Audio Note» стоит 247000 \$. Применяет подобное построение в своих аппаратах и президент, он же и главный разработчик, американских звуковых компаний «Lamm Audio Laboratory», «Lamm Industries» В.Лушурин, хорошо известный старшему поколению читателей журнала «Радио» своими статьями по Hi-Fi тематике. Вместе с тем необходимо отметить и недостатки таких схем: во-первых, небольшой КПД, присущий классу А, во-вторых, довольно значительный коэффициент гармоник. На этом вопросе стоит остановиться более подробно.

Основной вклад в нелинейность правильно сконструированного однотактного оконечного каскада на **вакуумном триоде** вносит **вторая** гармоника. Уровень третьей гармоники обычно меньше в несколько раз, а более высокого порядка (4-я и 5-я) ничтожно мал. Из теории психоакустики известно, что заметность гармонических искажений равной мощности слухом человека описывается выражением $n^2/4$, где n - номер гармоники [4]¹¹. Подставив $n=2$, получаем парадоксальный, на первый взгляд, ответ-1!¹² Теперь несложно подсчитать максимально допустимый уровень 3-й гармоники. Он должен быть меньше уровня 2-й, по крайней мере, в 2,25 раза. Этому требованию хорошо удовлетворяют вакуумные

⁸ Некоторые мелкие зарубежные аудиофильские фирмы договорились с крупными производителями и поставщиками, не успевшими прекратить выпуск подобных «устаревших» деталей, о том, чтобы специально для них эти элементы изготавливались в ограниченном количестве. Конечно, такой подход приводит к значительному росту цен как на комплектующие, так и на конечную High-End аппаратуру, но как видно «овчинка стоит выделки».

⁹ Конденсаторы этого типа имеют жаргонное название «убийцы звука».

¹⁰ Не думаю, что кому-то может понравиться переходной конденсатор массой в 10-15 кг.

¹¹ Величина относительная, а не абсолютная. Поэтому делать вывод о том, что уровень второй гармоники может быть сколь угодно большим, нельзя.

триоды даже без использования ООС¹². В нашем случае ситуация сложнее, так как применяется **лучевой тетрод**¹³. Во время усиления звукового сигнала таким каскадом появляется довольно значительная нелинейность 4-го и 5-го порядков¹⁴, плюс к этому суммарный коэффициент гармоник на несколько раз выше, чем у подобных схем на вакуумном триоде. Внутреннее сопротивление лучевого тетрода на порядок больше аналогичного параметра триода, а это в свою очередь требует наращивания индуктивности первичной обмотки выходного трансформатора и увеличивает выходное сопротивление усилителя. В результате этого уменьшается отдача на высших звуковых частотах и ухудшается демпфирование низкочастотных головок акустических систем. Именно по этим причинам выходные каскады наиболее дорогих и качественных усилителей, в которых НЕ применяют обратные связи, собирают на триодах. В более дешевых моделях «ламповиков» с оконечными каскадами на лучевых тетрадах общую ООС использовать всё же приходится с целью уменьшения влияния отрицательных свойств таких ламп¹⁵. Чтобы не возвращаться к этому вопросу, считаю необходимым отметить, что низкое выходное сопротивление, а также небольшой коэффициент гармоник триодного выходного каскада и равные, скажу точнее, более высокие характеристики, получаемые в случае применения лучевого тетрода в «комплексе» с общей ООС - совершенно разные вещи. Особенно заметное разрушение звукового сигнала имеет место при охвате петлей общей ООС двух и более каскадов. К тому же сама схема становится менее устойчивой в работе, более капризной при наладке и может оказаться недоступной для повторения радиолюбителями с небольшими навыками. Резюмируя всё вышеизложенное, приходим к выводу: **в высококачественных УЗЧ применять общую ООС не следует**, особенно на первых порах. А как же без неё обойтись? Наличие выходного трансформатора с отводом от первичной обмотки подсказывает простое и логичное решение: оконечный каскад собирать по **ультралинейной** схеме.

Как же работает ультралинейный оконечный каскад? Чтобы ответить на этот вопрос, не вдаваясь глубоко в теорию, посмотрим на принципиальную схему. Мысленно соедините экранирующую сетку лампы VL3 (вывод 4) с анодом (вывод 3). При таком включении в лампе происходит изменение токораспределения, в результате чего резко уменьшается крутизна характеристики и внутреннее сопротивление. Как следствие семейство вольт-амперных характеристик лампы приобретает типичный «триодный» вид. Таким образом лучевой тетрод превращается в вакуумный триод, анод которого имеет площадь и максимально допустимую мощность рассеяния, примерно равные сумме аналогичных характеристик анода и экранной сетки исходной лампы¹⁶. Такое построение схемы встречается довольно часто и носит название «триодное» включение. По этой причине в справочниках нередко приводятся вольт-амперные характеристики для обоих вариантов [5]. К сожалению

¹² Следует добавить, что коэффициент гармоник усилительного каскада класса А на электронной лампе убывает пропорционально уменьшению амплитуды сигнала.

¹³ В полной мере относится и к пентоде.

¹⁴ У полупроводниковых устройств вплоть до 20-й гармоники

¹⁵ В усилителе Audio Note PISE (\$1300) оконечный каскад однотактный на двух запараллеленных EL-84/6BQ5/6П14П сигнал ООС со вторичной обмотки выходного трансформатора подается в цепь катода драйвера.

¹⁶ Максимально допустимые токи тоже суммируются, а вот напряжение не должно превышать предельно допустимое для второй сетки.

нию, вместе с достоинствами триода лампы в этом случае приобретает и его недостатки: низкие чувствительность и КПД. Если же экранную сетку соединить непосредственно с источником анодного напряжения, получается «классический» лучевой тетрод, со всеми его плюсами и минусами. Теперь несложно прийти к заключению, что подключить экранную сетку к части витков первичной (анодной) обмотки выходного трансформатора, получим лампу, которая по своим параметрам займет промежуточное положение между вакуумным триодом и лучевым тетродом. Именно такой каскад носит название *ультралинейного*. Сразу же сделаем ещё один вывод: **изменением точки подключения экранной сетки можно «регулировать» пропорции между тетродными и триодными свойствами лампы.** Очевидно, что возможно подобрать такой режим, при котором сохранятся высокие чувствительность и КПД, характерные для лучевого тетрода, а также малые искажения и внутреннее сопротивление, присущие вакуумным триодам¹⁷. Понятно, это достигается только при строго определенном соотношении количества витков частей первичной обмотки. В справочной литературе эта величина иногда приводится [6] и обычно обозначается литерой «р». Для одноконтурного каскада она численно равна отношению количества витков той части первичной обмотки, к которой подключается экранная сетка, в нашем случае это выводы 1-2 выходного трансформатора и обмотки в целом, выводы 1-3. Значит, будет справедлива формула: $p = w_2/w_1$, где w_1 - число витков всей первичной обмотки, w_2 - число витков секции, заключенной между источником анодного напряжения и выводом экранной сетки оконечной лампы. Ещё раз подчеркну, что данная величина зависит от типа лампы, режима её работы, конструкции выходного трансформатора и в каждом конкретном случае имеет строго определённое значение. Выполнение полного расчёта ультралинейного каскада - процесс достаточно сложный и трудоёмкий, обычно выполняемый методом последовательных приближений, выходящий за рамки данной статьи. В связи с этим на практике соотношение числа витков подбирают экспериментально, для чего у первичной обмотки делают несколько отводов¹⁸. В следующей части будет дано описание выходного трансформатора, доступного для повторения в любительских условиях.

Для первых опытов, как уже было сказано, используются выходные трансформаторы промышленного изготовления типа ТВЗ-1-6. Такая серия выбрана не случайно. Остановлюсь на этом более подробно. В качестве магнитопровода в данном изделии применён *витой* сердечник марки ШЛ, который выполняется из *холоднокатаной* трансформаторной стали. Такой материал обладает более высокими магнитными свойствами, а именно повышенной начальной магнитной проницаемостью, более высокой максимально допустимой амплитудой магнитной индукции, что улучшает воспроизведение низких частот, а меньшая коэрцитивная сила, в свою очередь, благоприятно сказывается на передаче высокочастотных звуков. Таким образом, наличие преимуществ перед Ш-образными пластинами, штампуемыми из *горячекатаной* полосы. Пер-

¹⁷ Если говорить точнее, такой режим является определенным компромиссом между тетродными и триодными свойствами, поскольку предельные параметры, характерные для того или другого варианта все же не достигаются

¹⁸ Оптимальным при проведении точных экспериментов с использованием профессиональной техники следует признать количество отводов, равное 19, т.е. с шагом 5% от общего числа витков. Изготовление таких трансформаторов сопряжено с большими трудностями, поэтому в любительских условиях обычно ограничиваются 3-8 отводами, которые получают «сами по себе» при секционировании обмоток.

вичная обмотка обладает большой индуктивностью, что положительно влияет на качество работы в области нижних частот. Поскольку такой трансформатор предназначен для *двухтактного* оконечного каскада, его первичная обмотка уже имеет отвод, необходимый при построении ультралинейной схемы. Двухтактный выходной каскад, как известно, требует наличия строго симметричных полуобмоток, отсюда несложно вычислить, что коэффициент $p=0,5$. Это неплохо согласуется с данными приведенными в [6]¹⁹. Остаётся добавить, что во время проведения первых опытов с «двухтактниками» отпадает потребность специально мотать «учебные» трансформаторы, которые по конструкции гораздо сложнее предназначенных для одноконтурных каскадов. Но все же, несмотря на такое казало бы внушительное количество достоинств, применение ТВЗ-1-6 в данной схеме нельзя признать корректным с технической точки зрения. Понять причину этого будет намного легче, если вновь обратиться к принципиальной схеме усилителя. В двухтактном оконечном каскаде аноды выходных ламп подключаются к выводам: 1-первое плечо и 3-второе плечо, а напряжение питания на вывод 2. Следовательно ток²⁰ проходит по ветвям от 2→1 и 2→3 соответственно, т.е. в противоположных направлениях. В случае полной симметрии схемы, а это обязательное условие качественной работы такого устройства, постоянные магнитные поля взаимно уничтожаются и на сердечник постоянное подмагничивание влияния не оказывает. Такой режим позволяет собирать магнитопровод без воздушного зазора, тем самым увеличивая индуктивность первичной обмотки. В одноконтурной схеме ток²⁰ проходит по ветвям 1-2 и 1-3 от вывода 1 к выводу 2 и 3, т.е. в одном направлении, значит имеет место работа трансформатора с постоянным подмагничиванием, при котором происходит насыщение сердечника. Для предотвращения этого в зазор вводят прокладку из немагнитного диэлектрического материала строго определенной толщины²¹, что позволяет избежать резкого снижения действующей магнитной проницаемости сердечника из-за его насыщения и, как следствие, уменьшения индуктивности первичной обмотки. Малая индуктивность, в свою очередь, не позволяет получить высокую отдачу на низких частотах. Установить прокладку в зазор сердечника ТВЗ-1-6 в принципе возможно, однако делать этого не следует, поскольку особенности его конструкции оставляют немного шансов на успешную разборку и сборку таких трансформаторов.

Какие ещё недостатки у данного выбора? Ответить на данный вопрос можно, вспомнив, что при работе активного элемента (безразлично лампы или транзистора) в усилительном режиме существует оптимальное сопротивление нагрузки, при котором достигается наибольшая отдаваемая мощность и наименьшие нелинейные искажения. У электронных ламп этот параметр приводится в справочной литературе, например в [5], и называется оптимальное сопротивление нагрузки или сокращенно $R_{a\text{opt}}$ ²². Для 6П3С эта величина в нашем режиме составляет порядка 3,5 кОм, сопротивление же акустической системы намного меньше, всего несколько Ом²³. Выходной трансформатор и обеспечивает их согласова-

¹⁹ По результатам экспериментов величина «р» для лампы 6П3С лежит в пределах 0,32-0,6 в зависимости от схемы включения и режима усиления.

²⁰ Понимается постоянная составляющая анодного тока.

²¹ Вполне приемлем термин «воздушный зазор».

²² Обычно приводится для какого-либо одного «стандартного» или «рекомендуемого» режима работы. При самостоятельном выборе режима может значительно отличаться от справочных данных.

ние. Эти величины, число витков первичной и вторичной обмоток, а также качество исполнения трансформатора²⁴ связаны между собой следующим выражением:

$$\frac{w_2}{w_1} = \sqrt{\frac{R_n}{R_{a\text{opt}} \eta_{TP}}}$$

где w_1 - число витков первичной обмотки, w_2 - число витков вторичной обмотки, $R_{a\text{opt}}$ - оптимальное сопротивление анодной нагрузки лампы в Ом, R_n - сопротивление акустической системы в Ом, η_{TP} - коэффициент полезного действия трансформатора. Несложно подсчитать, что соотношение w_2/w_1 для оптимального согласования должно составлять: 0,0356 при $R_n=4$ Ом; 0,0436 при $R_n=6$ Ом; 0,0504 при $R_n=8$ Ом. В то же время у ТВЗ-1-6 $w_2/w_1=0,025$, которое *не обеспечивает* наивыгоднейшего режима работы выходной лампы²⁵ с широко распространёнными акустическими системами, в результате чего снижается выходная мощность и возрастают нелинейные искажения. Подведя итог всему сказанному выше, делаем вывод: качество звучания ламповых усилителей очень сильно зависит от выходного трансформатора. В его справедливости вы сможете убедиться в следующей части статьи.

О других элементах схемы выходного каскада. Резистор R9 является сопротивлением утечки первой сетки лампы VL3. Постоянное напряжение смещения $U_{3\pm 0,5}$ В задаётся резистором R12. При необходимости увеличить коэффициент усиления до 11, а сейчас он составляет примерно 9,5, это сопротивление можно зашунтировать электролитическим конденсатором ёмкостью 1500-2000 мкФ с номинальным рабочим напряжением не менее 25 В. Предостережения, относящиеся к подобному элементу драйвера, естественно, остаются в силе. Очень важную функцию выполняет резистор R11, включенный последовательно в цепь первой сетки. Он предотвращает самовозбуждение каскада на ультразвуковых частотах. Разумеется, что устанавливать это сопротивление необходимо и во всех других ламповых оконечных каскадах.

Блок питания выполнен на базе телевизионного сетевого трансформатора ТС-180-2, который использован без каких-либо переделок. В цепи накалов ламп подаётся переменное напряжение величиной 6,3 В от соответствующих обмоток, и вот сейчас следует напомнить важное правило, гласящее, что *один из выводов каждой накальной обмотки должен быть заземлен*²⁶. Невыполнение этого требования приводит к увеличению уровня фона переменного тока. Для получения необходимого анодного напряжения все высоковольтные секции трансформатора соединяются последовательно и подключаются к двухполюсному тумблеру SA2. Рассмотрим его назначение более подробно. В случае выполнения высоковольтного выпрямителя на полупроводниковых приборах после подключения усилителя к сети анодное и накальное напряжения подаются на лампу одновременно. Вместе с тем для разогрева катодов требуется от 30 с до нескольких минут. В таком режиме весьма высока опасность пробоя в лампе и разрушения катода. Поэтому *не рекомендуется*, а для мощных генераторных ламп кате-

²³ В 60-х годах выпускались динамические головки с сопротивлением звуковой катушки от сотен Ом до нескольких кОм специально для бестрансформаторных ламповых усилителей

²⁴ И особенности конструкции трансформаторов, точнее потери в нем.

²⁵ Оптимальное согласование получается при $R_n = 1,7$ Ом; η_{TP} с целью упрощения вычислений был принят равным 0,9.

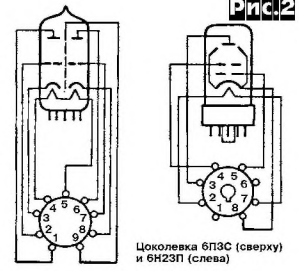
²⁶ В ряде случаев накальные обмотки не заземляются. Каждое из таких исключений в дальнейшем будет рассматриваться отдельно

горически запрещается одновременная подача напряжений анода, экранной сетки и накала. Следует заметить, что в справочных данных маломощных приёмно-усилительных ламп, к которым принадлежат используемые в данном устройстве 6П3С и 6Н23П, приводятся максимальные допустимые напряжения анода и, если конечно такая имеетя, экранной сетки при включении на холодную лампу. В предлагаемой схеме эти величины не превышаются и, как показала практика, пробоев не происходит, но на будущее стоит запомнить ещё один совет: **при холодном катоде подавать высокое напряжение можно только в маломощных предварительных, но не в оконечных каскадах.** Это особенно важно, когда на электродах выходных ламп действуют максимально допустимые напряжения, а тем более превышающие их. Достоинством применения отдельного анодного тумблера является облегченный режим работы конденсаторов фильтра питания, поскольку в этом случае не возникает холостого хода выпрямителя в момент подключения усилителя к сети. В таком случае снижается вероятность пробоя «электролитов»²⁷. Параллельно контактам тумблера установлены резисторы R18 и R19, которые во время разогрева катодов, длящегося 1-2 мин, подзаряжают конденсаторы фильтра, тем самым смягчая начальный бросок тока. Столь большие значения их сопротивления и мощности выбраны из следующих соображений. Если при перерывах в работе продолжительностью до нескольких часов снимать высокие напряжения, заметно увеличивается ресурс ламп. Можно было бы просто отключать усилитель от сети, но тепловые деформации, возникающие во время цикла разогрев-охлаждение-разогрев, уменьшают долговечность катодов. Нельзя забывать и про большой, намного превышающий номинальный, ток накала сразу же после включения лампы, поскольку сопротивление любого холодного проводника меньше, чем разогретого. Это приводит к преждевременному перегоранию нити накала. В подтверждение сказанного достаточно вспомнить самую обычную лампу накаливания. В большинстве случаев её нить разрушается именно в момент включения. И последнее: остывшие катоды перед контрольным прослушиванием требуют длительного, в течение нескольких часов, прогрева²⁸. С другой стороны, режим работы катода без токоотбора является более тяжелым по сравнению с номинальным, что связано с опасностью так называемого «отравления» катода. Для устранения этого крайне нежелательного эффекта вполне достаточно подать на анод и экранную сетку пониженное, примерно (10-25)% от рабочего, напряжение²⁹. С учётом перечисленного выше сопротивление резисторов R18 и R19 выбрано достаточно большим. В связи с тем, что усилитель в таком режиме может находиться довольно долго, необходимо принять меры, предотвращающие перегрев этих элементов. Данное требование можно выполнить, если R18 и R19 имеют мощность по 2 Вт. Собственно выпрямитель собран по хорошо известной мостовой схеме на диодах VD1-VD4 типа Д247. Столь мощные диоды, которых с лихвой хватило бы на десяток таких усилителей,

обеспечивают очень высокую надёжность данной части схемы, избавляя Вас от лишней «головной боли». У знакомых радиолюбителей, установивших при повторении конструкции сборки типов КЦ402-КЦ405 или диоды вроде Д226, были случаи выхода из строя блока питания, так что на этом экономить не стоит. Пульсирующее напряжение сглаживается фильтром из 4-х конденсаторов С5-С8 ёмкостью по 200 мкФ с номинальным рабочим напряжением 350 В. Ещё лучше в качестве С5-С8 поставить «электролиты» К50-17-1000 мкФ x 400 В, тем самым полностью, а самое главное без особого труда, подавить фон переменного тока, благо место и размеры «банок» позволяют это сделать, правда, потребуется самому изготовить для них крепёжные хомуты. Резистор R17 способствует быстрой разрядке конденсаторов фильтра питания после отключения устройства от сети. Его данные рассчитываются таким способом: $I = P/U$, где U - напряжение на конденсаторах С5-С8³⁰ в рабочем режиме, в нашем случае 255 В; I - ток через разрядный резистор; P - мощность разрядного резистора. Понятно, что чем больше ток через R17, тем быстрее разрядятся С5-С8. С другой стороны, у радиолюбителей наиболее распространены резисторы мощностью до 2 Вт, которые лучше эксплуатировать при мощности рассеивания 1,2 -1,7 Вт, т.е. с полуторакратным запасом по мощности во избежание их перегрева при длительной работе усилителя. Значит, $2 \text{ Вт} / 1,5 = 1,3 \text{ Вт}$; $I = 1,3 \text{ Вт} / 255 \text{ В} = 0,005 \text{ А}$. По закону Ома определим сопротивление $R = 255 \text{ В} / 0,005 \text{ А} = 51 \text{ кОм}$. Конденсатор С3 и резистор R10 образуют фильтр анодной цепи первого каскада. На сопротивлении R10 высокое напряжение падает до 185 В, требуемых для нормальной работы драйвера. Конденсатор С3 отфильтровывает переменную составляющую анодного тока и предотвращает самовозбуждение усилителя на низких частотах. Его ёмкость полезно увеличить до 500-1000 мкФ с рабочим напряжением не менее 350 В. Лучше всего подойдёт «электролит» типа К50-17.

ДЕТАЛИ. Резисторы R1 и R2 - СП3-30 группы «В» номинальным сопротивлением 220 кОм, остальные - МЛТ, ОМЛТ, МОН. R4, R5, R9, R11, R13, R14 мощностью по 0,125 Вт; R3, R6, R10, R15 - 0,25 Вт; R7, R8 - 1 Вт; R16, R12, R17-R19 - 2 Вт. Тумблеры: SA1 - однополюсный ТБ2-1-2; SA2-двухполюсный ТП-1-2. Переходные конденсаторы С1, С2 для начала можно поставить типа К73-17 ёмкостью 0,47-0,68 мкФ с рабочим напряжением 400 В. В ходе дальнейших экспериментов вы сможете самостоятельно подобрать их по наилучшему звучанию по методике изложенной ранее. «Электролиты» С3-С8 типа К50-20 с максимально допустимым напряжением не менее 350 В. Их можно заменить более распространёнными блоками ёмкостью 150 мкФ+30 мкФ x 350 В устаревших серий К50-3Б, К50-7, которые широко применялись в ламповых телевизорах. Входные разьёмы ХА1 и ХА2 - гнезда стандарта RCA³¹ с никелевым покрытием, а при более высоком требовании к качеству аппарата позолоченные. На выходе (ХА3, ХА4) установлены «мамы» СГ-3, как наиболее распространённые. Их, разумеется, можно заменить на RCA или самозаклинивающиеся «бананы», как это сделано в зарубежных усилителях. Ещё раз подчеркну: контактные группы и поверхности могут иметь золотое, никелевое, хромовое, палладиевое покрытие либо должны быть сделаны из титана. Недопустимо использовать в высококачественной звуковой аппаратуре разьёмы с серебряным покрытием или изготовленные из меди и ее сплавов без защитного покрытия, а также лужёные³². В анодном выпрямителе возможно применить полупровод-

никовые приборы следующих типов:



Цоколевка 6П3С (сверху) и 6Н23П (слева)

любым буквенным индексом; КД202Ж-КД202С, в крайнем случае КД204А; КД205А-КД205В, КД209А; Д229К, Д229Л. Лампы VL1 и VL2 - 6Н23П, а их цоколёвки и назначение выводов показаны на **рис. 2**. Выходные трансформаторы Тр.1 и Тр.2 типа ТВЗ-1-6-ТУ0.473.000. Заменять их на какие-либо другие крайне нежелательно. Оконечные лампы VL3, VL4 типа 6П3С. Их цоколёвка приведена на **рис. 2**. Трансформатор питания ТС-180-2-ТУ4.704.065. Вместо него можно использовать и другой серии ТС-180. Важно лишь, чтобы напряжения и токи его вторичных обмоток соответствовали характеристикам, приведенным в **табл. 1**. При работе с таблицей надо учитывать, что в верхних рядах даны параметры рекомендованного трансформатора, а в скобках их допустимые пределы.

Таблица 1

Номера выводов обмоток	Номинальные	
	U, В	I, А
1-2-3 1'-2'-3'	127/220	1,51/0,87
4; 4'	экран	-
5-6 5'-6'	59,5 (60-65)	0,5 (>0,3)
7-8 7'-8'	43,5 (40-45)	0,38 (>0,3)
9-10 9'-10'	6,4 (6,2-6,8)	4,7 (>1,0)
11-12 11'-12'	6,4 (6,2-6,8)	1,5 (>0,5)

Литература

- Сухов Н. К вопросу об оценке нелинейных искажений УМЗЧ. «Радио» 5/89, с.54-57
- Пестриков В. Выходные каскады УЗЧ на электронных лампах. «Радиоаматор» 12/96, с.2
- Интервью с П.Квортрупом. «Дорога в однотактный рай». «АМ» 4/95, с.40-45
- Карлаш В. «Любительские стереоконструкции», Киев, «Техніка», 1981.
- Голубев Ю., Жукова Т. «Электровакuumные приборы». Справочник. М., «Энергия», 1969.
- Терещук Р. и др. «Справочник радиолюбителя». Киев, «Техніка», 1966.

(продолжение следует)

²⁷ Во время разогрева катодов анодный ток отсутствует, что равнозначно режиму холостого хода выпрямителя и на конденсаторах фильтра питания развивается напряжение $U_{\text{кх}} = \sqrt{2} U_{\text{рх}}$, где $U_{\text{рх}}$ - напряжение анодной обмотки силового трансформатора на холостом ходу.

²⁸ Некоторые «аудиофильские» фирмы рекомендуют полностью отключать от сети свои изделия только при более чем недельном перерыве в работе. Во всех остальных случаях снимается только высокое напряжение.

²⁹ Для схемы с автоматическим смещением. В случае фиксированного смещения следует также уменьшать и отрицательный потенциал на управляющей сетке. Полезно при этом снижать на 25-30% напряжение накала. Последнее наиболее актуально для мощных ламп с катодом прямого накала.

³⁰ Данный метод годится и для любого иного фильтра питания.

³¹ Жаргонное название «азия», «тюльпан».

³² Оловянные, цинковые или кадмиевые покрытия обладают низкой износостойкостью.

ПРЕДПРИЯТИЕ

«ТРИОД»

ЛАМПЫ: Г, ГИ, ГК, ГМ, ГМИ, ГС, ГУ, 6... 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

Секреты ламповой High-End ТЕХНОЛОГИИ

Станислав Симулкин, г.Алчевск Луганской обл.

(Продолжение. Начало см. «РХ» 2/99, с.47-51)

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Прежде чем перейти к рассмотрению конструкции данного усилителя, хочу высказать несколько общих соображений по поводу материалов из которых можно изготавливать шасси и корпуса High-End аппаратуры. Основным материалом для таких целей являются металлы. Хорошо это или плохо? Для того чтобы разобраться в данном вопросе, вспомним требования, которые предъявляются к механическим узлам аппаратуры.

Шасси усилителя - основной конструктивный элемент. В ламповой технике на нём закреплены довольно тяжелые выходные и силовые трансформаторы, более того данная часть нередко служит в качестве главного опорного или базового элемента корпуса. Значит, материал должен обладать достаточной механической прочностью и не «играть» под воздействием нагрузок. С этой точки зрения металлы в порядке приоритета располагаются следующим образом: сталь нержавеющая, стали низколегированные и углеродистые; титан и его сплавы; медь, латуни и бронзы; алюминиевые сплавы и чистый алюминий. Далее следуют неметаллы: различные пластмассы, дерево. С другой стороны, нельзя слишком увеличивать массу и без того тяжелого аппарата. Это требование сразу выводит вперед дерево и пластмассы, за ними располагаются алюминий, титан, их сплавы. Медь, медные сплавы в этом случае оказываются «аутсайдером». Недалеко уходят от них и различные стали. Отсюда несложно сделать вывод, что лучшим по комплексу механических свойств будет титан и его сплавы. Несколько хуже алюминиевые сплавы и чистый алюминий. Третье место можно отдать пластмассам и отдельным породам дерева. Далее идут различные стали, латуни, бронзы, медь.

С массой и прочностью вроде бы разобрались, но нельзя забывать, что на шасси смонтировано электронное устройство, которое является источником электромагнитных полей. Конструкционный материал, естественно, вступает во взаимодействие с этими полями, внося в работу устройства свои «поправки». Таким образом, шасси можно считать ещё одной «радиодеталью». И вот тут начинаются главные, крайне неприятные «чудеса». Напоминаю: вокруг любого проводника и/или элемента схемы, находящегося под напряжением, наводится электромагнитное поле. Эти поля действуют друг на друга и на металлическое шасси. В результате появляются частотные, вследствие наличия паразитных резонансов, и нелинейные искажения. Последние заметно увеличиваются в случае использования в качестве конструкционного материала металлов ферромагнитной группы. Это связано с чётко выраженным в них магнитострикционным эффектом. Этот эффект заключается в изменении геометрических размеров тела под воздействием внешнего электромагнитного поля. Изменение размеров приводит к изменению параметров электрической цепи. В нашем случае явление магнитострикции усугубляется магнитными наводками от трансформаторов, закрепленных на шасси вместе с остальными деталями усилителя. В ферромагнитных материалах эти наводки не ослабевают и в полной мере оказывают негативное влияние на работу схемы. Конечно, установив каждый из трансформаторов на отдельных панелях, непосредственно не связанных с частью, на которой находится собственно монтаж устройства, можно значительно ослабить паразитные магнитные потоки и тем самым свести к минимуму их воз-

действие, всё же необходимо признать, что **применение различных сталей, в том числе нержавеющей, в высококачественной звукотехнике недопустимо**. На первый взгляд кажется неожиданным запрет на использование «нержавейки», однако следует помнить: основные компоненты таких сталей - железо, хром, никель, кобальт относятся к ферромагнетикам. И так, у нас остались: титан и его сплавы, медь, латуни, бронзы, алюминиевые сплавы, чистый алюминий, дерево, пластмассы. Выясним возможность применения сплавов. Из курса физики известно, что наилучшие проводники электрического тока - материалы с правильной, лишенной дефектов кристаллической решеткой. Вместе с тем в реальном металле всегда присутствуют нарушения кристаллической структуры, чаще всего в отдельных узлах или межузлиях кристаллизации, называемые точечными дефектами. Они с электротехнической точки зрения представляют собой «плохие полупроводники и резисторы», параметры которых зависят от величины, частоты и прочих характеристик тока в проводнике. Причём совершенно безразлично полезный это сигнал или вихревые токи, наведенные в материале. Наличие столь нелинейных «деталей», к тому же не предусмотренных «проектом», приводит к расширению спектра гармоник, а также к росту уровня шумов и помех³³. Весь этот «мусор» может излучаться на любые элементы схемы, разрушая при этом полезный сигнал. В сплавах, которые ничто иное, как твердый раствор одного вещества в другом, всегда один металл является растворителем, а другой - растворимым. Растворителем становится тот компонент, кристаллическая решетка которого сохраняется, а растворимым - тот, чьи атомы располагаются в кристаллической решетке растворителя, т.е. имеет место так называемая структура замещения. Конечно, для электрического тока такой материал по своему воздействию эквивалентен дефектам в чистом металле. Вот почему в электротехнике для изготовления проводников используют вещества очень высокой степени очистки. Подведём итог сказанному: **применять сплавы в звуковоспроизводящей аппаратуре не следует**. Но и в случае выбора чистых металлов имеются «подводные камни», связанные с чисто механическими нарушениями кристаллической решетки. Основными технологическими приёмами изготовления шасси радиоаппаратуры являются: различные виды литья, в т.ч. под давлением, центробежное, вакуумное. Эти методы широко применяются в условиях массового промышленного производства. Для мелкосерийного, единичного («штучного») производства, опытно-конструкторских работ и в любительских условиях основным технологическим приёмом можно считать механическую обработку заготовок и полуфабрикатов, полученных прокаткой. К недостаткам литых деталей относится наличие большого числа дефектов материала, связанных с растворением в расплавленном металле газов, а также с тепловыми литейными усадками. И если первая проблема снимается с помощью вакуумирования, то неравномерную кристаллизацию, деформации, усадки таким способом не устранить. Вместе с тем во время прокатки количество дефектов уменьшается, а «упаковка» кристаллов уплотняется. После рекристаллизационного отжига структура металла становится относительно однородной по всему сечению заготовки. Подводя итог, можно считать, что наилучший материал для изготовления шасси - **листовой**

или профильный катаный металл высокой чистоты.

Какие ещё возникают проблемы, связанные с наводками в конструктивных элементах, и как с этим бороться? Для эффективного «сброса» вихревых токов материал должен обладать высокой электропроводностью. Титан, прекрасный конструкционный материал, обладает приличным электрическим сопротивлением, так что его из рассмотрения лучше исключить. Лучшие же проводники электричества - серебро, медь и несколько уступающий им алюминий.

Теперь обсудим ещё одно, не столь очевидное на первый взгляд, требование: материал шасси должен обладать высокой поверхностной проводимостью. Это связано со скин-эффектом, который проявляется в том, что плотность переменного тока в проводнике распределяется неравномерно. Наибольшую плотность ток имеет на поверхности проводника, а по мере приближения к центру сила тока падает по экспоненциальному закону. Чтобы убедиться в этом, достаточно посмотреть на формулу глубины проникновения переменного тока:

$$\delta = 5,03 \sqrt{\frac{\rho}{f\mu}}, \text{ где } \rho - \text{удельное}$$

сопротивление проводника, [Ом · см]; μ - относительная магнитная проницаемость; f - частота, Гц³⁴. В реальном звуковом сигнале наибольший объём информации находится в средне- и высокочастотной частях спектра. Сюда входят обертона, реверберационные «хвосты» и т.п., все те нюансы, правильная передача которых делает звучание аппаратуры «живым». Уровни этих сигналов очень малы, например, при максимальной выходной мощности 100 Вт и динамическом диапазоне 60 дБ самые тихие звуки будут иметь мощность 0,0001 Вт³⁵. Пропустить столь незначительные уровни через проводник не просто, учитывая увеличение «выдавливания» тока на поверхность с ростом частоты. К этому остаётся добавить, что мощность сигнала, как правило, уменьшается в области более высоких частот. Отсюда понятно, что при наличии на поверхности проводника окислов, звуковому сигналу приходится буквально «продираться» через забор из колючей проволоки». Последствия этого вполне ясны: происходит нарушение микродинамики аппарата. Кроме того, окисная плёнка на поверхности шасси вследствие взаимодействия с более мощными наводками становится источником помех и гармоник микроуровней.

Теперь можно рассмотреть выбранные ранее металлы: серебро, медь, алюминий. Серебро - прекрасный диаманитный электропроводник, имеющий наименьшее сопротивление. Но к сожалению оно имеет очень высокую цену, низкие механические качества, быстро покрывается слоем окислов, обладающих полупроводниковыми свойствами. Справедливости ради считаю необходимым отметить, что последняя проблема снимает-

³³ Многие коротковолновики сталкивались со случаем, когда виновником резкого роста побочных излучений передатчика была металлическая кровля крыши, на которой установлена антенна.

³⁴ По этой причине резко снижается добротность катушек индуктивности на высокой частоте

³⁵ При номинально входном напряжении 1,0 В минимальное значение сигнала будет составлять 1 мВ, а в случае динамического диапазона 80 дБ - 100 мкВ.

ся обработкой в растворах химического пассивирования. **Медь** - тоже отличный электропроводник, обладающий диамагнитными свойствами. Для компенсации более высокого сопротивления и облегчения прохождения высокочастотных сигналов микроуровней на поверхность меди следует нанести слой серебра, после чего осуществить пассивирование. Делаем вывод: для монтажных проводов эти металлы вполне годятся, а вот для шасси они слишком тяжелы и дороги. Остаётся **алюминий**, характеризующийся более высоким электрическим сопротивлением, но в тоже время, как и предыдущие металлы, он диамагнетик. Его худшие механические свойства по сравнению со сплавами на основе меди с лихвой компенсируются малым удельным весом, позволяющим изготавливать детали больших геометрических размеров без опасности перетяжелить конструкцию. На воздухе этот металл мгновенно покрывается очень прочной плёнкой окислов, предохраняющей его от дальнейшего разрушения. Оксид алюминия, являясь превосходным изолятором, никоим образом не взаимодействует с электрическими сигналами. Правда эта плёнка сильно затрудняет пайку, что в сумме с повышенным удельным сопротивлением делает алюминий практически непригодным для использования в качестве проводников в радиоаппаратуре. Вместе с тем способность его окисла отлично окрашиваться химическими и электрохимическими способами в различные цвета без ухудшения электротехнических достоинств, а также лёгкая обрабатываемость позволяет рекомендовать этот металл как один из лучших материалов для изготовления шасси и корпусов высококачественной аппаратуры. Таким образом, из всего разнообразия металлов остались **алюминий** и, с некоторой натяжкой, медь с серебряным покрытием. Так что же, алюминий лучший материал для таких целей? Не будем спешить с выводами.

Только что мы рассмотрели проблемы, связанные с взаимодействием электрических сигналов и конструктивных элементов. В то же время существует радикальный способ избавиться от них - достаточно сделать шасси из диэлектрика: дерева или пластмассы. Применение изоляционных материалов полностью устраняет влияние паразитных емкостей, существенно уменьшается опасность появления нежелательных резонансов, но и они не лишены недостатков. Главный из них заключается в том, что диэлектрики не экранируют схему от внешних электромагнитных полей.

Каким ещё требованиям должен соответствовать материал шасси? Ответ может звучать так: хорошо поглощать вибрации. Это связано со значительными вибрациями, появляющимися во время работы выходных и сетевых трансформаторов. Они передаются деталям схемы, создавая микрофонный эффект. Кроме того вибрации трансформатора питания влияют на работу выходных трансформаторов и наоборот. Совершенно очевидно, что в данном отношении дерево и некоторые сорта пластмасс находятся вне конкуренции. В случае применения металла верхнюю панель шасси приходится делать разрезной, устанавливая каждый трансформатор через резиновый демпфер на отдельной плате либо плите. Собственно монтаж также выполняется на отдельной заземленной плите. Кроме этого все части верхней панели закрепляются на каркасе шасси через вибропоглощающие прокладки-демпферы. И ещё одна особенность металлического шасси заключается в наличии у конструкции так называемой «точки нулевого потенциала». Подключение общего провода схемы в этом месте позволяет получить наименьший уровень фона и помех, а также наилучшее качество звучания. Эта точка определяется экспериментально, для чего проводник соединённый с «минусом» устройства,

плавно перемещают по поверхности конструктивных элементов, отмечая карандашом места с наименьшим уровнем фона. Окончательно устанавливают место «заземления» по результатам контрольных прослушиваний. Эта операция, достаточно ответственная, трудоёмкая и тонкая, может оказаться не по силам начинающим радиолюбителям. Поэтому для первых опытов шасси усилителя лучше всего сделать из диэлектрика. Разумеется, что изложенные выше рассуждения по поводу конструкционных материалов в полной мере относятся и к любой другой звуковоспроизводящей аппаратуре, а не только к ламповой.

КОНСТРУКЦИЯ

Усилитель смонтирован на шасси, полностью изготовленном из гетинакса или текстолита. Вполне допустимо использование других достаточно прочных пластмасс вроде эбонита, карболита и т.п. Каркас собирается из четырех деталей, чертежи которых показаны на **рис. 3**. На передней стенке, деталь 2, крепятся тумблеры SA1, SA2, входные разъёмы XA1, XA2, переменные резисторы R1, R2. Поскольку толщина материала составляет 10 мм, а высота резьбовой части разъёмов - 6 мм и 10 мм у «переменников», на фрезерном станке сделана выборка в месте установки XA1, XA2, R1, R2. Выбор такой конструкции связан с желанием сохранить механическую прочность детали. При отсутствии возможно-

сти изготовить её на станке можно вырезать канавку абразивным кругом или напильником. На задней стенке, деталь 3, закрепляются выходные разъёмы XA3, XA4 и держатель предохранителя FU1. В местах их установки также имеются выборки. Если Вам не удалось найти заготовку необходимых размеров, можно воспользоваться листовым материалом толщиной 4 - 6 мм. В таком случае все детали соединяются между собой обрезками металлического уголка. Эскиз верхней панели шасси, изготовленной из текстолита толщиной 5 мм приведен на **рис. 4**. Эта деталь выполнена неразрезной, так как конструкция получается значительно проще. Взаимное расположение частей шасси и их сборка показана на **рис. 5**. Сверху установлены электролитические конденсаторы фильтра питания и междукаскадной развязки СЗ-С8, трансформаторы, ламповые панельки и лампы VL1- VL4. Размещаются эти детали согласно **рис. 6**. Для уменьшения взаимных наводок выходные трансформаторы развёрнуты по двум осям на 90° относительно трансформатора питания. Строго говоря, поворачивать трансформаторы следует по всем трём осям, т.е. выходные трансформаторы в данном случае должны «лежать», однако конструкция стандартного крепления не позволяет этого сделать. В принципе можно Тр.1 и Тр.2 сориентировать с помощью кронштейнов по «всем правилам», но на первых порах такое усложнение не имеет осо-

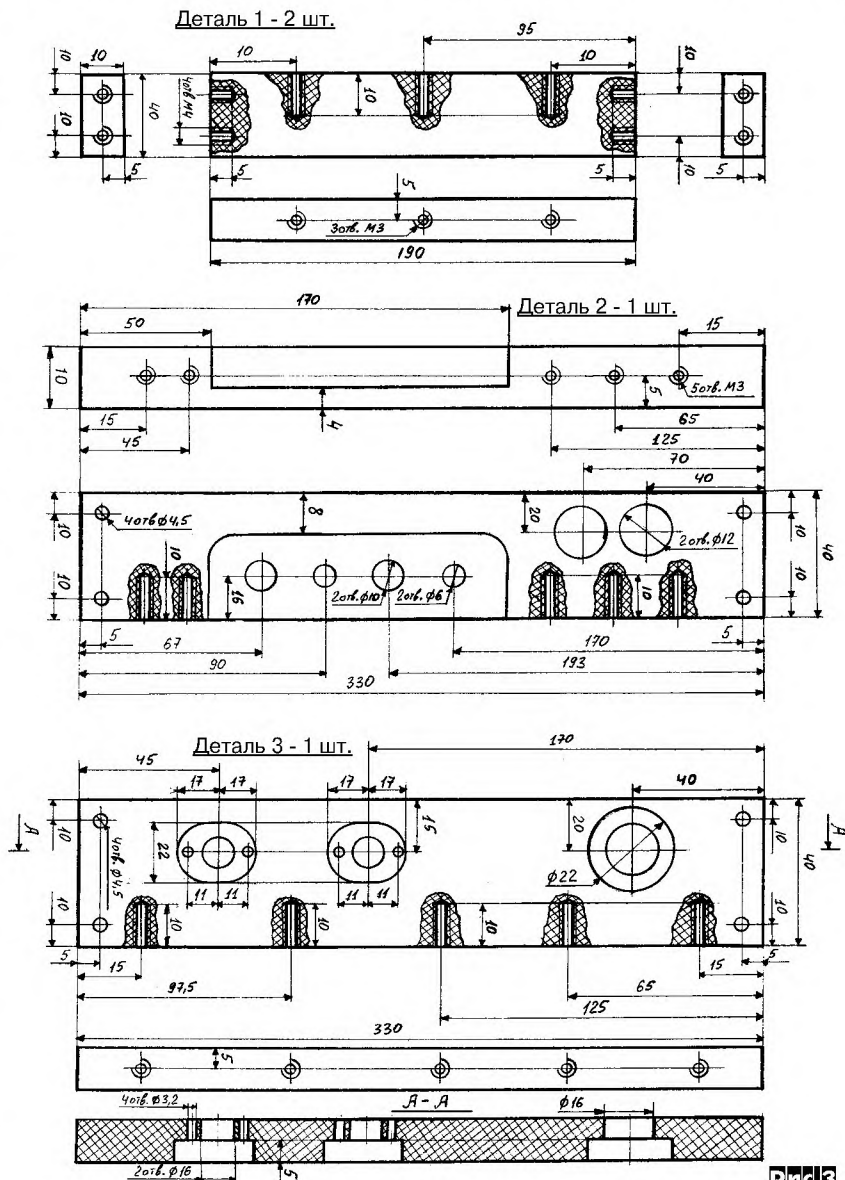
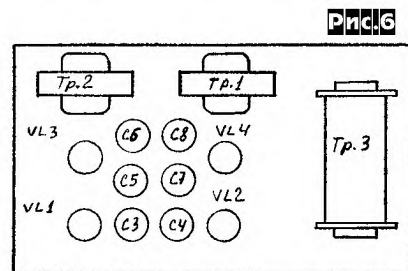
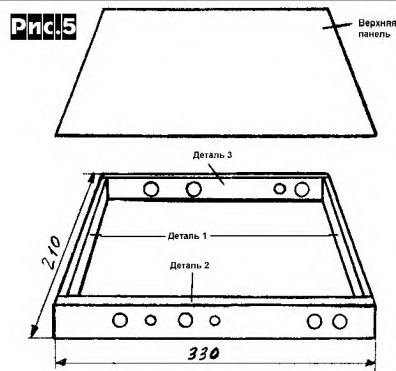
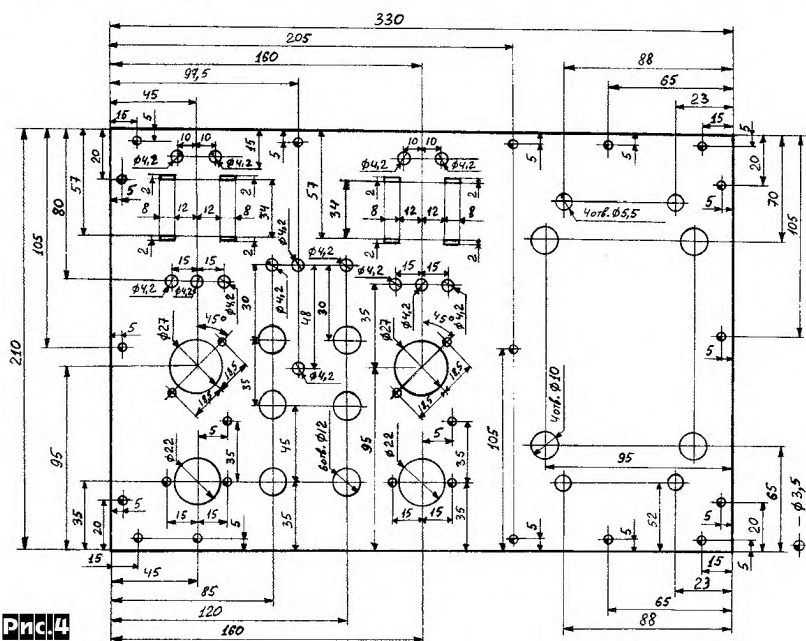


Рис.3



бого смысла. В будущем, после изготовления специальных «выходников», между ними следует поместить электромагнитный экран. Кроме того, будет необходимо заэкранировать сетевой трансформатор. В качестве материала для изготовления экрана лучше всего использовать *пермаллой* максимальной возможной толщины или, что несколько хуже, трансформаторную сталь³⁶. В крайнем случае, подойдёт СТ.Зсп толщиной 1,5-2,5 мм, обладающая наилучшими магнитными характеристиками среди конструкционных сталей. «Силовик» устанавливается на верхней панели через *резиновую прокладку*, причём под головками винтов *обязательно наличие демпфирующих шайб*. Внешний вид собранного усилителя показан на **фото 1**. В подвале шасси (**фото 2**) смонтированы остальные детали схемы. Диодный мост собирается на стеклотекстолитовой плате, которая крепится к верхней панели металлическим уголком. Собственно монтаж выполнен навесным методом без применения печатного монтажа и сейчас самое время высказать несколько замечаний по поводу печатных плат.

Заготовки для их изготовления - пластина из изоляционного материала с наклеенной медной фольгой, которая после соответствующей обработки образует токопроводящие дорожки. При прохождении по ним звукового сигнала возникают такие же точно проблемы, что и в обычных проводниках, но малая толщина медной фольги резко повышает активное сопротивление печатных проводников, а материалы, фольгированные серебром, не производятся³⁷. Конечно, можно покрыть дорожки готовой платы слоем серебра и после этого выполнить пассивацию, но всякая дополнительная химическая обработка ухудшает диэлектрические параметры основы. Помимо этого медь очень быстро окисляется, для предотвращения чего приходится принимать специальные меры: пассивацию поверхности либо нанесение плёнок металлов, например золочение, палладирование, серебрение, лужение. Всё это вроде бы и хорошо, но пассивация, равно как и нанесение плёнок металлов - дополнительная химическая обработка. Лужение тоже далеко не лучший выход из положения, поскольку олово, а тем более оловянно-свинцовые припои, всё же окисляются на воздухе, хотя и гораздо медленнее, чем чистая медь. Дополнительными недостат-

ками печатного монтажа является сложность, а порой и вообще отсутствие возможности разводки проводников по кратчайшему пути и повышенная ёмкость всего монтажа. Так как подавляющее большинство фольгированных ма-

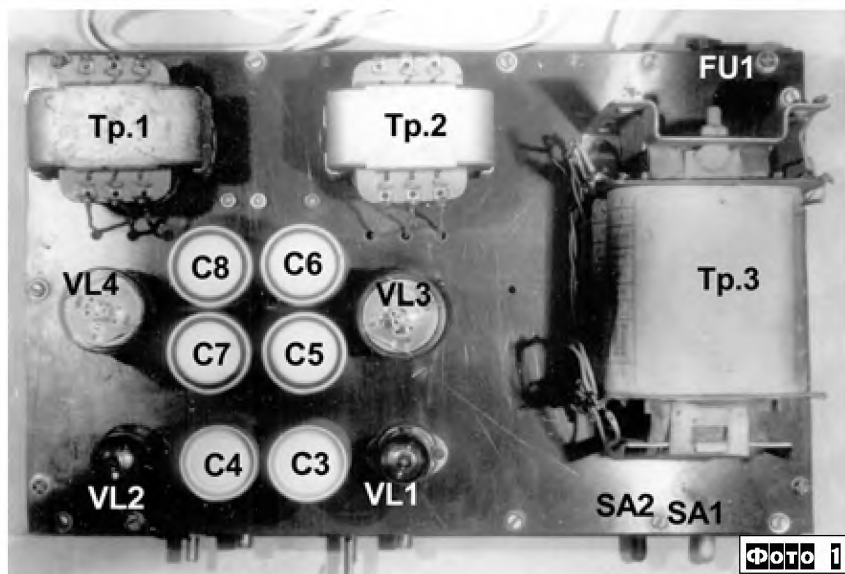


Фото 1

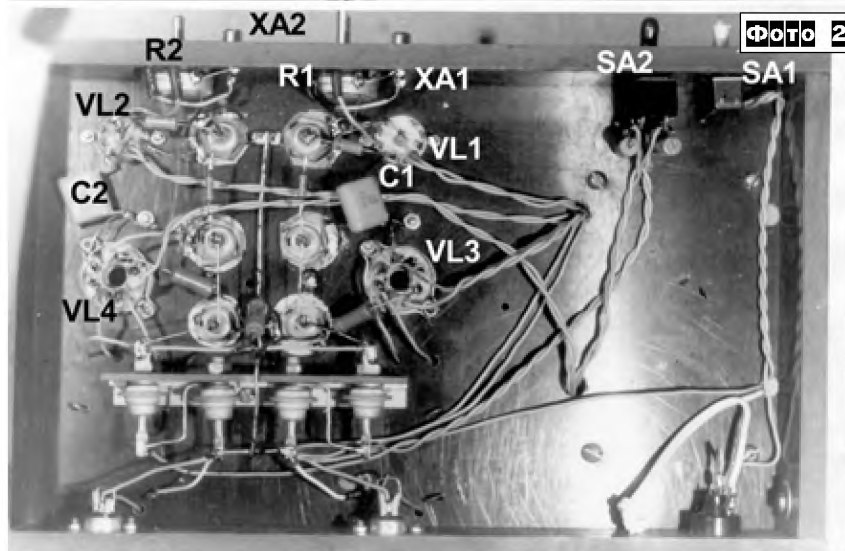


Фото 2

³⁶ Согласно ГОСТ пермаллой выпускаются толщиной 0,05...0,5 мм, трансформаторные стали 0,1...0,65 мм.

³⁷ В странах СНГ

териалов производится на основе бумаги, проклеенной слоями под давлением - гетинакса, либо ткани, стеклоткани, пропитанной различными синтетическими смолами - текстолит, стеклотекстолит, то с течением времени подложка насыщается атмосферной влагой, которая, растворяя соли металлов, оставшиеся после травления платы, образует электролит. Вследствие этого ухудшаются диэлектрические характеристики основы. Исключение составляет *фторопласт*. Ещё один недостаток печатного монтажа объясняется тем, что основа платы вступает во взаимодействие со звуковым сигналом подобно диэлектрикам конденсаторов. Поэтому все проблемы, характерные для ёмкостей, а именно токи утечки, абсорбция, изменение диэлектрических констант с частотой и т.п. сохраняются, правда, у печатных плат это не столь чётко выражено. Как известно, лучший изолятор - вакуум, за ним следуют воздух и, с приличным отставанием, фторопласт. Подведём итоги: **лучший вид монтажа аудиоаппаратуры - навесной**. Ламповая техника имеет более простую схему и большое количество массивных компонентов, прочно закрепленных на шасси, благодаря чему такой монтаж особых трудностей не вызывает. В то же время полупроводниковая аппаратура обычно требует применения печатного монтажа, поэтому стоит запомнить следующий совет. В тех случаях, **когда без применения печатного монтажа обойтись невозможно, плату следует изготовить из фторопласта, покрытого серебряной фольгой**³⁸. В крайнем случае можно «печатку» сделать из обычного фольгированного фторопласта, но после вытравливания токопроводящих дорожек на них придётся нанести слой серебра, который обрабатывается в пассивирующем растворе. И последнее. Некоторые зарубежные фирмы применяют для основы печатных плат специально разработанные полимеры, на которые в вакууме напыляются токопроводящие дорожки из благородных металлов. Полученная заготовка проходит обработку по особой технологии, подвергаясь химическим, термическим, механическим воздействиям.

МОНТАЖ усилителя лучше всего начать с раскладки цепей сетевого напряжения. Запомните важное правило: **все проводники, по которым проходит ток промышленной частоты (50 Гц) должны иметь бифилярную свивку рис.7**. Это делается с целью уменьшения наводок. После подключения сетевых проводов на силовом трансформаторе установите семь перемычек между следующими выводами: 3-3'; 4-4'; 5-5'; 6'-7'; 6-7; 9-9'; 12-12'. Контакт 4 необходимо соединить с металлическим креплением Тр.3. Удобнее всего это выполнить отрезком монтажного провода, имеющем на одном из концов клемму «под винт». Теперь следует удалить предохранитель FU-1, а вместо него включить в разрыв цепи лампы накаливания 220 В x 200 Вт. Подаём сетевое напряжение и наблюдаем за поведением лампы. Если трансформатор исправен, перемычки установлены правильно, то нить накала будет едва светиться или не светиться вообще³⁹. Тестером промеряйте напряжения всех обмоток. Вполне допустимы их несколько пониженные, в среднем на 5%-20%, значения, так как часть сетевого напряжения падает на нити лампы. Завершив это испытание, можно развести цепи питания накалов ламп. Строго следите за **точным** соответствием реальных соединений принципиальной схеме, т.е. проводник, идущий от трансформатора с меткой «а», должен быть подключен к выводу лам-

пы с таким же точно обозначением. Соблюдение этого правила позволяет заметно уменьшить уровень фона переменного тока. Наиболее рационально выполнять такую операцию в следующей последовательности. Припаяйте *видую* пару проводов к выводам накала на панели лампы, допустим VL1. Омметром найдется проводник, идущий от 4-го вывода лампы, который следует подключить к контакту 12 трансформатора питания. Оставшийся подпаивается соответственно к 11.

Аналогичным образом смонтируйте и все остальные накальные цепи. Не вставляя в панель лампы, включите устройство в сеть и вольтметром проверьте наличие напряжения накала. После этого необходимо установить лампы на свои места, причём во время этого схему лучше всего не обесточивать. По мере увеличения количества ламп будет усиливаться свечение лампы накаливания в разрыве сетевого провода, что связано с возрастанием потребляемой мощности. Если все нити накала катодов светятся нормально, т.е. имеют оранжевый цвет, можно переходить к монтажу анодной цепи. Выводы «силовика» 8 и 8' соедините, опять-таки витой парой, с контактами 3 и 4 тумблера SA2 согласно **рис. 1**. К выводам выключателя, которые находятся сверху, подпаиваем пару проводов, идущих к выпрямителю. В случае такого присоединения цепи питания к анодному тумблеру замкнутая цепь будет соответствовать положению перекидного движка «вверх». Чтобы не повторяться больше, отмечу, что **бифилярная свивка проводов более ни в каких целях не применяется**.

То же самое необходимо сказать о многожильных гибких проводах. Последнее объясняется их весьма коварным поведением по отношению к звуковому сигналу. Главные причины такой «аномалии» вижу в следующем: значительные паразитные ёмкости и индуктивности, окисление отдельных жил, низкие диэлектрические характеристики изоляции, большой путь сигнала.

Но вернёмся к сборке усилителя. Дiodы VD1 - VD4 перед монтажом следует обязательно «прозвонить» тестером и только после этого можно собирать мост и подводить к нему переменное напряжение. Параллельно задействованным контактным группам SA-2 устанавливаются резисторы R18 и R19. Разрядное сопротивление R17 монтируется непосредственно на диодах выпрямителя. К отрицательному полюсу моста надо подпаивать **три одножильных монтажных провода в любой изоляции**, которые идут от общих точек следующих выводов сетевого трансформатора: 4-4'; 9-9'; 12-12'. Включаем тумблер SA1, а через несколько секунд SA2. Лампа накаливания должна светиться **не ярче**, чем во время последнего испытания. Если это не так, ищите «выбитый» диод и/или ошибку в монтаже. Полезно проверить вольтметром постоянного тока наличие и величину выпрямленного напряжения. Оно должно быть на 5%-20% меньше суммы напряжений всех четырех анодных обмоток. Проверив работоспособность выпрямителя, можно переходить к сборке собственно усилителя, которая начинается монтажом фильтров питания.

Прежде чем начать описание последовательности выполнения сборки, стоит детально остановиться на таком казалось бы «простом» вопросе, как монтажные провода. Изложенные выше замечания по поводу конструктивных металлов в части электрических характеристик действительны и в отношении проводников радиомонтажа. Из чего же их изготавливают зарубежные «звуковые» фирмы? Однозначно ответить на этот вопрос нельзя, поскольку всё зависит от того, для какой конкретно цепи предназначен тот или иной проводник. Поэтому предлагаю следующую схему: вначале рассмотреть требования, далее что используется «за бугром», а в конце - материалы, которые имеются или могут оказаться в распоряжении радиолюбителей. Входная цепь усилителя в нашей схеме - это участок разьём ХА1 - регуля-

тор громкости R1 - сетка лампы VL1, наиболее критичный к качеству проводников. Ничего удивительного в этом нет, так как в этом месте полезный сигнал очень мал. В дорожках Hi-End усилителях практически все фирмы ставят на вход провода из **аналитически чистого золота**. Как известно, этот металл не подвержен коррозии. В более дешевой аппаратуре входные проводники изготовлены из **позолоченного**, реже **пассивированного серебра**. Для самых дешёвых моделей, какие в общем-то отнеси к «хай-энду» довольно трудно, такие материалы слишком дороги. В связи с этим в них господствуют «импровизации» на «медные» темы, а именно бескислородная медь с различными защитными покрытиями. Сразу условимся, что в случае упоминания аудиопроводников из меди либо серебра подразумеваются **пассивированные** металлы, если специально не оговорен вид защитного покрытия. Попутно замечу: способы серебрения меди неоднократно публиковались в радиолюбительской литературе, например в [7,8], а рецептуру растворов для пассивирования приведу позже.

Так что же доступно радиолюбителю? Можно купить в специализированном Hi-Fi-магазине «звуковые» проводники, сделанные из золота. Они нередко упаковываются в герметичные пакеты, заполненные инертной жидкостью, которая предохраняет металл от соприкосновения с воздухом. Конечно, стоимость таких изделий очень высока. Благодаря конверсии появилась возможность более дешёвого приобретения необходимых материалов на различного рода распродажах устаревшего и излишнего имущества войсковых частей. В некоторых образцах военной техники имеются провода из **электротехнического золота чистой 99,995%-99,999% диаметром 0,6...1,5 мм**. Они вполне годятся для звуковоспроизводящей аппаратуры. Результаты несколько ухудшаются в случае применения зубопротезной проволоки **не ниже 850-й пробы**. Использование проводников из **ювелирного золота 585-й пробы не имеет особого смысла**, так как их звучание почти не отличается от значительно менее дорогих серебряных с золотым покрытием⁴⁰. В нашем случае ставить весьма дорогие провода из золота пока незачем, **вполне достаточно серебряного с золотым напылением** или просто **серебряного** от колебательных контуров радиостанций. Как исключение, для начала **допустимо применить посеребрённые медные** и даже обычные медные. Следует помнить, что лучшими в этой группе являются провода **из меди М00б**. Эта марка расшифровывается следующим образом: М-медь; 00 - категория примесей, не более 0,01%; б - бескислородная. Немного хуже М00к, где литера «к» обозначает «катодная». Ещё одно важное замечание: проволока выпускается в виде мягкого отожжённого изделия марки ММ или твёрдотянутого неотожжённого продукта марки МТ. Отжиг производится при определённой температуре без доступа воздуха. В результате **удельное сопротивление отожжённого металла в среднем на 10 - 12% меньше, чем неотожжённого**. Не стоит забывать, что для электротехнической промышленности действующий ГОСТ допускает применение проводов из меди марки М0б и М0к с содержанием примесей не более 0,1%. И хотя в среднем содержание примесей в такой проводниковой меди, как правило, в среднем составляет 0,05%, ставить их в высококачественную звукоусилительную аппаратуру всё же не стоит. И последнее: **использование во входных цепях проводов с никелевым покрытием и луженых не рекомендуется**. Пайка первых требует применения активных флюсов, которые с течением времени могут нарушить контакт, а вторые на воздухе окисляются.

Литература

7. «Справочная книга радиолюбителя» под ред. Шапура В. М.-Л, Госэнергоиздат, 1951.

8. Альбом «Радиосхемы», сост. Матлин С. М., ДО-СААФ, 1974.

(Продолжение следует)

³⁸ Помимо Hi-End аппаратуры данный совет распространяется на область СВЧ.

³⁹ Это зависит от конкретных экземпляров трансформатора и лампы накаливания.

⁴⁰ Замена «штатного» провода, соединяющего считывающий узел с электронной схемой в проигрывателе CD «Pegasound» 1000-й модели на «военный» привела к удивительным результатам. Резко улучшилась детализация и прозрачность звучания. Аналогичный эффект был получен и в «Micromega Minium CD».

Секреты ламповой High-End ТЕХНОЛОГИИ

(Продолжение. Начало см. «РХ» №2, 3/99)

Станислав Симулкин, г.Алчевск Луганской обл.

Следующая по своему влиянию на качество звучания цепь - ведущая от анода лампы драйвера к управляющей сетке выходной лампы. В идеальном случае в ней используются материалы такого же качества, что и на входе. Правда, сигнал уже возмел «подрасти», поэтому не будет особой беды, если поставить провода одним «рангом» ниже. Особенность этой части схемы заключается в «соприкосновении» звукового сигнала с пассивными элементами устройства.

Изучим данный вопрос более внимательно. Как уже говорилось, наиболее крупные фирмы в своих изделиях ставят специальные «звуковые» компоненты. Они имеют *удлиненные* против обычного выводы из *серебра*, реже *золота*. Это позволяет соединять между собой узлы аппарата высококачественными проводниками *непосредственно*, избегая лишних паек. В любительских условиях чаще всего приходится довольствоваться деталями общего применения. У них, как правило, медные луженые выводы, поэтому полезно запомнить несколько советов. **Избегайте лишних паек** - в них, вследствие неоднородности материалов, происходит потеря весомой части звуковой информации. Лучше всего передавать звуковой сигнал непосредственно по выводам деталей минимально возможной длины. Если наращивание выводов конструктивно неизбежно, один из концов обрежьте практически «под корень» и подпайвайте к нему *высококачественный* проводник нужного размера. Длину второго вывода оставляйте с расчётом на обеспечение надёжного монтажа, но **не более** того. Безусловно, такое асимметричное расположение элемента не слишком «украшает» устройство, однако является меньшим злом, чем лишний контакт.

Не стоит забывать о существовании *безвыводных* деталей. Такие компоненты имеют металлизированные «пятячки», чаще всего серебряные, к которым подпайваются провода. К применению подобных деталей необходимо подойти с особой осторожностью, поскольку они обычно требуют особых приёмов монтажа, специальных припоев. К этой группе принадлежат и бескорпусные изделия. Их использование дополнительно осложняется необходимостью принимать меры их защиты от воздействия окружающей среды. Целесообразность замены обычных деталей определяется экспериментально в каждой конкретной ситуации по результатам контрольных прослушиваний. С учётом всех этих особенностей применение безвыводных компонентов можно рекомендовать только опытным радиолюбителям. Если же Вы не уверены в своих силах, остановите свой выбор на элементах обычной конструкции.

Последние участки схемы, по которым проходит звуковой сигнал в данном усилителе - цепи анода и второй сетки лампы VL3. Большой уровень сигнала - максимальная амплитуда составляет порядка 200 В - резко снижает требования к качеству проводников. Только в самых дорогих и высококачественных усилителях анодные цепи выполняются серебряным проводом. В остальных случаях посеребренной «медяшки» более чем достаточно, так что можете ставить обычный одножильный монтажный провод, даже луженый. То же самое можно сказать о проводнике в цепи экранной сетки, в случае построения каскада по ультралинейной схеме. Если выходная лампа работает в стандартном тетродном включении, то на цепь питания второй сетки распространяются общие требования, предъявляемые к цепям анодного напряжения, к рассмотрению которых мы сейчас и переходим.

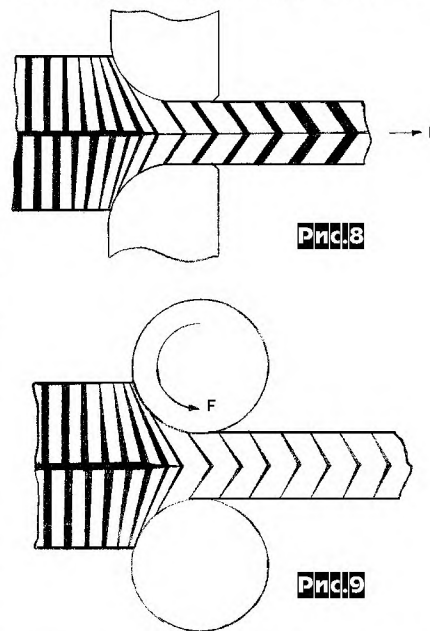
Поскольку основная масса помех, возникающих в проводниках анодного питания, отфильтровывается «электролитами», использовать в этих цепях исключительно дорогое золото *нецелесообразно*. Даже в самых высококачественных аппаратах высоковольтные провода изготовлены из серебра. Вообще же на первых порах можно считать вполне достаточным выполнение следующего условия: **проводники источника анодного напряжения могут быть изготовлены из материала, аналогичного металлу обмоток выходного трансформатора**. Так как основная масса «выходников» намотана медью, выбор медного провода с серебряным покрытием обеспечивает определённый «запас» качества этой части схемы.

При компоновке аппарата постарайтесь разместить **конденсаторы фильтра питания и междукаскадной развязки** таким образом, чтобы их положительные выводы можно было соединить выводами резисторов междукаскадной развязки. Эта мера даёт возможность уменьшить количество паек. К цепям катодов предъявляются более жесткие требования по сравнению с анодными. Это обусловлено действием в них напряжений сигнальных ООС, причём их амплитуда соизмерима с напряжениями в цепях управляющих сеток. Важнейшее правило: **катодные резисторы обязательно подключайте к отрицательным выводам конденсаторов именно той лампы, анодное напряжение которой они фильтруют**, т.е. R3 и R4 следует соединить с «минусом» С3, а не какого-нибудь иного. Причём делать это надо **по кратчайшему пути**. Выходной каскад имеет ещё одну особенность: **катодный резистор оконечной лампы необходимо подключать к общему проводу как можно ближе к источнику питания и его фильтру**. В нашем случае это конденсатор С6. Вместе с тем **сопротивление утечки управляющей сетки** выходной лампы полезно подпайвать как можно **дальше от катодного резистора и ближе к фильтру питания**. Это позволяет уменьшить наводки и снизить опасность самовозбуждения каскада. Такой оптимальной точкой можно считать «минус» С5. В остальной цепи катодов ламп допустимо выполнять в соответствии с требованиями монтажа междукаскадных цепей.

Если шасси имеет рекомендуемую конструкцию, все перечисленные условия выполняются без особых осложнений. **Общая шина должна иметь минимальное собственное сопротивление. Её качество играет очень большую роль в звуковоспроизведении**. Повышенные требования объясняются тем, что «масса» связывает цепи и каскады малых сигналов с мощными выходными узлами. **Идеальным** исполнением следует считать **серебряный проводник большого сечения**. Однако это чрезвычайно дорого и доступно только крупным специализированным фирмам, выпускающим самую высококачественную аппаратуру⁴¹. В более дешёвых моделях усилителей земляные шины выполняются **катаным проводом из меди высокой чистоты с серебряным покрытием**. Такая технология вполне доступна радиолюбителям. Оптимальный вариант - использование **медных обмоточных шин прямоугольного сечения**, которые почти всегда изготавливаются *прокаткой* металлической заготовки. Применение серебряного провода большого сечения для «земли» в любительских условиях оправдано только в конструкциях самого высокого класса. Эти же требования распространяются и на выпрямитель анодного напряжения.

Завершив рассмотрение сортамента мате-

риалов, допустимых к использованию в различных цепях HI-END-усилителей, считаю необходимым отметить, что **не меньшее значение имеют технология производства и направление включения проводов**. С этой точки зрения лучше провода, изготовленные *прокаткой*, а не «классическим» методом - *волочением* через фильеру. Схематически различие между двумя процессами показано на **рис.8 и 9**. Хорошо видно, что в случае протягивания заготовки в материале увеличиваются междукристаллические расстояния (**рис.8**). Во время прокатки имеет место обратный эффект - происходит уплотнение кристалличес-



кой структуры (**рис.9**). Этим объясняется тот факт, что большинство фирм в своей аппаратуре, даже самых дешёвых моделях, ставят проводники из «катанки». На этих же рисунках видна ещё одна тонкость: **в процессе обработки кристаллы металла укладываются «ёлочкой»**⁴². Поскольку все металлы обладают свойством «памяти» то, несмотря на осуществление рекристаллизационного отжига, проводник приобретает так называемое **направление включения**⁴³. Наиболее критичны к этому входные малосигнальные цепи, междукаскадные кабели⁴⁴ и междукаскадные компоненты.

Последний момент весьма интересен и на нём полезно заострить внимание. Дело в том, что радиодеталь можно в простейшем случае рассматривать как три самостоятельных элемента: вывод (проводник) - сопротивление или ёмкость - проводник. Сразу скажу: собственно резистор либо конденсатор также имеют свое направление включения. Так вот: **высококачественные импортные аудиодетали сконструированы и изготовлены с таким рас-**

⁴¹ В ламповом предварительном усилителе Audio Note M-10 (\$110000) от идола High-End г-на Хирояши Кондо серебряные провода применены не только в сетевом трансформаторе, но даже в сетевом шнуре.

⁴² Несмотря на грубость и определенную условность приведенных схем, несложно прийти к выводу, что подобный эффект не должен наблюдаться, по крайней мере теоретически, у кованных металлов.

⁴³ Чтобы получить самую упрощенную аналогию достаточно поглядить собаку по шерсть и против.

⁴⁴ При комплектовании аппаратуры всегда следует прослушивать соединительные кабели в обоих направлениях.

AUDIO HIGH-END

чётом, что «правильное» направление *всех трёх частей совпадает*. Компоненты общего применения, наиболее доступные радиолюбителям, этому критерию отвечают *далеко не всегда*. Теперь понятно, почему каждую «мелочку» приходится прослушивать⁴⁵. В этом смысле безвыводные элементы обеспечивают большую гибкость.

Начать подбор направления включения проводников необходимо с наиболее критичной входной цепи. Для этого от бухты отрезают два проводника минимально необходимой длины и соединяют сигнальный контакт разъёма XA1 с резистором R1, а далее регулируемый вывод R1 с сеткой VL1 согласно принципиальной схеме. Так как правильное направление обоих проводников входной цепи *совпадает*, включайте их в одну сторону. Аналогичные переделки осуществляются и во втором канале, с той только разницей, что направление проводов должно быть *противоположным*. Запомните важную деталь: после замены любого проводника перед контрольным прослушиванием *дайте ему «приработаться»* в течение 2...3 часов, подавая на вход усилителя любой сигнал. Сам аппарат в это время должен быть нагружен и включён. Это необходимо для того, чтобы электрический ток «пробил» себе «дорогу». И ещё: *все* провода, направление включения которых вы определяете, разумнее всего брать из одной бобины. **Не пользуйтесь случайными кусками**, так как существует опасность несколько раз подряд получить ошибочное включение. По результатам прослушивания определите требуемое направление включения проводника и затем переделайте «неправильный» канал.

Теперь приступаем к проверке направления «земляной» шины предварительного каскада. Эту ответственную операцию, которая потребует от вас максимального внимания и способности запоминать звучание аппаратуры, целесообразно провести в такой последовательности. В течение нескольких дней прослушайте усилитель, воспроизводя через него музыку самых различных жанров, и постарайтесь хорошо запомнить все нюансы и особенности звучания. В тот день, когда вы предполагаете провести эксперимент, ещё раз «погоняйте» аппарат в течение 1...2 часов и сразу же замените шину. Практика показала, что на это уходит 15...20 мин. если, конечно, заранее подготовлены инструмент и материалы. После двух-трёхчасового прогрева осуществите контрольное прослушивание. Если в результате изменений звучание ухудшилось, чего исключать нельзя, верните на место старый проводник и проверьте качество воспроизведения. Прделаав это, приступайте к «исправлению» «земли» входной цепи, следуя рекомендациям, изложенным применительно к сигнальному проводнику.

Далее потребуется определить направление включения междукаскадных элементов: конденсаторов C1, C2, резисторов R11, R14. По причинам, рассмотренным ранее, понадобится неоднократный подбор каждого элемента. Во избежание ошибок **наилучший по звучанию вариант обязательно оставляйте в качестве эталона**.

Следующим этапом будет работа с перемычками диодного моста. Целесообразнее всего это сделать по методике, описанной для общей шины, причём **каждый раз нельзя менять более одного проводника**. Теперь

необходимо определить направление анодных проводов, включенных между выпрямителем и резисторами развязки R10 и R15, по завершении чего можно перейти к цепям оконечного каскада. При «наведении порядка» в выходном каскаде можно придерживаться такой последовательности. В первую очередь проверем направление проводов, находящихся между конденсаторами фильтра C6 (C8) и выводами 1 выходных трансформаторов, а потом от выводов 3 к анодам VL3, VL4. Хочу заметить, что направление включения проводников этой цепи в обоих каналах совпадает **не всегда** и зависит от конкретного экземпляра «выходника».

Порядок выполнения дальнейшей работы определяется схемой оконечного каскада. В случае «классического» тетрода вначале «выслушивается» катодный резистор, а потом цепь экранной сетки. В ультралинейном каскаде последовательность действий сохраняется с точностью «до наоборот», т.е. сразу проверяются резисторы катодной сетки и только после этого цепи катода.

Завершается работа над оконечным каскадом нахождением оптимального направления «минусовой» шины, ведущей от ёмкостей фильтра C5, C6 и C7, C8 к диодам выпрямительного моста. Теперь можно вернуться к драйверу и для начала необходимо подобрать катодные резисторы R3-R6, а затем сопротивления анодных нагрузок R7, R8 и, в самую последнюю очередь, сопротивления развязки питания R10, R15. Считаю необходимым предупредить: выполнение столь трудоёмкой и кропотливой работы, какой является подбор направления включения проводников и пассивных элементов, имеет смысл **только после** разрешения проблем, связанных с выходными трансформаторами и режимами работы ламп.

Посмотрим, что же используется в предлагаемой конструкции. В данном варианте усилителя входные цепи выполнены серебряным проводом диаметром 1,5 мм. Остальной монтаж производится посеребрёнными проводниками диаметром 2 мм. В качестве «земли» использована посеребрённая медная шина прямоугольного сечения с площадью 6 мм². Допустимо поставить круглый медный проводник диаметром не менее 2,8 мм, но **обязательно катаный**.

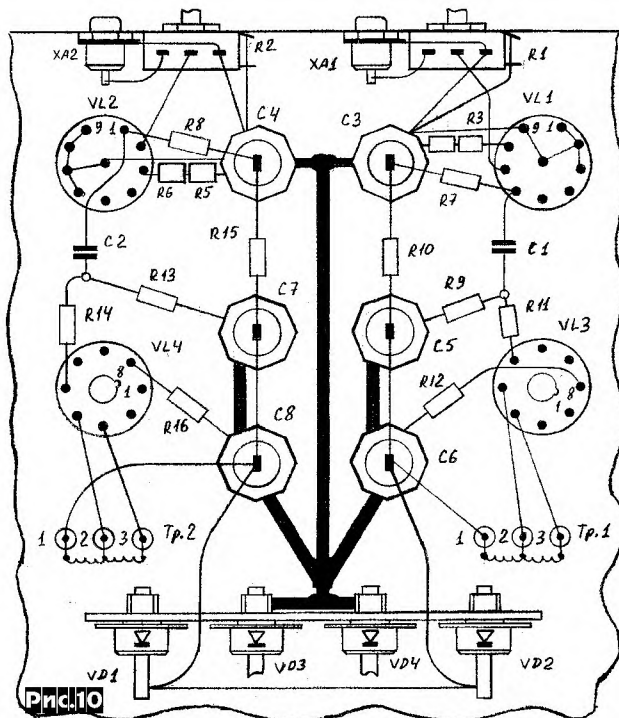
Таблица 2

Состав и режим обработки	№1	№2	№3	№4
Хромовый ангидрид CrO ₃ , г/л	80...100	-	-	-
Бихромат натрия (натриевый хромпик) Na ₂ Cr ₂ O ₇ , г/л	-	-	-	90...100
Бихромат калия (калиевый хромпик) K ₂ Cr ₂ O ₇ , г/л	-	100	65	-
Кислота серная 1,84, мл/л	5...10	10...20	1,6...1,7	-
Температура, °C	15...30	45	15...30	60
Продолжительность, с	15...20	20	15...20	20

Таблица 3

Состав и режим обработки	№1	№2
Бихромат калия (калиевый хромпик) K ₂ Cr ₂ O ₇ , г/л	10	-
Калия хромат K ₂ CrO ₄ , г/л	-	30...50
Натрия карбонат (сода кальцинированная), г/л	-	30...50
pH	3...4,5*	
Температура, °C	15...20	15...30
Продолжительность, мин	20	5...10

*Корректируется хромовым ангидридом



С целью защиты поверхности проводов от коррозии рекомендую **все токоведущие** элементы монтажа, не имеющие изоляции, предварительно **обработать** в одном из пассивирующих растворов. В табл.2 приведены рецептура и режимы для обработки меди, а в табл.3 - изделий из серебра, причём следует сказать, что пассивирование серебра в любом из предложенных растворов **не влияет** на его способность к пайке. В процессе работы для лучшего перемешивания изделия необходимо слегка покачивать. Остаётся предупредить: соединения хрома относятся к разряду **ТОКСИЧНЫХ КАНЦЕРОГЕННЫХ** веществ, поэтому при контакте с ними соблюдайте осторожность⁴⁶ [9].

Ну а теперь пора вернуться к описанию монтажа усилителя. Вначале соедините шинами отрицательные выводы ёмкостей фильтра питания, собственно «землю» разведите, как показано на рис.10, и подключите её к диодному мосту. Установите на свои места

⁴⁵ Сегодня уровень схемотехники достиг такого уровня, что качество звучания (при отсутствии явных схемных промахов) определяется в основном «мелочами». В ламповых усилителях таких нюансов меньше, что представляет собой немаловажное преимущество.

⁴⁶ Вообще же химические процессы в радиолюбительской практике - большая и интересная тема. Сюда входят и такая распространённая операция как травление печатных плат, и уникальные гальванопластические технологии получения деталей сложной конфигурации - волноводов, радиаторов и т.п.

резисторы развязки R10 и R15, а также подпаяйте анодные проводники от конденсаторов C5 - C8 к выпрямителю. «Электролиты» перед их монтажом нужно **обязательно проверить** тестером, что выполняется следующим образом. Предварительно разряженную «банку»⁴⁷ подсоедините к прибору, включенному в режим измерения сопротивлений на пределе сотен Ом или единиц килоом. В момент присоединения исправного конденсатора стрелка индикатора резко отклонится в направлении нуля и затем, по мере заряда ёмкости, будет плавно перемещаться в сторону больших сопротивлений, что потребует последовательного перехода на большие пределы измерения. По завершении полного заряда омметр покажет некоторое стабильное значение. Эта величина носит название **сопротивление утечки**. Понятно, чем оно больше, тем лучше, но нельзя забывать что «электролит» - деталь полярная, имеющая резко выраженную зависимость электрических параметров от направления включения в любых цепях и схемах, не только в области звуко-техники. В связи с этим полезно проверить сопротивление утечки в обратном включении, особенно если определить полярность выхода вашего омметра затруднительно. В любом случае *при сопротивлении утечки менее 300 кОм «банку» лучше отбраковать*. Если у Вас по каким-либо причинам не оказалось запасного конденсатора, имеет смысл попробовать «оживить» дефектный элемент. Такая возможность реально существует из-за того, что по прошествии определённого времени происходит частичное расформирование обкладок, в результате чего увеличивается ток утечки. Когда к таким «электролитам» на достаточно длительный период прикладывается небольшое постоянное напряжение, у некоторых из них происходит восстановление изоляции. Данный процесс имеет наименование «тренировка» и производится так. Измерьте сопротивление изоляции подозрительных элементов и запомните это значение. Его величина должна быть не менее нескольких кОм. Конденсаторы с большей утечкой восстановлению не подлежат. Смонтируйте «банки» согласно принципиальной и монтажной схем, а проводник, ведущий от тумблера SA2 к выводу 8 сетевого трансформатора, перекоммутируйте на вывод 7'. При этом перемычки, установленные между анодными обмотками, можно не снимать. Подайте сетевое напряжение, *не включая* тумблер SA2, а с помощью вольтметра постоянного тока убедитесь в наличии небольшого выпрямленного напряжения. Одновременно с этим необходимо на ощупь контролировать температуру корпусов ёмкостей, причём это делать надо первые 5 мин - непрерывно, далее через 15 мин, 30 мин, 1 час. Для исключения влияния теплового излучения оконечные лампы следует вынуть из панелек. Если какой-либо конденсатор начнёт нагреваться, немедленно выключите питание и через некоторое время, достаточное для полного разряда ёмкостей фильтра, удалите этот «электролит», так как «реанимировать» его уже не удастся. В случае когда подача напряжения прошла нормально, оставьте всё как есть на 12...15 час, после чего, разумеется, предварительно разрядив и отпаяв «банки», следует измерить сопротивление утечки и запомнить или, что лучше, записать карандашом на их корпусах новые значения. Те конденсаторы, у которых сопротивление изоляции не увеличилось хотя бы в полтора раза, придется забраковать, так как они не восстанавливаются. Прделав эти операции, можно вернуть на свои места демонтированные элементы схемы кроме проводника от тумблера SA2 к «силовику» и повысить напряжение «тренировки». С этой целью достаточно подать сетевое питание и через 2...3 мин замкнуть анодную цепь выключателем SA2. Подсказываю: после каждого повышения выпрямленного напряжения *контролируйте*

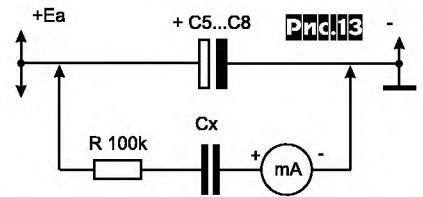
температуру корпусов конденсаторов, выдерживайте ёмкости под более высоким напряжением не менее 12...15 час и проверяйте утечку. При появлении неполадок замените неисправную «банку» и весь процесс «тренировки» повторите заново. В ходе «тренировки» конденсаторов для дальнейшего увеличения анодного напряжения провод от тумблера SA2 последовательно, с выполнением *всех* контрольных действий, перепаивайте с вывода 7' на 5', далее на 6 и, наконец, на 8, причём после очередной перекоммутации и включения в сеть вполне достаточно выдерживать устройство с выключенным SA2 в течение 2...3-х мин. Таким способом за несколько дней нередко удаётся «нарастить» сопротивление изоляции «электролитов» с 5-10 кОм до нескольких мегаом.

После полного окончания монтажа «земли», выпрямителя, фильтров и разводки блока питания можно переходить к сборке оконечных каскадов, которую рассмотрим на примере одного из каналов усилителя. Данную работу следует начать с распайки вторичной обмотки выходного трансформатора. Вывод 5 «выходника» соедините с контактом 2 гнезда XA3. Этот контакт разьёма подключите одножильным проводом к отрицательному полюсу выпрямителя непосредственно к диоду VD4. В этом месте моста подпаян ещё один такой же проводник, связанный с металлическим креплением Тр.1. Между контактами 1 и 3 гнезда XA3 устанавливается перемычка. К одному из них подсоединяется вывод 4 выходного трансформатора.

Следующий этап монтажа заключается в сборке анодно-экранных цепей. После этого устанавливаем катодный резистор R12. Хочу подчеркнуть: при подготовке любых радиодеталей к монтажу в звуковом тракте их **выводы плавно изгибайте по дуге рис.11**, а не под прямым углом **рис.12**. Это правило связано с двумя основными причинами: во-первых, длина проводника, проложенного по дуге, меньше, чем отформованного под углом. Во-вторых, в случае резкого изгиба под влиянием напряжения деформации происходит нарушение кристаллической структуры материала провода. Дополнительно требуется на оправке из мягкого материала, такого как сосна, липа, некоторые сорта пластмасс, резины или пальцами. Совершенно недопустимо применять для такой операции стальной инструмент. **Несоблюдение данного условия приводит к появлению местного наклепа** поверхности металла в месте сгиба.

Далее подпайваются «антипаразитный» резистор R11 и сопротивление утечки сетки R9. К точке соединения этих элементов подключается один из выводов переходного конденсатора C1, а второй его «конец» пока оставьте «висеть в воздухе». Перед установкой данный элемент целесообразно проверить на утечку. Для этого последовательно с конденсатором подсоедините резистор сопротивления 100 кОм и амперметр с пределом измерения 3-5 мА. Вся эту цепочку «повесьте» па-

раллельно любой из «банок» (C5-C8) по **рис.13** и включите тумблеры SA1 и SA2. **Недопустимо наличие** малейшей, даже в деся-



тые доли мкА, **утечки**, имеющийся в вашем распоряжении, позволяет измерять ёмкости на переменном токе, не пожалейте 2-3 мин времени и определите её значение. Сделать это не сложно, а вот времени в процессе настройки может сэкономить порядочно, поскольку исключается весьма коварная и неподдающаяся визуальному определению неисправность - внутренний обрыв переходного конденсатора.

Закончив сборку выходного каскада, включите устройство в сеть и вольтметром проверьте наличие анодного и экранного напряжений на выводах 3 и 4 панели VL3. Теперь следует снять высокое напряжение тумблером SA2, при этом общее питание можно не выключать, подсоедините акустическую систему и поставьте на место лампы VL3. После прогрева катода, на что требуется несколько минут, подайте анодное напряжение. Осуществлять данную операцию лучше всего в затемнённой комнате, с неярким боковым освещением, достаточным лишь для уверенной ориентировки. Такая мера позволяет быстрее обнаружить неполадки в схеме.

Какие неисправности выходного каскада можно выявить при его первом включении? В первую очередь это «прострел» лампы. Он происходит как правило в момент подачи анодно-экранных напряжений. В это время в баллоне видна яркая вспышка и/или искрение, разряды, нередко сопровождаемые характерными **резкими** щелчками пробоя. Не путайте их с **мягкими** щелчками, которые имеют чётко выраженный металлический призвук, напоминающий звук распрямляющейся пружины. Последние обусловлены тепловыми деформациями конструктивных элементов и нередко наблюдаются в совершенно исправных лампах. Справедливости ради считаю необходимым сказать, что пробои в 6ПЗС обычно появляются при анодном напряжении более 600 В⁴⁸. В данном усилителе испытывалось почти полсотни радиоламп, как новых, так и б/у, в т.ч. дававших «прострелы» в более тяжелых режимах. Ни одного случая пробоя отмечено не было, поэтому вполне допустимо считать, что об этой проблеме было рассказано «для общего развития». Но если такое всё же происходит, лампу, разумеется, придётся заменить и проверить исправность катодного резистора.

Перейдём к более распространённым неполадкам. Одним из важных признаков нормальной работы оконечного каскада, собранного на лампах старой конструкции, к которым принадлежит 6ПЗС, является наличие хорошо заметного в темноте голубоватого свечения внутри и на поверхности отдельных мест колбы⁴⁹. Если в данном устройстве све-

⁴⁷ В радиотехнической литературе конденсаторы принято обозначать буквой С, которая ничто иное как сокращение английского *capacitor*. Последнее происходит от *capacity*, что дословно переводится как *ёмкость* или *capacious* - *вместительный, объёмный*. Таким образом английский термин *capacitor* состоит в прямом родстве с легендарной «Лейденской банкой». Отсюда и происхождение русского жаргонного синонима конденсатора - «банка».

⁴⁸ Т.е. при 1,5-кратном превышении паспортного значения максимального допустимого анодного напряжения для ламп этого типа (400 В). Вообще же 6ПЗС принадлежит к числу самых «живучих» ламп.

чение не наблюдается, это говорит об *отсутствии тока* в анодно-экранных цепях. Поскольку наличие высокого напряжения на аноде и экранной сетке мы уже проверили, остаются следующие причины: обрыв катодного резистора R12; плохой контакт в панельке; неисправность самой лампы. Последнее можно очень легко и быстро установить пробной заменой. Следующая неполадка, определяемая визуально - каление анода. Это происходит, когда превышает максимальная допустимая мощность рассеивания. В зависимости от степени перегрузки материал анода может разогреваться от темно-коричневого, заметно только в темноте, до ярко-красного свечения. Поскольку анод обладает значительной тепловой инерцией, необходимо внимательно следить за его поведением в первые 25...30 мин после включения. Кстати, перегрузку можно «вычислить» ещё до появления заметного каления по изменению интенсивности голубого свечения, но это требует некоторого навыка. Причины такого явления обычно связаны с неверно выбранным и/или установленным напряжением отрицательного смещения управляющей сетки. В схемах с автоматическим смещением, к которым принадлежит и наша, на его величину и/или наличие вообще влияют следующие неисправности: ошибочный, точнее недостаточный номинал катодного резистора, обрыв антипаразитного резистора R11 или сопротивления утечки R9, некачественная пайка их общей точки, большая утечка переходного конденсатора⁴⁹, плохой контакт в панельке, обрыв вывода управляющей сетки в лампе.

После устранения обнаруженных неисправностей выходного каскада можно проверить его работоспособность в целом. Для выполнения данной операции необходимо куском монтажного провода временно соединить сигнальный контакт разъёма XA1 со свободным выводом конденсатора C1. Подключите, тоже временно, «массу» XA1 к общей шине. На вход подайте сигнал звуковой частоты произвольной формы с амплитудой несколько вольт. Такое напряжение можно получить с выхода наушников или со звуковой катушки громкоговорителя любого магнитофона, приёмника, телевизора. Можно воспользоваться генератором либо мультивибратором, поскольку, как уже было сказано, форма напряжения сейчас особого значения не имеет. Если схема исправна, в акустических системах, подключенных к усилителю, будет слышен сигнал. В крайнем случае можно дотронуться пальцем к сигнальному контакту XA1. В момент прикосновения должен раздаваться довольно чёткий щелчок и появиться фон переменного тока. При отсутствии сигнала на выходе подпаяйте входной провод к общей точке C1, R9, R11. Появление звука говорит о внутреннем обрыве в переходном конденсаторе.

На этом *предварительная* проверка оконечного каскада завершается, остаётся лишь удалить временные проводники. Выходной каскад второго канала собирается в такой же точно последовательности, с той только разницей, что «земляные» проводники, идущие от выходного трансформатора и разъёма, подключаются к диоду VD3.

Монтаж предварительных каскадов начните с распайки «заземления» незадействованных электродов и внутренних экранов ламп 6Н23П. Перед установкой регуляторов громкости на их резьбовые части одеваются мон-

тажные клеммы с отверстиями диаметром 10...11 мм или металлические шайбы. В случае их отсутствия допускается сделать петлю из голого одножильного провода. Любой из этих конструктивных элементов служит для «заземления» поворотных движков резисторов R1, R2. Они соединяются с корпусами потенциометров, которые в свою очередь, подключены к общему проводу схемы. Такое построение позволяет значительно уменьшить уровень наводок. Далее установите проводники, соединяющие управляющие сетки ламп VL1, VL2 с регулируемыми выводами переменных сопротивлений. Подключите «массу» разъёма XA1 к правому отводу R1 и затем к общей шине. Выполнить данную цепь допустимо двумя отрезками провода, хотя, безусловно, лучше использовать *целый* кусок. Во втором канале производятся аналогичные операции. Сборка входных цепей завершается соединением сигнальных контактов разъёмов XA1, XA2 с левыми, по принципиальной и монтажной схемам, выводами регуляторов громкости. После этого можно установить цепочки катодных резисторов R3-R6. Введите в отверстия монтажных лепестков ламповых панелек, которые соответствуют анодам ламп VL1 и VL2, «висящие» концы разделительных конденсаторов C1, C2 вместе с *предварительно* отформованными выводами сопротивлений анодных нагрузок R7, R8. **Только проделав эти действия, произведите пайку.** Осталось подключить свободные «концы» этих резисторов к «плюсу» конденсаторов C3, C4. Включите усилитель в сеть, при этом выходные лампы VL3, VL4 должны находиться на своих местах, а вот VL1, VL2 пока не устанавливаются, и через 2...3 мин нужно подать анодное питание. Вольтметром проверьте наличие высокого напряжения на контакте 6 панельки лампы VL1 и выводе 1 - VL2. Вместе с проведением измерений внимательно следите за поведением анодов оконечных ламп. Если какой-либо из них начнёт калиться, то придётся заменить переходной конденсатор в соответствующем канале аппарата. Устранив явные неисправности драйвера, можно установить лампы VL1, VL2. После прогрева катодов и включения высокого напряжения наблюдайте за их работой. Сразу говорю: **маломощные лампы предварительных каскадов «газить» не должны.**

Если VL1 и VL2 светятся нормально, их аноды не калются, резисторы не дымят, можно попробовать «дышит» ли собранная схема. Для этого следует подключить акустические системы и, повернув регуляторы громкости в среднее положение, поочередно дотронуться к сигнальным контактам входных разъёмов. В случае исправности устройства в динамиках будет слышен фон переменного тока.

О методике поиска возможных неполадок скажу позже, в разделе измерений и настройки. Ну а по завершении успешной сборки вам потребуется подавать вполне понятное и естественное желание немедленно послушать результаты своего труда. Дело в том, что радиодеталей и проводникам для приработки, а главное, сердечникам выходных трансформаторов для правильного намагничивания требуется определённый и довольно большой промежуток времени. Поэтому прежде чем перейти к прослушиванию и настройке, дайте включённому усилителю поработать без подачи звукового сигнала, т.е. в режиме холостого хода⁵⁰, не менее 20...25 час. Разумеется, что эту процедуру можно разделить на несколько «заходов», тут важна суммарная работа. Хочу подчеркнуть: «обкатку» устройства проводите *после* устранения *всех* неисправностей.

Закончив «приработку», удалите из сетевой цепи лампу накаливания, поставьте на место предохранитель и прослушайте работу усилителя. Вполне возможно, что качество, «прозрачность» воспроизведения вам пока-

жутся неудовлетворительными. Предположим, что дефект наблюдается, допустим, в левом канале. Для локализации участка, на котором возникают искажения, в первую очередь меняйте местами разъёмы акустических систем. Если некачественное звучание осталось на той же, левой стороне, настраивается один-единственный вывод: неисправны динамические головки акустических систем. В противном случае неполадки имеются в самом тракте усиления либо источника сигнала. Возвратите первоначальное расположение выходных разъёмов и перекоммутируйте входы левого и правого каналов. Перемещение искажений в другую сторону стереопанорамы говорит об их возникновении в источнике сигналов. Разумеется, что их «расположение» не изменится при нарушениях в работе канала усилителя. Далее следует восстановить правильное подключение входов и после этого поменять местами выходные лампы. Во время данной операции снимите анодное напряжение, общее питание при этом можно не выключать, и соблюдайте осторожность, так как колбы ламп очень горячие, из-за чего существует опасность ожога.

Должен заметить, что предельная схема довольно чувствительна к качеству активных элементов оконечных каскадов, как впрочем, и любой другой ламповый усилитель звуковой частоты. Например, для комплектования пары с удовлетворительным и примерно одинаковым звучанием пришлось испытать 8 ламп. Поэтому настройка, выполняемая по результатам первого прослушивания, обычно сводится к подбору VL3 и VL4. Более высокое качество и лучшую повторяемость обеспечивает применение в выходных каскадах радиоламп следующих типов: 6П3С-Е; 6Л6WGС; 5881; 6П27С; EL34. Такая замена не требует каких-либо дополнительных переделок в устройстве. Неисправности 6Н23П встречаются чрезвычайно редко. Дефектную лампу очень легко выявить, переавтывая местами VL1 и VL2, причём следует помнить, что в каналах используются их *разные половинки* и вполне вероятно восстановление нормальной работы всего усилителя. Вообще же в нескольких аппаратах, собранных знакомыми радиолюбителями, на первых порах 6Н23П устанавливались без какого-либо подбора, как новые, так и б/у. Только в дальнейшем, после сборки драйвера по схеме последовательного «пуш-пула» потребовалось их испытание.

Получив удовлетворительное звучание усилителя, послушайте его в течение нескольких дней, чтобы привыкнуть к частотному балансу, особенно к «подрезанному» басовому регистру и выявить те или иные дефекты воспроизведения. После этого переходите к подгонке электрических режимов. Внешний вид со стороны монтажа показан на фото 2 (см. «РХ» 3/99, с.46).

В заключение описания сборки полезно более детально остановиться на припоях и способах монтажа и пайки. Зарубежные «хай-эндовские» фирмы применяют при изготовлении своей аппаратуры специально разработанные припои. Их рецептура, а также технология производства обычно хранятся в секрете и представляют собой «ноу-хау», нередко защищаемое патентом. В то же время приличные габаритные размеры радиодеталей, устанавливаемых в ламповой аппаратуре и, как следствие, их высокая теплоотдача, чаще всего сочетающаяся с хорошей термостойкостью, значительная электрическая прочность позволяют воспользоваться такими приёмами монтажа, которые практически не встречаются в полупроводниковой технике, а именно **пайка твердыми припоями и сварка.** Интересно отметить, что сварка широко применялась в радиоприборах 40...60-х годов выпуска. По мере развития электронной техники изменялись требования к монтажу, появление полупроводниковых приборов и печат-

⁴⁹ Жаргонное выражение: лампа «газит».

⁵⁰ Данная неисправность проявляется после сборки драйвера.

⁵¹ Строго говоря, режимом холостого хода усилителя называют его работу без нагрузки, т.е. без акустических систем или их эквивалента. Для ламповых схем такой режим крайне нежелателен, а во многих случаях запрещен вообще. Здесь подразумевается, что нагрузка все же подключена.

ных плат, позволяющих автоматизировать процесс сборки аппаратуры, но боющихся перегрева, оттеснили сварку на второй план. Однако радиолюбителям о её существовании забывать нельзя, тем более, что у прочитавших данную статью, по крайней мере у некоторых из них, может появиться идея, а она, кстати, довольно неплоха - сразу избавиться от проблем, возникающих в случае обычной пайки мягкими припоями. Поэтому лучше сразу рассмотреть возможные последствия такого изменения технологии и не допустить явных промахов.

Начнём со **сварки**. Одной из самых серьёзных трудностей при сварке меди является её способность в расплавленном виде легко растворять газы. При затвердевании она выделяет их, в результате чего металл становится рыхлым и пористым, что конечно же **недопустимо**. Отсюда несложно сделать вывод: использовать различные **горелки, в т.ч. водородно-кислородные**, а их описания неоднократно публиковались в различной литературе для «самопальщиков», при сборке звукоусилительных устройств **нельзя**. Остаются электрические способы нагрева соединяемых деталей. Эти способы вполне допустимо разбить на две группы: **прямого нагрева** - в эту разновидность входят различные модификации **дуговой сварки** и **косвенного** - к нему принадлежит **индукционная** сварка. Другие методы не рассматриваются, так как в любительских условиях их осуществить невозможно. Дуговая сварка в свою очередь делится на две основные разновидности: расплавляющимся и неплавящимся электродом. Среди последних наиболее распространены угольные. Медь неплохо сваривается угольной дугой на постоянном токе прямой полярности, т.е. минус на электроде. Графит или уголь имеют низкую теплопроводность, благодаря чему можно получить достаточно устойчивую дугу длиной до 15...20 мм при токах менее 10 А. Сам электрод сгорает медленно, не прилипает к металлу, так что работать довольно легко и требуемые навыки приобретаются быстро. При монтаже радиоэлементов, как правило, вполне достаточно металла их выводов, поэтому дополнительные присадочные материалы используются крайне редко. В случае необходимости сварочную проволоку следует применять из такого же вещества, что и соединяемые детали. Стоит сказать, что хотя угольная дуга прямой полярности практически не науглероживает металл, загрязнение всё же происходит, в связи с чем лучшие результаты получаются при работе **плавящимся** электродом. При такой сварке электрод выполняет роль присадочного материала, который по своему химическому составу должен быть **аналогичен**⁵² соединяемому металлу. Если же свариваются два различных металла, например медь и серебро, электрод, разумеется, необходимо изготовить из проволоки, содержащей по 50% названных компонентов. Вследствие такого подбора исключается «засорение» стыка чужеродными примесями. Так же как и в первом случае, работа ведётся на **прямой** полярности напряжения. Силу тока для сварки проводников можно взять немного меньше, чем для сварки стали плавящимися электродами. Учитывая, что для монтажа радиоэлементов вполне достаточно проволоки диаметром 0,5—0,6 мм, можно считать приемлемым наличие источника питания, а точнее источника стабилизированного тока, обеспечивающего получение выходного регулируемого тока до 15...20 А. Максимальное выходное напряжение должно составлять порядка 30...40 В. Поскольку приёмы электромонтажа очень похожи на так называемую точечную сварку, которая длится самое большее несколько секунд, устройство

сварочного аппарата можно значительно упростить, одновременно снизив пиковую потребляемую мощность. Это достигается применением ёмкостных накопителей энергии. Для повышения КПД такого устройства конденсаторы должны обладать **минимальным динамическим сопротивлением**, а их заряд осуществляется через ограничитель тока на основе **реактивного** элемента, например индуктивности. Дополнительным преимуществом сварки плавящимся электродом является возможность непосредственного введения флюса в его поверхностное покрытие. Такая обмазка не содержит дефицитных и токсичных компонентов, поэтому не очень сложно приготовить и нанести её на поверхность проволоки в домашних условиях, т.е. самому сделать нужные электроды.

Несмотря на всю свою простоту, универсальность и качество соединения, дуговая сварка не лишена недостатков. Вот главные из них: высокая температура дуги, порядка 6000 °С, вызывает интенсивное испарение и разбрызгивание материала соединяемых частей, в результате чего стык получается пористым, а окружающие предметы оказываются покрытыми застывшими каплями. В «довесок» при сильном нагреве происходит интенсивное окисление почти всех металлов (исключение составляет золото и платиновая группа) под воздействием кислорода воздуха. Окислы, вступая в реакцию с флюсами, образуют шлаки, которые загрязняют сварочную ванну. Данное крайне вредное явление можно значительно ослабить за счёт применения электродов с покрытием, выделяющим защитные газы, но к их подбору надо подойти очень аккуратно, с учётом **растворимости газов** в расплаве. Кроме указанных недостатков следует отметить чрезвычайно мощное излучение в видимой части спектра, которое не позволяет нормально следить за ходом работы.

От многих перечисленных недостатков свободна **сварка с индукционным нагревом**. Надеюсь, что радиолюбители знакомы с физической сущностью процесса, поэтому сразу перейдём к его достоинствам и недостаткам. К числу преимуществ принадлежит сравнительно медленное увеличение температуры, которое позволяет прервать в нужный момент нагрев, избегая тем самым перегрева места сварки, и предотвратить все его негативные последствия. Небольшой нагрев обуславливает относительно невысокую яркость свечения стыка, а это значительно облегчает наблюдение. К недостаткам данного способа следует отнести большую сложность оборудования: высокочастотного генератора и индуктора. Создание таких устройств потребует от Вас определённых знаний и изобретательности. На мой взгляд, источник высокочастотного напряжения проще всего собрать на мощной генераторной лампе по схеме индуктивной трёхточки с гридником в цепи первой сетки. Основные достоинства такого построения - простота, надёжность, высокая стабильность работы при изменении нагрузки; недостаток - наличие высокого напряжения анодного питания.

Для всех видов сварки и пайки твердыми припоями меди, серебра, золота, как правило, применяются флюсы на основе соединений бора, которые хорошо растворяют окислы цветных металлов. Чаще других используется **натрий тетраборнокислый безводный** $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, представляющий собой ни что иное как буру $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, лишенную кристаллизационной воды. Необходимость применения безводного вещества объясняется тем, что при нагревании бура сильно вспучивается и рассыпается. Реже используется **борный ангидрид** B_2O_3 ; **борная кислота** $\text{B}(\text{OH})_3$, иногда их смеси. Прочие флюсы, такие как **хлористый цинк**, **хлористый аммоний (нашатырь)** ввиду их высокой агрессивности для электро-монтажа **не пригодны**.

Общий недостаток всех видов сварки связан с расплавлением металла проводника, вследствие чего образуются крупные равноосные кристаллические зёрна. По их границам группируются, а затем укрупняются дефекты, до этого раздробленные и распределённые вдоль вытянутых волокон металла во время прокатки или протяжки. Результатом является ухудшение электрических и механических свойств материала. Самая опасная в этом отношении примесь - кислород, растворённый в металле. Поэтому сваривать желательно только раскисленные, т.е. бескислородные материалы, которые получают при введении в расплав небольшого строго дозированного количества активных раскислителей. Такого недостатка лишена **пайка твёрдыми или мягкими припоями**. Тем, кто решится попробовать применить сварку для монтажа радиоаппаратуры, хочу посоветовать начать эксперименты с **дуговой сваркой угольным электродом**, как наиболее простой в освоении и исполнении. Поскольку в зависимости от назначения электрические характеристики сварочных дуг могут колебаться в широких пределах: ток от 1 А до 3000 А; напряжение 5...50 В; мощность 10 Вт...150 кВт, по мере накопления у вас опыта могут появиться любимые режимы и приёмы, которые со временем составят ваши секреты и «ноу-хау».

Основное отличие пайки от сварки заключается в том, что основной металл находится в **твёрдом** состоянии, детали соединяются посредством расплавленного присадочного материала, называемого припоем. Исходя из этого определения, нетрудно понять: припоем может служить сплав или металл, имеющий температуру плавления **ниже**, чем у соединяемого материала. Кроме этого, в процессе пайки большое значение имеет взаимное растворение, а также диффузия основного металла и припоя, в связи с чем оптимальным следует считать вариант, когда все «участники процесса» принадлежат к **одной** группе. С точки зрения HI-FI радиотехнологии **соединение пайкой гораздо хуже сварки**. Это объясняется тем, что в случае пайки на месте стыка появляется неоднородность. Для минимизации негативных последствий компоненты припоя должны быть, с точки зрения наименьших потерь информативности звукового сигнала, не хуже или, по крайней мере, максимально приближены к металлу проводника. Так, медь лучше всего соединять сплавом, содержащим 50% серебра и 50% меди. Повысив содержание серебра до 60%-65% можно допустить наличие других металлов в припое в количестве до нескольких процентов. Нельзя использовать в качестве припоя для монтажа звукоусилительной аппаратуры сплавы типа латуны, которые к тому же обладают повышенной температурой плавления. Лучший присадочный материал для меди, которая плавится при 1083 °С - серебро, расплавляющееся при 961 °С. Вслед за ним располагается специализированный припой марки ПСр-70 с температурой плавления 740 °С. Он же считается одним из лучших и для серебра. Более высокие результаты получаются в случае применения сплава золота с серебром. Такая возможность существует благодаря тому, что при правильном подборе соотношения компонентов сплава его температура плавления меньше, чем у исходных металлов.

Любители поэкспериментировать могут попробовать заменить медь на золото в стандартной рецептуре ПСр-70. Вообще же для самостоятельного приготовления **твёрдых** припоев необходимо наличие **пиromетра**, позволяющего измерять температуру в диапазоне 600 °С ... 1100 °С с точностью 15 °С, **алундовых** или **кварцевых** тиглей и пробирок, так как при таком нагреве обычные керамические и фарфоровые трескаются, а графитовые науглероживают металл. Подогревание жела-

⁵² Разумеется, если медь варить медью, серебром - серебром и т.д.

тельно производить индукционным способом. Вполне годятся и самодельные дуговые печи, конструкции которых неоднократно приводились в журнале «Химия и жизнь». Как исключение допускается нагрев в пламени горелки, но тогда придётся принять меры к защите поверхности расплава от воздействия прямой газовой струи. Золотые проводники также соединяются посредством сплава серебро-золото. Более высокая, чем у серебра, температура плавления золота 1063 °С позволяет несколько увеличить концентрацию этого элемента в припое, что благоприятно сказывается на его свойствах. Для разогрева соединяемых частей и расплавления припоя можно использовать электрическую угольную дугу постоянного тока. Она зажигается между угольным электродом и концом проволоки припоя, последняя должна касаться основного металла. Паяемые детали в таком случае не включены в электрическую цепь и нагреваются благодаря теплопередаче газов дуги и металлов, а также за счёт излучения. Для уменьшения науглероживания стыка плюс источника питания должен быть подключен к присадочному материалу, а минус к угольному электроду. Некоторого улучшения качества соединения можно достичь, изготовив оба электрода из припоя. Так как в таком случае анод расходуетя намного быстрее, чем катод, питать дугу следует переменным током промышленной частоты. К сожалению, данный способ нагрева, несмотря на всю свою простоту, унаследовал многие недостатки дуговой сварки. В связи с этим **пайка с индукционным нагревом обеспечивает более высокие результаты**. Предупреждаю: при любом способе подвода тепла **нельзя допускать плавления основного металла**, поскольку это приводит к потере основного преимущества пайки, а влияние её недостатков усиливается. И ещё одно предостережение: **газовые горелки** любой конструкции **применять для нагрева металла при выполнении пайки высококачественного электро-радиоонтажа не следует**. Такое правило легко объяснить, если вспомнить основные виды горючего, используемого в таких цепях. В первую очередь это углеводородные вещества: природные газы и продукты перегонки нефти, реже водород, при сгорании которых образуются пары воды и углекислый газ. Под воздействием высоких температур в присутствии катализаторов, а цветные металлы обычно таковыми и являются, происходит диссоциация молекул продуктов сгорания. Так как водород легко диффундирует в нагретые металлы, он может накапливаться там в значительных количествах, вызывая так называемую «водородную болезнь». Ещё одна проблема, возникающая при сжигании углеводородного топлива, связана с его неполным сгоранием из-за недостатка кислорода или плохого перемешивания компонентов горючей смеси. В результате происходит науглероживание металлов. Ограниченный объём журнальной статьи, её тематика не позволяют детально остановиться на различных способах сварки, пайки твёрдыми припоями и применения таких процессов для монтажа радиоаппаратуры. Тех радиолюбителей, кто заинтересовался этой технологией, отсылаю к специальной литературе, например [10], и хочу предупредить: поскольку все эти работы выполняются при высоких температурах, во избежание перегрева радиоэлементов необходимо принимать меры по эффективному отводу тепла.

Какой же именно способ - сварку, пайку твёрдыми или мягкими припоями выбрать - зависит от конкретных условий, здесь трудно дать однозначный совет и вам предстоит найти индивидуальный «почерк». Разумеется, что такое усложнение технологии имеет смысл только при создании аппаратуры «элитной» категории, после того как Вы уверенно освоите «стандартный» монтаж, научитесь правильно

подбирать направление включения проводников и т.п. На первых порах применяйте обычную пайку мягкими припоями. Как я уже говорил, свойства металлов очень сильно зависят от количества примесей. Так например, исключительно хрупкий и твёрдый технический вольфрам после достижения чистоты более 99,9997% приобретает пластичность даже в холодном состоянии. Аналогичное влияние примеси оказывают и на электрические характеристики металлов. Чистое серебро имеет удельное сопротивление 0,0155 Ом·мм²/м, его сплав содержащий всего 3%-5% олова 0,02-0,08 Ом·мм²/м. Гораздо хуже электропроводность у оловянно-свинцовых припоев, поскольку свинец обладает сопротивлением 0,21 Ом·мм²/м и тем более у сложных трёх-четырёхкомпонентных сплавов на их основе. Так как прутки из чистого олова у «народных умельцев» встречаются довольно часто, именно этот материал можно рекомендовать как оптимальный, хотя и не наилучший по звучанию, для проведения первых опытов в HI-END аппаратах. Несколько хуже припой ПОС-90.

Во время работы паяльник необходимо включать через ЛАТР или электронный регулятор мощности для обеспечения положенной по технологии температуры жала. В случае выполнения пайки оловом необходимо 249...245 °С, сплавом ПОС-90 200...210 °С. Несоблюдение этого требования приводит к повышению переходного сопротивления соединения, ухудшению его качества в целом, независимо от того, что является причиной брака - недостаточная температура или, наоборот, перегрев. Подчеркиваю: **некачественная пайка чрезвычайно отрицательно влияет на звучание тракта**.

Должен заметить, что многие пренебрегают - а ведь совершенно напрасно - этим правилом, считая его «ненужным и излишним» педантизмом. Поэтому был проделан забавный опыт. Во входных цепях усилителя, до того предварительно отлаженного и прослушанного, были повторены наиболее типичные ошибки, допускаемые во время пайки, правда, в несколько утрированном виде. Результат превзошел все ожидания: при прослушивании постоянно возникало ощущение наличия «ступеньки», чего в классе А, разумеется, быть не может, а в отдельных местах фонограммы вообще «срезания» одной полуволны сигнала. Понятно, что в обычных случаях такая ситуация настроения не улучшает.

Теперь возвратимся к теории сплавов, из которой следует, что его прочность, механические и электрические свойства, температура перехода в жидкое состояние будут близки к характеристикам элемента, являющегося *растворителем*. Наименьшую температуру плавления имеют: ртуть - минус 39 °С, галлий - 30 °С, индий - 156 °С, олово - 232 °С, висмут - 271 °С, кадмий - 321 °С, свинец - 327 °С. Сурьму, нередко встречающуюся в рецептурах припоев, и висмут, на мой взгляд, следует исключить из рассмотрения, поскольку они занимают промежуточное положение между металлами и неметаллами ⁵³. Понятно, что чем меньше температура плавления растворителя, тем большее количество легирующего элемента, чаще всего серебра, можно ввести в припой, увеличив тем самым его электропроводность, одновременно сохранив приемлемую рабочую температуру, порядка 350 °С. Идеальной в этом отношении была бы ртуть, как наиболее легкоплавкий металл, и в старой радиолитературе приводились способы «холодной пайки» с использованием её сплавов-амальгам, но сравнительно высокое удельное сопротивление 0,945 Ом·мм²/м, а главное **ЧРЕЗВЫЧАЙНО ВЫСОКАЯ ТОКСИЧНОСТЬ ЕЁ ПАРОВ И СОЕДИНЕНИЙ** не позволяют рекомендовать данный элемент.

⁵³ Эту группу иногда называют «металлоиды». Термин устаревший и не совсем точный.

Особо подчеркиваю: работать со ртутью можно **ТОЛЬКО В СПЕЦИАЛЬНО ОБОРУДОВАННЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ. СОВЕРШЕННО НЕДОПУСТИМЫ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ДОМАШНИХ УСЛОВИЯХ**, которые могут привести к серьёзному отравлению! Следующие в этом ряду металлы индий и галлий имеют невысокую температуру плавления, удовлетворительную, ближе к высокой, коррозионную стойкость, но дороги, дефицитны, к тому же обладают пониженной электрической проводимостью, так что начинать опыты с припоями со сплавов на их основе не стоит. Кадмий и свинец более тугоплавки, чем олово, вдобавок хуже проводят электричество. Поэтому на первых порах лучше остановить свой выбор на оловянных припоях.

Приведу **один из способов приготовления** такого сплава. Необходимо сказать, что данная работа потребует аккуратности и наличия у Вас термометра любого типа с верхним пределом измерения не ниже 350 °С и точностью ±5 °С. В тигле при температуре порядка 250 °С расплавьте кусок олова, после чего растворите серебро, которое вводится в виде пудры, опилок или очень мелких обрезков тонкой проволоки. Во время этого расплава непрерывно перемешивайте палочкой или стальным стержнем. По мере насыщения раствора серебром его вязкость и плотность увеличивается. Когда перемешивание станет очень затруднено, следует увеличить температуру до 290 °С и растворить ещё порцию серебра, а затем повторить эту операцию при 330 °С. Далее необходимо при температуре 350 °С тщательно перемешать компоненты, снять с поверхности шлак, окислы и разлить сплав в формы, выполненные в виде желобов. В процессе плавки *постоянно* добавляйте флюс-канифоль. Напоминаю: работать надо в **ХОРОШО ПРОВЕТРИВАЕМОМ** помещении, на открытом воздухе или под тягой, в **ЗАЩИТНОЙ СПЕЦОДЕЖДЕ**: очках, рукавицах, фартуке.

Хочу заметить: эксперименты с различными «экзотическими» сплавами дадут ощутимый результат только в том случае, когда остальные элементы устройства, в т.ч. проводники подобраны и работают правильно. Чтобы не перепаивать весь усилитель, испытайте припой в самой критичной к качеству монтажа части схемы - входных цепях. Те, кто собирается самостоятельно разрабатывать припой, должны учитывать, что понятие электропроводности корректно в первую очередь для ламинарного, т.е. постоянного стационарного потока электронов. Вместе с тем звуковой сигнал непрерывно изменяется во времени, его огибающая носит сложный характер, поэтому его взаимодействие с проводником описывается законами и уравнениями квантовой физики и электроники. Так что металлы или сплавы, отобранные по формальным признакам, например с наибольшей электропроводностью, не всегда оказываются лучшими по звучанию, хотя конечно «плохой» металл не обеспечит правильной передачи звукового сигнала. В общем больше и смелее экспериментируйте.

На этом хотел закончить материал о припоях, который и так получился намного объемнее, чем предполагалось вначале, но необходимость заглянуть в периодическую таблицу элементов неожиданно подсказала возможное направление поиска наилучшей рецептуры припоев. Предупреждаю: изложенные ниже соображения - теоретические, если хотите интуитивные, к тому же «сырые», не проверенные экспериментально. Поэтому они с равной вероятностью могут как обеспечить успех, так и вести далеко в сторону, но всё же счел необходимым ознакомить читателей с ними. Вполне возможно кто-то захочет развить их дальше и применить на практике.

Как известно, периодический закон показывает связь между атомной структурой эле-

мента и его свойствами. Число положительно заряженных элементарных частиц ядра - протонов и количество электронов, нейтрализующих этот заряд, играют основную роль в организации кристаллической решетки, а также оказывают решающее влияние на все физические и химические свойства металлов. Исходя из этого можно сказать, что характеристики всех элементов - периодическая функция атомной массы, т.е. числа электронов и структуры электронной оболочки. Электропроводность определяется параметрами наружного, по иному валентного, электронного слоя. Заглянем в периодическую таблицу. Лучшие проводники для звуковой аппаратуры - медь, серебро, золото принадлежат к IB подгруппе ⁵⁴. Сплавы их, получаем твердые припои, о которых уже было сказано выше, и которые подтвердили свою пригодность на практике. Гораздо сложнее создать мягкий припой. Примем упрощенную аксиому: металлические свойства элементов возрастают при перемещении сверху вниз и справа налево таблицы. Нетрудно увидеть, что самыми «металлическими» элементами будут золото и его ближайшие соседи: цезий, барий, ртуть. Цезий - щелочной металл IA подгруппы ⁵⁵ с температурой плавления 26 °С. Высокая активность этого элемента (он самовоспламеняется на воздухе) требует особых приёмов работы: создания защитной среды для компонентов сплава и защиты самого припоя от воздействия атмосферы. Кроме того, строение внутренних электронных оболочек цезия (они ведь тоже влияют на свойства элемента) значительно отличаются от аналогичных структур золота. По структуре электронных слоев ближе всего к золоту находятся ртуть и платина, элементы с порядковыми номерами 78 и 80 соответственно. Попутно напомним: порядковый номер показывает заряд ядра, а также, разумеется, число электронов. Поскольку порядковый номер золота 79, вполне понятно, что и структура оболочки его атома будет отличаться от электронных слоев ртути и платины всего на один электрон. Платина - благородный металл, представитель самой интересной VIII группы периодической системы. Данная группа образована триадами элементов с очень близкими свойствами ⁵⁶. Так как все металлы VIII группы имеют высокую температуру плавления, из дальнейшего рассмотрения их исключим. Ртуть - единственный при комнатной температуре жидкий металл IIB подгруппы ⁵⁷, очень стойкий против окисления, что объясняется образованием крайне неустойчивых легко разлагающихся соединений. Ценными качествами этого элемента следует считать его способность растворять приличные объемы многих других металлов, а также принадлежность подобно золоту, серебру, меди к побочной группе. Серьезный недостаток - высокая **ТОКСИЧНОСТЬ!**⁵⁸ Менее ядовит элемент с порядковым номером 81 - таллий, имеющий температуру плавления 303 °С. Его наружная электронная оболочка, отличающаяся от золота на 2 электрона, предопределяет нахождение в IIIB подгруппе и довольно высокую устойчивость против воздействия атмосферы, различных агрессивных

сред. Исходя из структуры электронных слоев, наименее желателен в припоях химически стойкий металл - IV Б подгруппы - свинец с температурой плавления 327 °С. Рассуждая подобным образом, элементы, предназначенные для приготовления сплавов на основе серебра, в порядке приоритета допустимо разместить так: кадмий, индий, олово. Для меди лучшим «партнёром» можно считать галлий. «Полуметаллы», такие как мышьяк, селен, сурьма, висмут, нередко входящие в состав мягких припоев, применять не стоит. Как видите, подбор металлов для HI-END техники - задача далеко не простая. Здесь понадобятся разнообразные знания из различных областей техники и физики, которые можно почерпнуть в соответствующей литературе. Разумеется, привести полный её перечень не представляется возможным, поэтому вначале возьмите любой справочник по электро-радио-машиностроительным материалам и идите по библиографическому списку того или иного пособия.

Советую не распыляться, всё равно сразу полный «комплект» нюансов вы охватить не сумеете. Гораздо лучше собрать команду единомышленников, каждый из которых способен представить и решить задачу в целом, но в какой-то её части достигших БОльших, чем остальные, результатов. Обмен мнениями и информацией принесёт пользу всем участникам «консорциума», а когда Вы почувствуете, что наступило время, эта группа имеет все шансы стать ядром вашего собственного дела или предприятия, тем более что отечественный HI-END вполне конкурентоспособен.

(Продолжение следует)

Литература

- 9. Жогин Ф., Беленький А., Галль И. и др. Пассивирование металлических покрытий. М., «Металлургия», 1987.
- 10. Хренов К. Сварка, резка и пайка металлов. М., «Машиностроение», 1973.

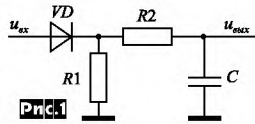
ПОГРЕШНОСТИ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОГИБАЮЩЕЙ В САДП И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Эдуард Семенов, г. Томск

Аналоговая магнитная запись по-прежнему остается доминирующим способом записи аналоговых фонограмм, поэтому развитие ее техники является актуальным. В ряде работ показано, что адаптивное изменение тока подмагничивания в соответствии с записываемым сигналом способно значительно улучшить модуляционные характеристики ленты [1-2]. Предложенный критерий [1] регулировки (постоянство взвешенной суммы токов записи и подмагничивания) также выглядит убедительно. Однако, в той же работе [1] отмечено: «В связи с тем, что подмагничивающий эффект пропорционален именно амплитуде (а не, скажем, средневыпрямленному значению) сигнала подмагничивания, в качестве UZ необходимо применять детектор пиковых или квазипиковых значений». И вот тут мы приходим к классическому вопросу: что такое амплитуда (огibaющая) [3]? Однозначного ответа на этот вопрос нет в силу его некорректности: кривую амплитуды можно построить не единственным способом. Таким образом, критерий регулировки [1] также не является однозначным.

Проблема в этой связи состоит в том, что если принять конкретный способ определения огibaющей (скажем «пиковое детектирование»), то практически можно получить лишь некоторое приближение к нему («квазипиковое детектирование»). Для монохроматического сигнала и пиковые (с нулевым углом отсечки детектора) и квазипиковые (с конечным углом отсечки) характеристики линейно зависят от амплитуды сигнала, могут быть пересчитаны друг в друга и в этом смысле эквивалентны. Настоящая статья посвящена исследованию влияния конечного угла отсечки детектора на характеристики системы адаптивного динамического подмагничивания (САДП), где входной сигнал детектора является смесью как минимум двух частот (подмагничивания и собственно сигнала).

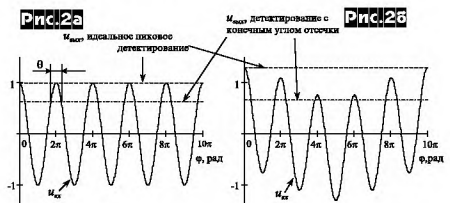
Рассмотрим для определенности схему детектора **рис. 1**¹. Пусть на входе детектора присутствует синусоидальное напряжение частотой f_j (напряжение подмагничивания). В установленном режиме средний заряд конденсатора C неизменен, поэтому при нулевом разряде конденсатора по цепи $C-R2-R1$ оказывается необходимой его подзарядка через диод VD по цепи $VD-R2-C$ в течение угла отсечки θ (**рис. 2, а**), а установившееся напряжение на конденсаторе $U_{вх}$ обеспечивает равенство заряда и разряда конденсатора: (сопротивление в откры-



$$\int_{u_{вх} > u_{вхс}} \frac{u_{вх}(\varphi) - u_{вхс}}{R2} \cdot d\varphi = \int_{u_{вх} < u_{вхс}} \frac{u_{вхс}}{R1 + R2} \cdot d\varphi \quad (1)$$

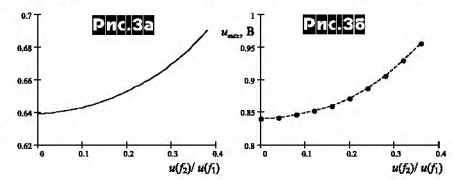
том состоянии, напряжение насыщения и обратный ток диода для наглядности полагаются равными нулю).

Появление меньшего по амплитуде и более низкочастотного сигнала частотой f_2 (составляющие сигнала записи) приводит к тому (**рис. 2, б**), что рост заряда, сообщаемого конденсатору на максимум сигнала f_2 , частично компенсируется снижением заряда, сообщаемого



емому на минимуме сигнала f_2 , и условие баланса (1) почти не нарушается. На **рис. 2, а, б** штрих-пунктирной линией приведено выходное напряжение $U_{вх}$ детектора, полученное в результате численного решения (1) при следующих условиях: $R1+R2/R2 = 11$ (что соответствует параметрам детектора **рис. 6 [1]**); $f_1/f_2 = 5$ (f_2 соответствует 20 кГц, если $f_1 = 100$ кГц); отношение амплитуд сигналов $u(f_2)/u(f_1) = 0.3$. Можно видеть, что $U_{вх}$ увеличилось гораздо меньше, чем общая амплитуда двучастотного сигнала.

На **рис. 3, а** приведена зависимость выходного напряжения детектора от относительной величины сигнала f_2 , вычисленная решением (1). На **рис. 3, б** приведены результаты экспериментального измерения вы-



ходного напряжения детектора **рис. 1** при $u(f_1) = 1,5$ В. Качественное совпадение функциональных зависимостей подтверждает правильность предыдущих рассуждений. На основе анализа приведенных графиков можно сделать следующие выводы.

1. Ход зависимости более медленный, чем при прямой пропорциональности общей амплитуде двучастотного сигнала. Это может быть скомпенсировано соответствующим увеличением коэффициента K (по терминологии [1]).

2. Характер зависимости нелинейный. Следовательно, выставив по рекомендации [1] некоторое значение K для уровня -10 дБ, будем иметь пониженную чувствительность детектора и системы в целом к сигналам более низкого уровня и/или частоты.

Для уменьшения описанных эффектов можно порекомендовать уменьшить сопротивление резистора заряда $R2$ (~ до 1 кОм) и увеличить резистор разряда $R1$ (~ до 500 кОм). Тем не менее, эти меры являются компромиссными и не позволяют нивелировать описанный эффект полностью.

Литература:

- 1. Сухов Н.Е. Адаптивное динамическое подмагничивание // Радиосежегодник-91. - с.7-30. М.: Патриот, 1991.
- 2. Сухов Н.Е. СДП-2 // Радио, - 1987. - №1. - с.39-42.
- 3. Золотарёв И.Д. Новая модель комплексного сигнала в решении проблемы «Амплитуда, фаза, частота» широкополосных сигналов в спутниковых системах связи и навигации // Спутниковые системы связи и навигации: Труды международной конференции. Красноярск, 30 сентября - 3 октября 1997. - Т. 3. - Красноярск, 1997.

¹ Детектор с интегратором на операционном усилителе по схеме **рис. 6 [1]** функционирует аналогично, но неразрывно связан с петлей авторегулирования, что делает менее наглядным его анализ.

⁵⁴ Устаревший термин - I побочная группа.
⁵⁵ Устаревший термин - I главная группа.
⁵⁶ Интересно отметить, что восьмая группа является самым слабым местом периодического закона.
⁵⁷ Устаревший термин - II побочная группа. Полезно отметить, что по современной классификации все побочные группы обозначаются литерой Б, а главные - А.
⁵⁸ Исторический факт: в средние века, т.е. за много столетий до открытия периодического закона, ртуть была обязательным компонентом в поисках легендарного «философского камня», с помощью которого предполагалось превращать неблагородные металлы в золото и серебро. Что это, интуиция алхимиков?

несу никакой ответственности за возможные проблемы, которые могут возникнуть. CD-ROM привод - вещь довольно тонкая и нежная, поэтому, если вы не уверены в своих силах, лучше не делайте ничего. Переделка не требует внесения изменений в схему привода (перережания дорожек, изменения номиналов элементов), поэтому, если все сделано правильно, работа штатных его узлов никак не нарушится.

Теперь **подробнее о переделке**. Все что необходимо сделать, это открыть привод, найти ИС ЦАП (AK4311) и реализовать следующие соединения между платой ЦАП и платой привода:

Вход MCLK (3).....ножка 5 MC AK4311,
Вход LRCK (1).....ножка 9 MC AK4311,
Вход SCLK (4).....ножка 7 MC AK4311,
Вход SDATA (2).....ножка 8 MC AK4311.
Вход DGnd (5).....общий провод (ножка 2 MC AK4311).

При этом внутренний ЦАП привода остается в рабочем состоянии (следовательно, выход на наушники и линейный выход могут использоваться).

Все вышенаписанное относится к приводу *Mitsumi FX400* (хотя, подозреваю, без проблем может быть применено и ко всем остальным приводам этой фирмы). К сожалению, дать рекомендацию для *всех* типов приводов попросту невозможно. Поэтому ниже приведена методика, действуя согласно которой, вы, скорее всего, добьетесь успеха.

Шаг 0 Необходимо найти микросхему цифро-аналогового преобразователя. ЦАП может быть представлен как отдельной микросхемой, так и быть интегрированным в БИС декодера считываемой информации. Сделать это можно, например, проследив аналоговые цепи от линейного выхода привода до собственно ЦАПа. Или же, если есть такая возможность, попытавшись локализовать ЦАП по маркировке: для приводов *Mitsumi* искомая микросхема - *AK4311*, для некоторых приводов *BTC - PT8211*, в приводах *NEC* можно встретить ЦАП *PCM1715 (PCM1717)* фирмы *Burr&Brown*, а в приводах *Samsung* (и *Creative* на базе *Samsung*) ЦАП встроен в БИС декодера.

Шаг 1 Зная тип ЦАП или БИС декодера, находим требуемые для работы ЦАП CS4390 сигналы, а, следовательно, и выводы (точки подключения на плате). При этом следует обратить внимание и на формат данных, передающихся декодером в ЦАП. На этом этапе не обойтись без Интернета. Для поиска информации по интересующим меня микросхемам я пользовался поисковиком сервера <http://www.chipinfo.ru>.

Шаг 2 Согласно полученным данным корректируем положение перемычек на плате ЦАП (если необходимо) в соответствии с имеющимися сигналами и производим подключение внешнего ЦАП.

В нашем случае (AK4311) требуемые сигналы снимаются со следующих ножек ЦАП:

MCLK.....ножка 5 MC AK4311,
LRCK.....ножка 9 MC AK4311,
SCLK.....ножка 7 MC AK4311,
SDATA.....ножка 8 MC AK4311.

Для тех, у кого ЦАП представлен микросхемой PCM1715, требуемые ножки такие:

MCLK.....ножка 5 MC PCM1715,
LRCK.....ножка 1 MC PCM1715,
SCLK.....ножка 3 MC PCM1715,
SDATA.....ножка 2 MC PCM1715.

Перемычки DIF0-DIF2 устанавливаются так, как показано на схеме. Гурманы и хай-эндщики могут попробовать комбинацию DIF0=1; DIF1=DIF2=0. Это позволит использовать 24-х битовое преобразование, если ваш привод обладает такой возможностью.

Собранная схема **наладки не требует**. Для уменьшения уровня внешних наводок плату желательно поместить в экранированный корпус. Кроме того, входные сигналы (линии MCLK, LRCK, SCLK, SDATA) должны заводиться проводниками минимальной длины.

Удачи! Пусть звучание ваших CD будет если не идеальным, то хотя бы близким к идеальному. Если у вас возникнут вопросы или рекомендации по теме статьи, можете связаться со мной в FIDO по адресу 2:4613/204.21 Ivaschenko Roman.

Секреты ламповой High-End ТЕХНОЛОГИИ

(Продолжение. Начало см. «РХ» №№2-4/99)

Станислав Симулкин, г.Алчевск Луганской обл.

ШАГ ВТОРОЙ: ИЗМЕРЕНИЯ, НАЛАЖИВАНИЕ

Уже прошла первая радость от собственного успеха, вам удалось «обуздать» ранее «невиданного зверя» - радиолампу. Усилитель довольно неплохо воспроизводит музыку, и настало время улучшить его работу. При выполнении этого этапа вам не обойтись без измерений электрических режимов. Начать работу необходимо с установки режимов активных элементов, в нашем случае радиоламп, по постоянному току. Во время проведения настройки ламповых схем следует учитывать две наиболее важные особенности. Первое: не забывайте, что в ЦЕПЯХ ДЕЙСТВУЕТ ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ОПАСНОЕ ДЛЯ ЖИЗНИ! СТРОГО СОБЛЮДАЙТЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ. Вторая тонкость связана с влиянием входного сопротивления измерительного прибора, которое должно быть, по крайней мере, на два порядка больше эквивалентного сопротивления измеряемой цепи. Большинство электронных вольтметров этому условию удовлетворяют, а вот обычные тестеры - нет.

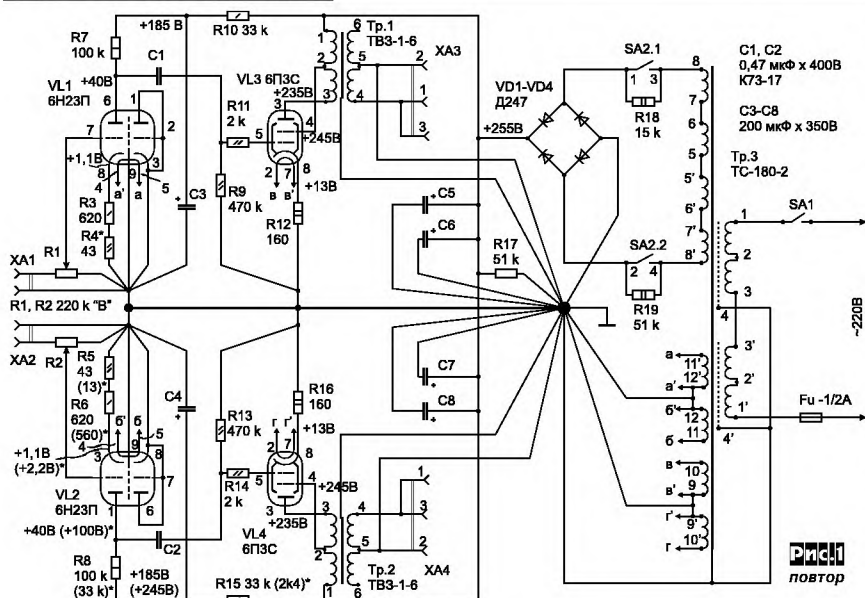
Ну а теперь пора переходить к практическим работам. Сразу условимся, что сборочные операции вами были выполнены в полном объеме, с соблюдением последовательности, описанной ранее. В самом монтаже нет явных ошибок и дефектов, все напряжения приходят именно туда, куда им положено по схеме, а усилитель уже воспроизводит, пусть пока даже не очень хорошо, звуковой сигнал. Поэтому в данной части будет рассмотрено только несколько, правда, весьма коварных неисправностей, обнаружить которые возможно только с помощью измерения электрических режимов активных элементов устройства.

Ещё раз внимательно посмотрите на принципиальную схему (повторяем для удобства рис. 1 из первой статьи цикла, тем более, что в исходной схеме не были пронумерованы выводы анодной обмотки сетевого трансформатора). Как Вы успели заметить, в одном из каналов приведены два различающихся между собой режима работы драйвера. Зачем это было сделано, скажу чуть позже, а пока включаем сетевой тумблер и после разогрева катодов ламп, т. е. через 1-2 мин, подаём анодное напряжение. Тестером измерьте его величину. Выполнить это можно как непосредственно на выходе диодного моста, так и на положительном выводе любого из конденсаторов фильтра питания С5-С8, либо на контактах 1 выходных трансформаторов. При сетевом питании, равном 220 В, напряжение в анодной цепи будет лежать в пределах 255±5 В. Если это не так, проверяйте переменное напряжение, подаваемое на выпрямитель, сначала на диодах, а затем на выводах 8-8' трансформатора питания. Номинальное его значение 206±5 В.

Причиной недостаточного напряжения на входе моста при нормальной его величине на выходе силового трансформатора обычно является неисправность контактной группы выключателя SA2. В случае, когда напряжение занижено на выводах анодной обмотки, в первую очередь проверяется сеть 220 В, а после - правильность включения секций высоковольтной обмотки и их исправность. Учитывая высокую надёжность сетевых трансформаторов типа ТС-180, наиболее вероятная причина пониженного напряжения анодного питания - недостаточное напряжение в сети. Ошибочная раскладка выводов секций высоковольтной обмотки почти всегда «вылезает» во время проведения «тренировки» конденсаторов фильтра питания. Повышенное анодное на-

пряжение связано с отклонением сетевого напряжения от номинала. Впрочем, последняя причина в настоящее время встречается исключительно редко.

После проверки высоковольтной цепи и устранения возможных неполадок переходим к регулировке оконечного каскада. Напряжение на аноде выходной лампы равно 235±5 В, а на экранной сетке 245±5 В. Напряжение на второй сетке лампы больше анодного в среднем на 10 В. Это объясняется тем, что сетка подключена только к части витков первичной обмотки выходного трансформатора, активное сопротивление которой в два раза меньше чем всей анодной обмотки. Соответственно и экранное напряжение будет **больше** анодного. Хотя подавляющее большинство приёмно-усилительных ламп допускают эксплуатацию в таких условиях, при которых напряжение экранной сетки достигает 110%-130% анодного и такие режимы даже помещены в справочные пособия, практика всё же показала, что качество звучания в этих случаях несколько ухудшается. Особенно чётко это проявляется в схемах оконечных каскадов с «классическим» тетродным включением лампы. Данный факт объясняется неблагоприятным изменением токораспределения в лампе, а именно, ростом тока второй сетки и появлением «првала» тока анода при больших амплитудах усиливаемого сигнала. Для предотвращения этого крайне вредного эффекта, подобного династронному, в цепь экранной сетки последовательно с источником питания включается гасящий резистор. Его номинал, который для мощных оконечных пентодов или лучевых тетродов обычно лежит в пределах от сотни-другой Ом до нескольких килоом, подбирается таким образом, чтобы экранное напряжение было меньше анодного на 5-10 В если, разумеется, изначально не предусмот-



рен иной режим, например $U_{\text{э}}=0,5U_{\text{а}}$. Кроме этого, данное сопротивление ограничивает ток электрода лампы, уменьшая тем самым опасность его перегрузки. В нашем усилителе такой резистор отсутствует, поскольку в анодно-экранной цепи ультралинейного каскада действует обратная связь, которая вместе с неоптимизированной нагрузкой анода практически полностью подавляет данное явление⁵⁹.

Но вернёмся к измерениям электрических режимов. Анодное, равно как и экранное напряжения можно измерять на контактах ламповой панельки либо, что гораздо удобнее, на выводах выходного трансформатора⁶⁰. Повышенное напряжение на аноде лампы может быть вызвано неисправностью выходного трансформатора. В случае замыкания между выводами 1-2 (скажем, произошел пробой этой секции первичной обмотки) на экранной сетке лампы будет полное, или, по крайней мере, очень близкое к нему напряжение анодного питания. Вместе с тем сам каскад сохраняет работоспособность, только уменьшается максимальная выходная мощность и резко увеличиваются нелинейные искажения сигнала. Пробой секции, заключенной между выводами 2-3 трансформатора, приводит к тому, что при проверке напряжения на контактах 3 и 4 панельки оконечной лампы показания вольтметра почти совпадут. Собственно неисправность на слух проявляется точно так же, как и замыкание между выводами 1-2, правда, в более выраженной форме.

Если в лампе произошел внутренний обрыв анодного вывода, то напряжения, измеренные на контактах 3-4 панельки лампы или 2-3 выходного трансформатора, как и в предыдущем случае, будут практически одинаковыми, но с той разницей, что оба почти равны выпрямленному напряжению. Каскад с такой неполадкой резко теряет усиление, а искажения могут достигать 100%. Данная неисправность нередко сопровождается сильным перегревом второй сетки, которая раскаляется до яркого, иногда белого, свечения, что при наличии небольшого навыка не сложно заметить. В результате этого вполне может произойти не только обрыв электрода, но и его полное разрушение. Конечно, лампа всё равно требовала замены, а вот куски сетки могли вызвать замыкание между другими электродами. Поэтому, если такая неприятность всё же случилась, обязательно проверьте сохранность всех резисторов каскада.

Внутренний обрыв вывода экранной сетки обычно сопровождается падением анодного

тока, вследствие чего увеличивается напряжение анода. Впрочем, не исключен и обратный эффект, так как при обрыве второй сетки получается «классический» триод. Как именно поведёт себя в таком случае лампа, сказать довольно трудно, всё зависит от её конструктивных особенностей, таких как расстояние между электродами, соотношения их площадей и т.п. У лучевого тетрода типа 6П3С происходит падение анодного тока, а вот у 6Э5П - возрастание.

Только что мы рассмотрели вопрос о том, как с помощью тестера локализовать неисправности анодно-экранной цепи. Однако следует заметить, что повышенные напряжения на этих электродах могут быть вызваны и частичной потерей эмиссионной способности катодов лампы. В процессе эксплуатации происходит «износ» активированного слоя катода, в результате чего увеличивается внутреннее сопротивление лампы, уменьшается крутизна её характеристики и, как следствие, падают токи электродов. Степень выработки ресурса катодов лампы определяется по падению напряжения на сопротивлении в катодной цепи каскада. В нашем усилителе после установки новых ламп 6П3С падение напряжения на резисторах R12 и R16 может достигать 14 В. Примерно через 100 часов работы оно снижается до $13\pm 0,5$ В, оставаясь практически неизменным в течение гарантированного ресурса, разумеется, при надлежащем качестве их изготовления. После уменьшения напряжения на катодных резисторах менее 11,5 В лампы требуют замены. По достижении такой выработки крутизна характеристики падает чуть ли не вдвое. Негативные последствия этого усугубляются необходимостью уменьшать амплитуду сигнала, подаваемого на управляющую сетку с целью предотвращения появления её тока. Все вышеназванные причины приводят к значительному снижению выходной мощности, хотя звучание усилителя в целом может оставаться неплохим.

Повышенное падение напряжения на катодном резисторе происходит из-за большого тока в анодно-экранной цепи. Такой дефект может быть вызван обрывом как в цепи второй, о чём уже было сказано, так и первой сетки. Понятно, что в последнем случае кас-

кад усилить сигнал не будет. Похожие признаки неисправности, а точнее обрыва, и катодного резистора. Во время измерения напряжения на катоде прибор с высокой входным сопротивлением показывает очень большую, иногда достигающую половины анодного питания, величину. Отсутствие напряжения на катодном резисторе наблюдается при неполадках в анодно-экранной цепи каскада, либо внутреннем обрыве катодного вывода лампы.

Как видите, признаки некоторых неисправностей во многом сходны. В связи с этим, прежде чем производить какие-либо переделки в схеме, замените лампу в подозрительном каскаде. Такая операция безопасна для устройства и трудностей не вызывает, а вот времени может сэкономить довольно много. После устранения неполадок в обоих оконечных каскадах отберите из имеющегося запаса те лампы, режимы которых укладываются в рекомендуемые пределы. Далее можно переходить к проверке и регулировке каскадов предварительного усиления напряжения.

Наступило время раскрыть секрет второго режима работы драйвера. Он необходим для подбора ламп по наилучшему воспроизведению входного сигнала. Давайте сразу договоримся: **основным** или **главным** режимом в дальнейшем мы будем называть такой режим, электрические величины и номинальные сопротивления которого на принципиальной схеме приводятся для **обоих** каналов и даются **без** скобок. Другой рабочий режим будем именовать - **дополнительным, вспомогательным** или **побочным**. Дело в том, что стабильность работы лампы в основном режиме очень высока и заметить ухудшение звучания усилителя по мере износа её катода довольно трудно. Для этого потребуется высококачественная звуковоспроизводящая аппаратура, не говоря уже о том, что с выходным трансформатором, не соответствующим оконечной лампе, провести данную операцию вообще невозможно. Поэтому был разработан каскад со вспомогательными электрическими режимами. Его отличие от основного заключается в повышенном анодном напряжении, большей силе тока и увеличенной мощности рассеивания на аноде. В таком случае схема становится более чувствительной к качеству активных элементов, установленных в ней. Это значительно облегчает их отбор, несмотря на довольно заметное ухудшение работы канала в целом.

Работу целесообразнее всего построить в следующей последовательности. Перед тем как приступить к тестированию ламп, необходимо убедиться в работоспособности предварительных усилителей обоих каналов. При нахождении неисправности драйвера логика рассуждений подобна изложенной применительно к оконечному каскаду, поэтому детально останавливаться на этом вопросе не будем. Отметим только, что отсутствие экранной сетки и выходного трансформатора значительно упрощает работу. Первоначально оба канала усилителя должны быть собраны из расчёта работы их драйверов в основном режиме.

Из имеющихся у вас в запасе ламп выберите такую пару, у которой анодные напряжения в рабочем режиме будут **одинаковыми**. Причем пока не столь важно, что они будут отличаться от рекомендованных. Просто в таком случае с большой долей вероятности можно сделать следующее предположение: наработка этих элементов примерно равная, а значит и качество их работы приблизительно одинаковое. После этого необходимо убедиться в относительном равенстве характеристик триодов, помещённых в один и тот же баллон. Для этого достаточно лампы VL1 и VL2 переставить из одного канала в другой и вновь сравнить напряжения на их анодах. Если половинки лампы дают значительный, более

⁵⁹ В случае иного соотношения между токами электродов лампы, её внутреннего сопротивления и степени рассогласования с нагрузкой картина может быть обратной.

⁶⁰ Это, разумеется, зависит от конкретного исполнения конструкции.

3...5 В разброс этих напряжений, такую деталь лучше отбраковать, так как она станет вносить путаницу в результаты дальнейшей работы. Надо сказать, что упомянутая проблема почти никогда не возникает у новых, с наработкой около 50...100 часов, и тех ламп, которые применялись по прямому назначению, т.е. стояли в **каскадных** схемах усилителей высокой частоты, например в ПТК телевизионных приёмников. Последний факт объясняется равенством катодных токов обоих триодов и, следовательно, их одинаковым износом. В других устройствах степень выработки ресурсов обоих катодов может отличаться.

По завершении этой операции следует произвести установку номинального рабочего режима каскадов по постоянному току. Но вначале проведём некоторую подготовку. Движок регулятора громкости поверните в положение минимального уровня. Вместо постоянного сопротивления R4 подключите подстроечный резистор номиналом 220 Ом. После прогрева катода в течение 10...15 мин, подайте высокое напряжение и плавным изменением сопротивления подстроечного резистора установите на аноде $40 \pm 0,5$ В. Далее проверьте напряжение на положительном выводе конденсатора междукаскадной развязки С3. Оно должно лежать в пределах 185 ± 3 В. Если это не так, уточните номинал R10. **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ:** производить замену этого резистора можно **ТОЛЬКО ПОСЛЕ ПОЛНОГО РАЗРЯДА** «электролитов» фильтра питания, т.е. не ранее, чем через 5...7 мин после отключения сетевого напряжения! Недопустимо подпаивать вместо него подстроечный резистор (хотя на первый взгляд это делает работу более удобной), так как в таком случае велика опасность поражения электрическим током!

Завершив подбор резистора междукаскадной развязки, ещё раз проконтролируйте напряжение на аноде лампы и, если конечно это необходимо, подкорректируйте сопротивление автоматического смещения. Теперь можно отпаять подстроечный резистор, измерить его сопротивление и установить R4 такого же номинала. С учётом того, что омметр имеет определённую погрешность, а радиоэлементы - производственный технологический разброс, полезно ещё раз проверить анодное напряжение. Аналогичные операции выполняются и во втором канале усилителя.

Как видите, регулировка драйвера прямо связана с установкой номинального напряжения на аноде лампы. Между тем в радиотехнической литературе во многих случаях даются рекомендации устанавливать режимы работы каскада, взяв за точку отсчёта падение напряжения на резисторе **автоматического смещения**⁶¹. Почему такая разница и нет ли здесь противоречия? Попробуем разобраться. Предположим, у нас имеется новая лампа, установленная в правильно рассчитанный усилительный каскад. Хотя существует множество, отличающихся на первый взгляд методик определения рабочих режимов лампы, все они, в сущности, являются разновидностями одного графоаналитического способа. Поэтому им присущи общие черты.

На семействе анодных характеристик лампы проводится прямая линия, наклон которой напрямую зависит от анодной нагрузки. Само же семейство характеристик получено с помощью **усреднения** результатов измерения параметров достаточно большого количества ламп. На нагрузочной прямой, а именно так называется наклонная линия, располагается рабочая точка режима **покоя** каскада. Её положение определяет основные характеристики схемы при усилении сигнала или, по-другому, **динамического** режима. Так вот, когда истинные параметры элемента совпадают с усреднёнными, никакого противоречия нет, все значения соответствуют расчётным. Однако уже было сказано, что в процессе эксп-

луатации характеристики ламп значительно изменяются. Вследствие этого «уходят» и электрические режимы каскада, а в первую очередь уменьшается анодный ток **покоя**. А ведь именно величинами силы токов и производных от них определяется коэффициент нелинейных искажений во время усиления сигнала. Таким образом, по мере износа катодов качество звучания усилителя ухудшается⁶². Разумеется, в схеме с автоматическим смещением на управляющей сетке, благодаря наличию ООС по постоянному току и её стабилизирующему действию, указанные явления начинают сказываться гораздо позже, но наступает момент, когда скомпенсировать изменения режимов она уже не способна. В этом вы скоро сможете убедиться сами.

Из сказанного можно сделать такой вывод: твёрдо опираться на величину отрицательного смещения на управляющей сетке можно только в случае установки в схему элементов, прошедших отбор на специальном испытательном стенде. В остальных ситуациях руководствоваться этим значением следует лишь как **ориентировочным**. Если же на принципиальной схеме отсутствует значение анодного напряжения, не остаётся ничего иного, как взять лампу, отработавшую 50...100 час (совершенно новая, как правило, не годится) и установить номинальное отрицательное смещение первой сетки. При этом вероятность попадания в «десятку» или рядом с ней достаточно высока.

Не стоит забывать и о возможности выполнения расчёта одной величины через другую. В нашем случае исходим из того, что выработка ресурсов катодов неизвестна. Значит, для установки требуемой силы тока покоя вам придётся варьировать отрицательным смещением в довольно больших пределах. Так, например, после установки новых ламп 6Н23П с целью достижения заданного режима работы суммарное сопротивление резисторов автоматического смещения понадобится увеличить до 800...830 Ом, напряжение на них может возрасти до 1,6 В. В дальнейшем эти значения потребуются снизить до 550...600 Ом и 1,0 В соответственно.

Итак, по постоянному току расчётные режимы драйвера достигнуты, что же делать дальше? Отвечая: необходимо провести контрольное прослушивание. Во время этой операции, скорее всего, вы обнаружите разницу в звучании каналов усилителя. Наиболее вероятная причина такого эффекта - различие в работе оконечных ламп. Чтобы убедиться в этом, достаточно поменять местами VL3 и VL4. Такие манипуляции почти всегда вызывают изменение картины различий на противоположную. В этой ситуации следует подобрать пару, обладающую одинаковым, пусть даже и не самым лучшим, звучанием. Очень редко наблюдается случай, когда перестановка выходных ламп не даёт требуемого результата. Тогда поменяйте местами лампы драйвера. Если с помощью последнего действия вам удалось заметно изменить звуковую картину, худшую лампу отбракуйте, она уже «села» окончательно, а той, которая осталась в схеме, нужно подобрать пару. Вполне возможно, что вам вновь придётся скорректировать режим работы каскада по постоянному току.

Но иногда даже после выполнения всех перечисленных действий не удаётся добиться желаемого результата. Значит нужно искать дефектный пассивный элемент. Наиболее критичны в этом отношении резисторы R1, R2, R11, R14, конденсаторы C1 и C2.

Р1, R2, R11, R14, конденсаторы C1 и C2.

После того, как вы добились равного звуковоспроизведения обоих каналов усилителя, причём перестановка ламп VL1, VL2 и VL3, VL4 не изменит звуковой картины, можно переходить непосредственно к подбору 6Н23П. Перед тем, как приступить к работе, не забудьте каким-либо способом пометить отобранные пары ламп, стоящие как в предварительном, так и в оконечном каскадах, в дальнейшем вам это пригодится. Отключив сетевое питание, подождите несколько минут, пока не разрядятся конденсаторы фильтра питания, а затем в драйверах обоих каналов вставьте элементы, соответствующие вспомогательному режиму. Подбором катодных резисторов, суммарное сопротивление которых может лежать от 630-650 Ом, если катоды новые, до 520...560 Ом для очень старых, установите номинальное напряжение, равное $100 \pm 1,5$ В на анодах триодов. Проведите контрольное прослушивание. Если катоды имеют разную наработку, скорее всего вы услышите чётко выраженные отличия в работе каналов, хотя при включении на основном режиме они не проявлялись. Оставив в своём канале лучшую лампу, в другой устанавливаем следующую и после корректировки её электрического режима осуществляем контрольное прослушивание. Этим способом подберите пару элементов с наилучшим звучанием, а остальные сгруппируйте таким образом, чтобы их работа была как можно ближе друг к другу, в идеале равной.

В ходе проведения данной операции обязательно сделайте «паспортизацию» вашего запаса ламп. Выполнить это можно следующим образом. Каждой лампе присвойте определённый номер. Его лучше всего написать на кусочке липкой ленты, который затем наклеивается на её баллон. Потом разграфите таблицу. Выше её поля подпишите такие характеристики каскада, которые в данном случае являются константами. Ими будут: сопротивление анодной нагрузки $R_a = 33$ кОм, напряжение на положительном выводе конденсаторов C3 и C4, т.е. полное напряжение питания анодной цепи каскада $E_p = 245 \pm 5$ В, напряжение на аноде $U_a = 100$ В. В столбцы таблицы внесите такие данные: номер лампы, суммарное сопротивление катодных резисторов - Rk, падение напряжения на нём - Uк, сопротивление резисторов междукаскадной развязки R10 или R15 - Rф, номер триода в **баллоне** (первый или второй, который проходил тестирование, зависит от того, в какой, левый или правый канал была установлена лампа), звучание триода в баллах. Определить последнюю характеристику наиболее трудно, поскольку в ней **присутствует элемент субъективности**. Минимизировать его влияние вам поможет только опыт.

Столь же важно, об этом я уже говорил, знать, что звучание обоих триодов, помещённых в одну колбу, примерно одинаково. Поэтому во время сравнения ламп полезно складывать их с той стороны, с которой находился канал усилителя. Такая мера позволит немного сэкономить время. При этом тесте контролируется качество работы активных элементов в другом канале, т.е. лампы, стоящие в левом канале, включаются в правый и наоборот. Практически это выполняется так. Сначала подготавливается ещё одна таблица, подобная той, что была составлена ранее. Далее в одном из каналов, например в правом, оставляется наилучшая лампа. Затем в левый канал включается лампа, ранее проверявшаяся в правом. После подгонки её режимов по постоянному току производится контрольное прослушивание. Таким методом в **левом** канале тестируются все вакуумные приборы, стоявшие в **правом**. По завершении этой части работы точно так же, но уже в правом канале, проверяются те триоды, качество звучания которых оценивалось в левом. Лам-

⁶¹ Для схем с фиксированным смещением в качестве опорной величины обычно берётся сила анодного тока в состоянии покоя, что в общем-то эквивалентно установке режима лампы по значению анодного напряжения или по падению напряжения на сопротивлении анодной нагрузки.

⁶² Не забывайте о том, что одновременно падает усиление и растут различные виды шумов и помех.

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ СХЕМОТЕХНИКА

пы, имеющие половинки с очень сильным отличием характера работы, для высококачественной звуковой аппаратуры не пригодны. Их, правда, можно использовать в других устройствах.

Близким к оптимальному следует считать случай, когда режимы триодов по постоянному току почти не отличаются, разброс сопротивлений катодных резисторов составляет не более 5-10 Ом, номиналы резисторов междукаскадной развязки одинаковы, а оценки звуковоспроизведения почти совпадают. Не забывайте, что последний критерий, несмотря на всю свою важность, всё-таки субъективен, и от этого факта никуда не денешься. Поэтому данная характеристика может «гулять» в определённых пределах. При особо ответственном тестировании возможно применение метода «свежих ушей» - понадобится привлечь к контрольным прослушиваниям знакомых, прибегая к их помощи в сомнительных ситуациях.

Внимательно просмотрите полученные результаты. Если звучание обоих триодов лампы примерно одинаково, а их электрические режимы по постоянному току отличаются довольно сильно, проведите дополнительную проверку такого элемента. В предварительные каскады каждого из каналов усилителя впаивайте резисторы, номиналы которых взяты из полученных таблиц. Причём внимательно следите за тем, чтобы сопротивления, соответствующие **второму** триоду, оказались в **левом** канале, а **первому** - в **правом**. Саму же лампу установите в любой из каналов, в какой именно безразлично, а панельку второго канала оставьте свободной. Прослушайте работу лампы в течение нескольких минут, а потом быстро переставьте её в пустое гнездо.

Сделать это несложно, поскольку колбы малоомощных вакуумных приборов нагреваются не очень сильно. Анодное напряжение во время этой операции можно не выключать.

Следует сказать, что хотя использовать такие лампы ещё допустимо в тех каскадах звуковоспроизводящей аппаратуры, которые не требуют строгой симметрии и идентичности их параметров, нужно помнить об их потенциальной ненадёжности. Другими словами она может в любой момент «выкинуть» самый непредсказуемый «фокус». Поэтому поступать таким образом оправдано только в самых крайних случаях.

Аналогичный тест очень полезно осуществить и для ламп с наилучшим звучанием, которые были отобраны ранее. На будущее стоит запомнить: такую проверку необходимо проводить при комплектовании элементов для постройки каскадов, требующих строгой симметрии и идентичности характеристик. К ним относятся: самобалансирующийся и парафазный каскады, двухтактный с последовательным возбуждением и т.п.

По завершению отбора и тестирования вакуумных приборов, в одном из каналов усилителя возвратите в предварительный каскад резисторы, соответствующие главному режиму работ. Второй канал пока оставьте без изменений. Скорректируйте электрические параметры драйвера с основным рабочим режимом. Кстати, если в вашем распоряжении имеются резисторы ряда E192, можете уменьшить количество паек и заменить цепочку R3-R4 или R5-R6 одним элементом. Сравните работу обоих каналов, ну а разницу Вы увидите сами, точнее услышите. Точно так же переделайте и другой канал.

На этом подбор ламп драйвера и установ-

ка их режимов завершается. Пару ламп, установленную в оконечном каскаде, извлеките и аккуратно отложите в сторону, позже она вам ещё пригодится. На её место подберите тетроды с наилучшим звучанием. Не случится особой беды, если работа ламп в этой паре будет немного различаться.

Разумеется, наличие достаточно качественной звуковоспроизводящей аппаратуры, скажем, такого комплекта: «транспорт» компакт-дисков «Parasound CD 1000» + конвертор «Parasound DAC 1000» + акустические системы «Mission 753», позволяет быстро и довольно легко обнаружить изменение звучания тракта после той или иной переделки в схеме. К сожалению, аппаратура даже такого по зарубежным меркам не очень высокого класса доступна не многим. Но особо огорчаться не стоит, тем более что «цифру» не только можно, но и желательно заменить проигрывателем «винила» с хорошим, на мой взгляд, лучше всего ламповым предусилителем-корректором. Аналоговые проигрыватели сегодня стоят не очень дорого, от 30...50\$, а предусилитель-корректор, кстати, довольно-таки неплохой, можно собрать самостоятельно по схемам, приведенным в [11-14] или многочисленных обзорах журнала «Радиолюбитель».

Литература

11. Сухов Н., Байло В. Высококачественный предусилитель-корректор. «Радио» №3/1981, с.35-38.
12. Меньшиков А. Высококачественный корректирующий усилитель. «Радио» №12/1988, с.38-40
13. Лихницкий А. Предусилитель с корректором АМЛ+. «Аудио магазин» №3/1996, с.47-50
14. Сухов Н. Предусилитель-корректор с низким уровнем шумов. «Радиолюбитель» №1/1993, с.31-33

NAD 314 stereo integrated amplifier

NAD, ARCAM и CREEK - небольшие английские фирмы, усилители которых в сравнительных тестах последних нескольких лет обыгрывают знаменитых японцев. Представляемый сегодня полный УМЗЧ NAD314 признан «услителем года» редакциями таких авторитетных журналов как Stereophile, What Hi-Fi, Hi-Fi News & RR.

Предусилительная часть (рис. 1) содержит ММ винил-корректор на дифкаскаде Q101Q103 и усилителе напряжения (Q105) с динамической нагрузкой Q107. RIAA коррекция формируется ООС C113C117R119R121. Отключаемый (SW4) активный темброблок (B4 - RV103, H4 - RV105) выполнен с двухтактным выходом (Q113Q115) и нормально работает на кабель с любой емкостью. C201R201 - конденсатор, улучшающий межканальное переходное затухание на B4.

УМ (рис. 2) выполнен по симметричной дифференциально-двухтактной схеме. Входные дифкаскады (Q301Q305, Q303Q307) и двухтактный каскад усиления напряжения (Q313Q315) вместе с первым из двухтактных повторителей (Q319Q321) питаются стабилизированным напряжением ± 56 В. Второй (Q323Q325) и выходной (Q323Q325) каскады усилителя тока питаются от нестабилизированного источника ± 38 В, а на пиках сигнала через каскады разгрузки по мощности Q327Q335Q343D331 и Q333Q339Q345D333 получают подпитку от источника ± 54 В. На IC701 собрана схема защиты AC, а на Q701-Q706 - отключаемая (SW701) «фирменная» схема мягкого ограничения («Soft Clipping»), которая через диоды D301D302 плавно шунтирует вход УМ при приближении как к максимальному вы-

ходному напряжению (через детекторы на D705 D706), так и току (сенсоры тока на Q337 Q347).

Блок питания (рис. 3) - чисто аналоговый, с дупольными стабилизаторами ± 56 В (Q901-904) ± 26 В (для питания предусилителя, Q905Q906). Оригинально решено получение двух дупольных напряжений - конденсаторы «внешнего» источника ± 56 В C803C806, благодаря подключению к конденсаторам «внутреннего» источника ± 38 В могут быть рассчитаны на меньшее напряжение (56-38=16 В). Номинальная синусоидальная мощность усилителя 35 Вт (8 Ом), максимальная 42 Вт при коэффициенте гармоник в диапазоне частот 20 Гц - 20 кГц не более 0,03%, кратковременная импульсная (IHF dynamic power) мощность на нагрузке 8 Ом - 120 Вт, 4 Ома - 160 Вт, 2 Ома - 200 Вт. Скорость изменения выходного напряжения 20 В/мкс, чувствительность УМ 1 В (Line - 170 мВ, RIAA - 2,5 мВ), относительный уровень собственных шумов 115 дБА (УМ, по отношению к номинальной мощности), 103 дБА (Line) и 76 дБА (RIAA, относительно 5 мВ), глубина регулировки тембра B4 ± 7 дБ @10 кГц, H4 ± 10 дБ @50 Гц. Масса 6,9 кг, габариты 435x110x310 мм, ориентировочная розничная цена в СНГ \$350.



SCHEMATIC DIAGRAM

PREAMP

