

Журнал для Любителей Звука

CLASS A

Февраль 1997

Скромное
обаяние
MARANTZ

Госпожа
2A3
и шесть
её сестер

Акробатика
ламповых
каскадов

просто и со звуком
GOLDEN TUBE

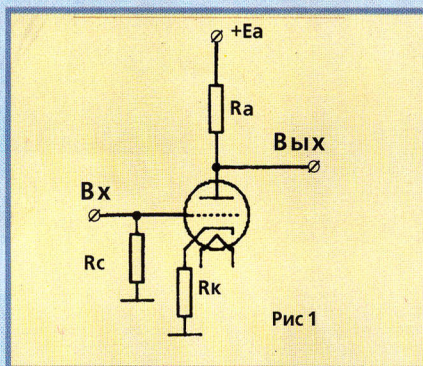


Акробатика лам

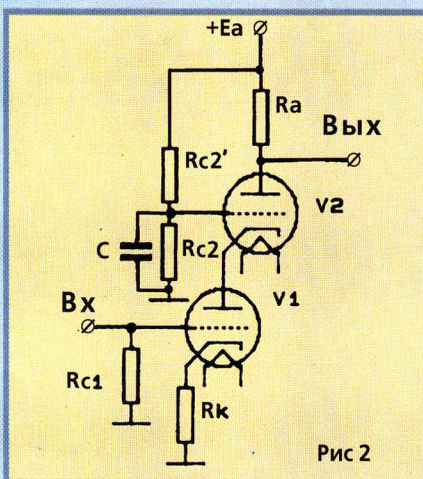
А. Фрунджян

Все, кто хоть немного знаком с ламповой схмотехникой, знают, что ламповые усилительные каскады отличаются, как правило, предельной простотой и малым количеством элементов. Этот фактор наряду с природной линейностью ламп обычно и приводится в качестве аргумента при попытке объяснить феномен превосходства лампового звука над транзисторным. Надо признать, что подобное объяснение весьма убедительно с точки зрения здравого смысла. Кроме того, оно настолько часто подтверждается на практике при схмотехническом анализе самых лучших ламповых аудиокomпонентов, что мало кому приходит в голову пытаться его оспаривать. Основной девиз у разработчиков ламповой техники таков: чем проще, тем лучше и надежнее (к сожалению, понятие "дешевле" сюда не входит, хотя по логике вещей вроде бы напрашивается само собой). И так, посмотрим на обычный маломощный резистивный усилительный каскад на триоде с общим катодом. Резистор анодной нагрузки, резистор катодного автосмещения, резистор утечки сетки да сам триод — вот, собственно, и весь каскад. Точнее, его базовый вариант (рис.1). Остальное — это уже либо элементы связи с другими каскадами, либо блокировка местной отрицательной обратной связи по току (шунтирование катодного резистора конденсатором), либо делитель в катодной цепи для более сложной организации смещения, либо развязывающие фильтры по цепям питания, либо цепи коррекции. Обычно даже наличие всех этих дополнительных компонентов не делает ламповый каскад усиления намного сложнее, чем то, что мы видим на рис.1. Все предельно понятно и просто (на первый взгляд). Известно, что коэффициент усиления каскада в середине частотного диапазона равен (при отсутствии местной отрицательной обратной связи): $K = -\mu R_a / (R_i + R_a)$ (с учетом входного сопротивления следующего каскада $R_{вх.2}$ вместо R_a используется $R_{н.экв} = R_a || R_{вх.2}$), а выходное сопротивление $Z_{вых} = R_i$, где: $\mu = S R_i$ — коэффициент усиления лампы по напряжению; S — крутизна; R_i — внутреннее сопротивление лампы; R_a — сопротивление анодной нагрузки. Известно, что для такого триодного каскада реальный коэффициент усиления обычно составляет (0,6 — 0,8) μ и зависит от величины R_a , как и другие параметры каскада: ток покоя, полоса частот, скорость нарастания выходного напряжения, линейность, максимальное неискаженное выходное напряжение, максимальный вы-

ходной ток. Обычно R_a в несколько раз превышает R_i , при этом удается получить приемлемые величины перечисленных параметров. Но возможности каскада на триоде ограничены, и поскольку в погоне за каким-то одним параметром обычно страдают другие, не менее важные, то степень свободы варьирования величинами сопротивлений анодной нагрузки и катодного автосмещения невелика. То же самое можно сказать в отношении напряжения анодного питания и тока покоя, поскольку почти все лампы лучше всего "звучат" на грани допустимой мощности рассеяния на аноде (хотя и не всегда). Впрочем, даже в этих относительно узких "пределах творчества" не так легко бывает найти оптимальный режим работы конкретной лампы в конкретном каскаде с учетом предыдущего и последующего каскадов. Под оптималь-



ным в данном случае понимается тот режим, который обеспечит наилучшее звучание, а не рекордные параметры или красивые осциллограммы. Может быть, именно взаимное противоречие различных параметров усилительного каскада и неоднозначность их зависимости от одних и тех же факторов и являются причиной слабой



корреляции между цифровыми значениями этих параметров и качеством звука. Так, если гнаться за максимальной линейностью, приходится повышать величину анодной нагрузки, что, начиная с некоторого ее значения, будет отрицательно сказываться на ширине полосы частот, динамических свойствах каскада, да и коэффициенте усиления, который при непомерно большом сопротивлении нагрузки начинает уменьшаться, поскольку уменьшается ток покоя и крутизна лампы. Кроме того, и перегрузочная способность каскада при этом резко падает. Таким образом, цена за сверхвысокую линейность оказывается также непомерно высокой, поскольку приходится платить качеством звучания устройства в целом. Получается, что мы платим качеством звука за линейность, а не наоборот, как это должно быть. Это напоминает басню Крылова "Лебедь, рак и щука", только лебедь в данном случае — не птица (и не генерал), а коэффициент усиления, рак — линейность каскада, а щука... Одним словом, воз и ныне там. Там, где эти несговорчивые персонажи находятся в относительном мире и согласии. Поэтому если один каскад на триоде не может обеспечить необходимого усиления, приходится ставить второй. А с целью получения хороших динамических свойств иногда приходится довольствоваться скромным усилением, уменьшая величину анодной нагрузки и увеличивая ток покоя каскада. Даже в самом простом усилительном каскаде всплывает очень много тонкостей и трудно объяснимых явлений, когда дело доходит до "страшного суда" — прослушивания. И так, обобщим: в усилительном каскаде на ламповом триоде различные параметры, каждый из которых оказывает ощутимое влияние на качество звука всего устройства, находятся во взаимном противоречии, и излишнее рвение при "вытягивании" какого-то одного из этих параметров неизбежно приводит к ухудшению других. Однако есть способ вырваться из этого замкнутого круга. Ведь до сих пор речь шла о каскаде усиления на одном триоде. А если объединить два триода в одном и том же каскаде? Это, конечно, идет в разрез с концепцией максимальной простоты, но иногда вместо того, чтобы пойти на увеличение количества простейших каскадов, можно решить ту же проблему путем усложнения (причем не очень значительного) одного каскада. В зависимости от того, какая именно ставится задача, можно выбрать один из вариантов такого усложненного каскада на двух триодах. Надо ска-

ПОВЫХ каскадов

зять, что всего их существует достаточно много и придумали их давным-давно. Например, каскод (рис.2) позволяет резко повысить усиление и одновременно широкополосность, в связи с чем, наряду с пентодами, нашел широкое применение в теле- и радиоприемных устройствах. Отдельные известные во всем мире High End' фирмы применяют каскоды и в устройствах усиления звуковых частот (например, Sonic Frontiers). Можно спорить о целесообразности применения каскодов в аудиоаппаратуре, и противники этого обычно ссылаются на то, что выходные характеристики каскодов вырождаются из триодных в пентодные. Да, это так. Но ведь и пентоды не всегда плохи — это вопрос скорее не что применять, а как и где. Несомненно, что в большинстве случаев триод предпочтительнее, но в отдельных цепях (чаще всего вспомогательных) пентод не имеет себе равных. Так, например, благодаря высоким μ и R_i пентод не имеет себе равных в источниках стабильного тока, если не считать полевые транзисторы с изолированным затвором. Но это уже совсем другой мир, и хотя такие фирмы, как Audio Research, достигли определенного успеха в разработке и внедрении гибридной топологии, у меня лично нет сомнений по поводу того, что если бы вместо MOSFET'ов применялись пентоды, многие изделия этой фирмы звучали бы намного музыкальнее. А вспомним профессиональные магнитофоны золотой эры магнитной звукозаписи 50-х и 60-х годов (например, Telefunken). Многие из них в первом каскаде усилителя воспроизведения имели пентод EF86 (аналог 6Ж32П).

Но вернемся от попыток амнистирования осужденных пожизненно многими аудиофилами пентодов к непорочным триодам. Следующий каскод, который мы рассмотрим, во многом напоминает каскод. Это также два триода, один из которых "взгромоздился" на плечи другого. Да, этот "ламповый цирк" вызывает у многих скептическую ухмылку, и, наверное, за ней может последовать поток нравоучительных реплик типа "человек — прощу прощенье, триод — по земле ходить должен!" Но так или иначе, каскод этот заслуживает внимания, поскольку он обеспечивает одновременное ощутимое улучшение нескольких важных параметров: стабильности режима, линейности, выходного сопротивления, широкополосности, перегрузочной способности и чувствительности к помехам и пульсациям анодного напряжения питания. А что касается звука, то все знают, что

усилители Audio Note и Cary Audio Designs совсем не так уж плохо звучат! Именно эти фирмы чаще других применяют в качестве входного или драйверного каскод, изображенный на рис.3а. Называется он чаще всего СРПП (SRPP — Shunt Regulated Push Pull). Пусть вас не вводит в заблуждение расшифровка этой аббревиатуры: "пуш-пул" здесь выражен только в противофазности сигналов верхнего и нижнего триодов. С таким же успехом "пушпулом" можно было бы назвать классическую схему из двух триодов, соединенных каскадно — там тоже имеет место противофазность сигналов. Таким образом, СРПП — это не совсем корректное название, укоренившееся в литературе. Можно встретить также аббревиатуру TTSA (Two Tube Series Amplifier — двухламповый усилитель с последовательным включением), хотя она

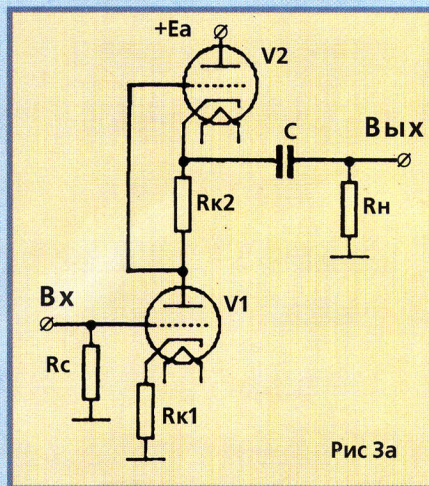


Рис 3а

скорее может служить общим ярлыком для всех каскодов вертикальной конфигурации, в том числе и каскодов. По-русски же наш каскод называется просто и понятно: усилительный каскод с динамической нагрузкой. И именно это название наиболее точно отражает его сущность (тот редкий случай, когда русский язык оказался лаконичнее английского). Встречается и более экзотическое русское название — каскод с "электронными резисторами" в цепи анодной нагрузки (Т.В.Войшвилло. Усилительные устройства. М., Связь, 1975).

Итак, вместо обычного резистора анодной нагрузки каскод СРПП имеет в цепи анода второй триод, смещение на сетке которого задается резистором R_{k2} . При появлении положительной полуволны сигнала на сетке V1 ток нижнего триода увеличивается, что приводит к увеличению падения напряжения на резисторе R_{k2} , а это, в свою очередь, уменьшает ток верхнего триода V2.

Наблюдается тенденция стремления к стабильности анодного тока, который зависит теперь от изменений входного сигнала в меньшей степени, чем в обычном резистивном каскаде усиления. Комбинированная нагрузка — триод V2 и резистор R_{k2} — по своим свойствам начинает приближаться к источнику стабильного тока. Что же в этом хорошего? Известно, что источник стабильного тока обладает высоким внутренним сопротивлением, которое у идеального источника тока равно бесконечности (это, конечно, математическая абстракция). А теперь вспомним, что триодный каскод тем линейнее, чем выше его сопротивление нагрузки. Решить эту проблему "в лоб", как уже говорилось выше (путем произвольного увеличения анодной нагрузки), не представляется возможным, поскольку страдают другие, не менее важные параметры каскада. Остается только "обмануть" доверчивый триод V1, при этом его сопротивление нагрузки "раздваивается": по постоянному току оно невелико и равно $(R_{k2} + R_{iV2})$, что обеспечивает нормальный режим каскада без увеличения напряжения анодного питания, а по переменному току (или динамическое сопротивление нагрузки) может быть намного больше, и определяется величиной R_{k2} и коэффициентом усиления по напряжению верхнего триода: $R_{n \text{ дин.}} = R_{k2}(1 + \mu) + R_i(V2)$. Это дает возможность получить несколько больший коэффициент усиления каскада СРПП по сравнению с обычным усилительным каскадом. А поскольку выходной сигнал снимается с катода V2, то и выходное сопротивление оказывается значительно ниже. Реально в случае, когда такой каскод работает на относительно низкоомную нагрузку, можно получить очень значительный выигрыш и по усилению, и по полосе пропускания. Да и динамические свойства при условии достаточного тока покоя каскада могут быть получены весьма впечатляющие (здесь важно учесть не только быстроедействие каскада, но и насколько большой ток сигнала может отдаваться в нагрузку). По этим причинам каскод СРПП нашел применение в схемах видеоусилителей, где необходимо было обеспечить максимальную величину произведения $K_d f$, а также в схемах быстродействующих триггеров (А.П.Ложников, Е.К.Сонин. Каскодные усилители. М., Энергия, 1964), наверное, задолго до того, как кому-то пришла в голову идея попробовать его в схемах усиления звуковых частот. Особенно ярко его преимущества проявляются при работе в схемах, где паразитная емкость нагрузки

достаточно велика (к такой категории относятся некоторые схемы драйверов, работающих на большое количество параллельно включенных выходных ламп либо на одиночные лампы, имеющие высокую динамическую входную емкость). На рис. 3б показана зависимость коэффициента усиления каскада СРПП на двойном триоде 6НЗП ($\mu=35$, $R_i=5,8$ кОм) от эквивалентного сопротивления нагрузки при различных величинах R_{k2} (кривая 1 соответствует обычному каскаду с общим катодом, остальные — СРПП: 2 — при $R_{k2}=360$ Ом; 3 — $R_{k2}=560$ Ом; 4 — $R_{k2}=820$ Ом). На рис. 3в показана зависимость выходного сопротивления каскада СРПП от величины R_{k2} . На рис. 3г приводятся для сравнения переходные характеристики каскада СРПП (вверху) и обычного каскада (внизу) на 6НЗП (кривая 1 — при $C_n=5$ пФ; 2 — $C_n=15$ пФ; 3 — $C_n=30$ пФ; 4 — $C_n=55$ пФ). Однако СРПП — это еще не предел мечтаний. И вот по какой причине: хотя комбинированная анодная нагрузка каскада, как уже говорилось, приобретает некоторые свойства источника стабильного тока, но из-за относительно небольшого μ , свойственного триодам, у V2 не хватает “усилительной способности” для того, чтобы в достаточной степени компенсировать падение напряжения на R_{k2} , вы-

званное изменением тока сигнала. Решить эту проблему можно двумя путями: либо в качестве V2 применить не триод, а пентод, либо увеличить уровень сигнала на сетке V2. Первый путь приводит к схеме, изображенной на рис. 4, а второй — к так называемому “усиленному СРПП”, который получается к тому же и усложненным (рис. 5). Дело в том, что значительно поднять уровень сигнала на сетке V2 просто путем увеличения резистора R_{k2} не удастся, так как от величины этого же самого резистора зависит и положение рабочей точки каскада, и если увлечься этим способом сверх меры, можно растерять все плюсы каскада СРПП (в первую очередь ухудшится перегрузочная способность). Зато можно пойти дальше по пути обмана лежковерных триодов, “одурачив” теперь уже и V2: организовать ему требуемое сеточное смещение с помощью делителя (R_{k2} Ra), который заменит R_{k2} , что даст больше свободы в варьировании уровнем сигнала на его сетке (который будет пропорционален нижнему резистору делителя), а сигнал этот подать через конденсатор Ca. Коэффициент усиления такого каскада можно сделать уже довольно близким к μ нижнего триода (не надо забывать, что именно он остается главным “действующим лицом”, определяющим работу каска-

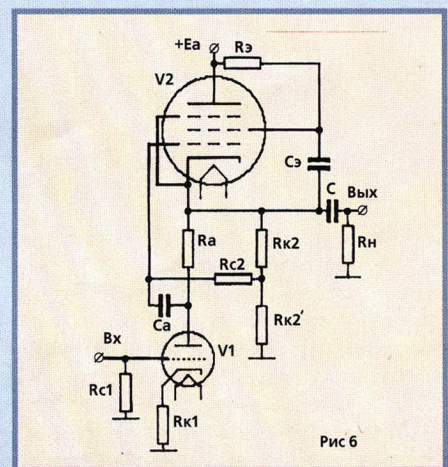


Рис 6

да, а все остальное служит лишь для того, чтобы создать ему наилучшие “условия труда”). Поэтому усиленный каскад СРПП в зарубежной литературе называется “Mu Follower” — “повторитель μ ”. И опять это эффектное название в некоторой степени условно, так как усиленный СРПП хотя и подбирается довольно близко по коэффициенту усиления к величине μ нижнего триода, но все же не “повторяет” его. К тому же он оставляет возможность путем применения пентода в качестве верхней лампы и дополнительного усложнения схемы еще больше сократить дистанцию между реальным коэффициентом усиления и значением μ нижней лампы, одновременно понизив и так уже достаточно низкое выходное сопротивление и расширив динамический диапазон. Этот каскад (рис. 6) на страницах журнала “Glass Audio” назван “ μ -каскад” (Allan Kimmel. The Mu Stage//Glass Audio, 1993, №2). Особенности строения этого каскада предоставляют широкие возможности выбора токов покоя верхней и нижней ламп. Токи в данном случае могут быть разными, поскольку смещение пентода задается отдельным делителем (R_{k2} , R_{k2}'), который также способствует дальнейшему понижению выходного сопротивления (и, очевидно, выравниванию его для положительной и отрицательной полуволн сигнала достаточно большого уровня, когда может проявляться “пушпульный” эффект, т.е. крутизна переднего и заднего фронтов прямоугольного импульса в общем случае может быть разной). Величиной анодной нагрузки триода Ra также можно варьировать в некоторых пределах. Пентод же можно рассматривать в качестве катодного повторителя с очень близким к единице коэффициентом передачи. Таким образом, любое изменение мгновенного значения напряжения на аноде, или нижнем выводе резистора Ra, с высокой точностью отслеживается катодным повторителем на пентоде V2, появляясь на верхнем выводе Ra, в связи с чем падение напряжения на Ra практически постоянно и не зависит от сигнала — это и есть настоящий (не идеальный, конечно, но очень близкий к нему) источник стабильного тока. Конечно, те, кто страдает

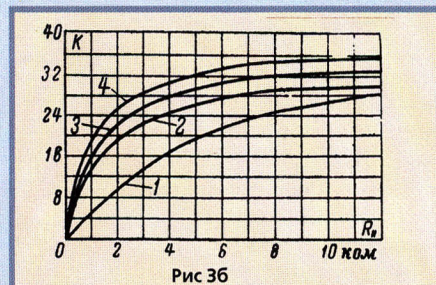


Рис 3б

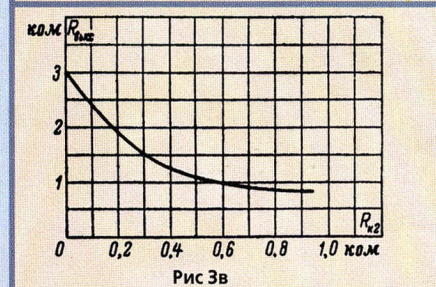


Рис 3в

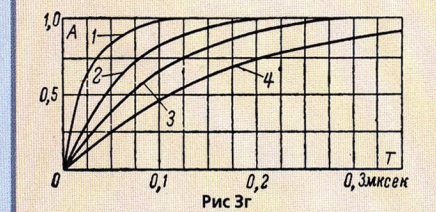
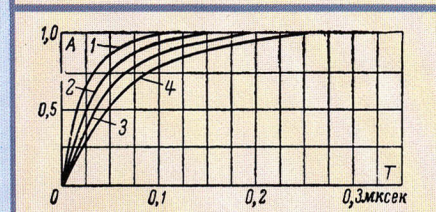


Рис 3г

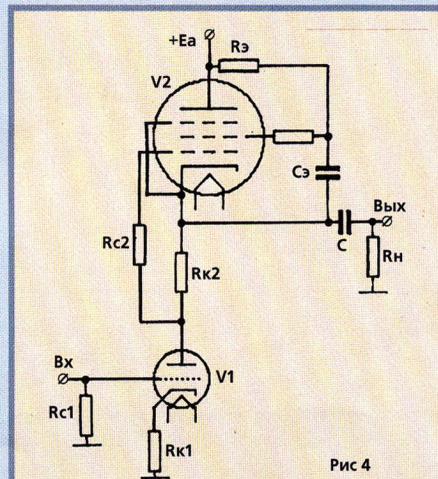


Рис 4

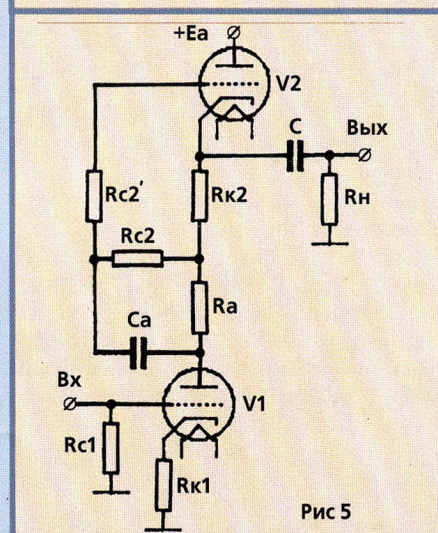


Рис 5

пентодной аллергией, могут применить и триод V2, но при этом они получат более скромные параметры. Катодный повторитель на триоде обычно имеет коэффициент передачи K порядка 0,9, в то время как пентод может легко обеспечить значение 0,995 и даже больше. А теперь примем величину R_a равной 6,8 кОм и посчитаем динамическое сопротивление анодной нагрузки каскада: $R_{н.дин.} = R_a / (1 - K)$. В нашем примере $R_{н.дин.триод.} = 68$ кОм, а $R_{н.дин.пент.} = 1,36$ Мом. Разница — в 20 раз! Катодные повторители, кстати, тоже пользуются далеко не безупречной репутацией у технически грамотных аудиофилов. Но, тем не менее, как утверждает тот же Аллан Киммел, в такой схеме катодный повторитель на пентоде — это как раз то, что надо. И вообще пентоды в катодных повторителях дают много лучшие результаты как по параметрам (меньшее выходное сопротивление и затухание), так и по звучанию. К тому же Аллан Киммел пишет, что он долго экспериментировал со всеми описанными выше ламповыми каскадами во всех возможных вариантах, и все они, будучи грамотно реализованы, звучат очень хорошо, а лучше всех — именно μ -каскад. Особо хорош он в качестве драйвера, “раскачивающего” выходные триоды с малым μ , требующие большого размаха напряжения сигнала. Полученные Киммелом параметры его μ -каскада (рис.7) весьма и весьма впечатляют: выходное сопротивление 100 Ом, размах выходного сигнала 215 В при коэффициенте гармоник 0,7% и напряжении анодного питания 300 В, диапазон частот по уровню (–3ДБ) 0,28Гц — 1МГц. Триод — хорошо известный всем 6DJ8 (аналог 6Н23П), обе половинки которого запараллелены, что благоприятно сказывается на выходном сопротивлении (как пишет Киммел, он это сделал еще и потому, что не мог смириться с тем, что одна половинка триода “болталась без дела”). Пентод — 12GN7 (аналог неизвестен, но это вряд ли важно: здесь подойдет любой пентод с достаточно высоким μ , способный работать при требуемом токе покоя, который нетрудно определить исходя из рекомендованного режима по току 6Н23П; наверняка хорошо покажет себя 6Ж9П). Но это еще не конец истории. В №5 журнала “Glass Audio” за 1996 год Аллан Киммел опубликовал статью под названием “A Direct-Coupled Mu Stage” (μ -каскад с непосредственной связью), в которой привел еще более совершенное произведение схемотехнического искусства (рис.8). Трудно сказать, принадлежит ли ему идея создания этого каскада, или он позаимствовал ее из старой ламповой литературы (ведь часто бывает, что многие новшества на деле оказываются раза в два старше своих “изобретателей”). Как бы там ни было, идея очень оригинальна: если предыдущие каскады напоминали “живую пирамиду” на цирковой арене, то этот тянет на воздушных акробатов с летающей трапе-

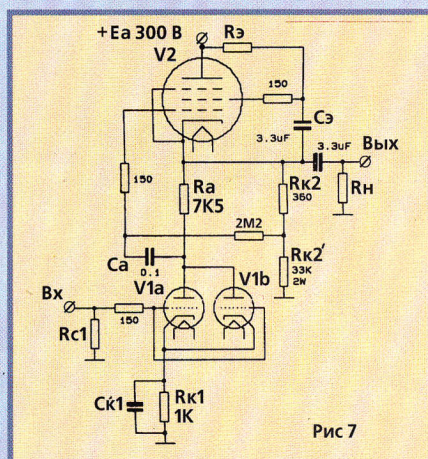


Рис 7

цией. Исчез конденсатор C_a , связь между анодом триода и управляющей сеткой пентода теперь гальваническая; одновременно введен плавающий стабилизированный источник питания экранной сетки, от него же получает питание и анод триода. Изначально в этой схеме ставилась цель исключить “подгружающую” выход каскада цепочку $R_a C_3$, хотя ее влияние не было сколько-нибудь драматическим. Так или иначе, рекорды параметров предыдущего каскада (рис.7) были побиты: выходное сопротивление снизилось до 80 Ом, максимальный размах неискаженного выходного напря-

жения можно разместить в непосредственной близости от нашего каскада, не дав тем самым сигналу “разгуливать” по длинным соединительным проводам, ведущим к общему источнику питания. Хотя при наличии хорошей развязки этот вопрос, наверное, может быть решен и традиционным способом — применением силового трансформатора с отдельной обмоткой.

Итак, мы рассмотрели несколько ламповых схем, каждая из которых характеризуется вертикальной конфигурацией. Существуют и другие вертикальные каскады, в первую очередь сложные катодные повторители (например, катодный повторитель Уайта). Поскольку в данном случае речь шла о каскадах усиления напряжения, касаться катодных повторителей в этой статье мы не будем. Это — отдельная жизнь со своими болячками и лекарствами от них. Кроме того, рассмотренные типы усилительных каскадов во многих случаях вообще исключают необходимость применения катодных повторителей, сочетая в себе свойства усилителя и буфера (прямо как знаменитый шампунь “Пантин Про-Ви” с кондиционером — два в одном!). Как часто бывает, каждый последующий каскад обладает лучшими параметрами, чем преды-

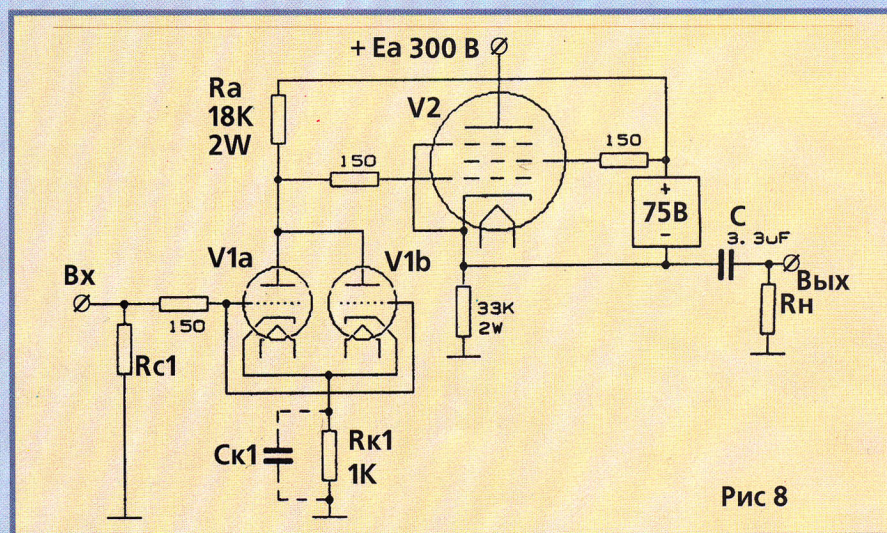


Рис 8

жения достиг 269 В при коэффициенте гармоник 0,9% и прежнем анодном питании (300 В), частотный диапазон за счет отсутствия переходного конденсатора C_a теперь начинается с f_n (–3ДБ) = 0,15 Гц, f_v (–3ДБ) осталась прежней: 1 МГц. Чтобы не перематывать силовой трансформатор, Киммел нашел очень остроумное решение организации плавающего источника: он установил небольшой накаливаемый трансформатор и включил его “задом наперед”, подав на вторичную обмотку переменное напряжение накала 6,3 В, а к первичной подключил выпрямительный мост и простейший транзисторный стабилизатор, с которого снимаются требуемые 75 В. Этот нестандартный способ хорош еще

и тем, что такой компактный источник питания можно разместить в непосредственной близости от нашего каскада, не дав тем самым сигналу “разгуливать” по длинным соединительным проводам, ведущим к общему источнику питания. Хотя при наличии хорошей развязки этот вопрос, наверное, может быть решен и традиционным способом — применением силового трансформатора с отдельной обмоткой.

Итак, мы рассмотрели несколько ламповых схем, каждая из которых характеризуется вертикальной конфигурацией. Существуют и другие вертикальные каскады, в первую очередь сложные катодные повторители (например, катодный повторитель Уайта). Поскольку в данном случае речь шла о каскадах усиления напряжения, касаться катодных повторителей в этой статье мы не будем. Это — отдельная жизнь со своими болячками и лекарствами от них. Кроме того, рассмотренные типы усилительных каскадов во многих случаях вообще исключают необходимость применения катодных повторителей, сочетая в себе свойства усилителя и буфера (прямо как знаменитый шампунь “Пантин Про-Ви” с кондиционером — два в одном!). Как часто бывает, каждый последующий каскад обладает лучшими параметрами, чем преды-

Госпожа 2А3 и

Посвящается памяти
любимого наставника
Райкина Леонида Анатольевича

Если лампа 300В
безоговорочно стоит
на первом месте среди
прямокальных
триодов, то безусловно
второе место
не менее заслуженно
и по праву занимают
члены семейства 2А3.



Шесть ее сестер

Благодаря неустанным усилиям аудио-прессы и производителей техники High End растет и ширится по всему свету слава легендарной лампы 300B, обретшей "второе дыхание" и оказавшейся на пике популярности спустя почти 60 лет после своего появления. Наверное, истинным почитателям ламповых усилителей и "лампового звука" будет небезынтересно узнать о "ближайших родственниках" и извечных соперниках 300B — обширном интернациональном семействе ламп, родоначальницей которого является 2A3 производства RCA. Ведь если в настоящее время по мнению многих 300B заслуженно и безоговорочно стоит на первом месте среди прямо-накальных триодов, то, безусловно, второе место не менее заслуженно и по праву занимают члены семейства 2A3. В наше время лампы 2A3 можно встретить как в изделиях как известнейших фирм (например, Audio Note), так и менее известных (Audio Innovations и др.). Полистайте журналы "Stereophile", "Glass Audio", "Sound Practises" — и вы увидите, что соревнование между 300B и 2A3, начавшееся более чем 60 лет назад из-за конкуренции театральных звукоусилительных установок фирм RCA и Western Electric, не только не завершилось в конце 90-х, а, напротив, в самом разгаре.

История 2A3 началась в 1932 — 1933 годах. Именно тогда во всем мире формировался современный облик приемно-усилительных ламп, а технология их производства достигла уровня, позволившего освоить массовый выпуск качественных радиоламп специального назначения. Фирма RCA начала производство ламп 2A3 с 1933 года (кстати, одновременно с братом-близнецом 2A3 чисто по внешнему облику — кенотроном 5Z3, известном в России как 5Ц3С) специально для усилителей мощности высококачественных радиоприемников, в которых она должна была заменить применявшийся в те годы триод типа "45" (у нас его аналогом была лампа УО-186), привлекавший многих прекрасным звуком. Оригинальная версия 2A3 рассчитана на работу при напряжении накала 2,5 В, напряжении анода до 300 В и рассеиваемой на нем мощности до 15 Вт, имеет четырехштырьковый цоколь (такой же, как у 300B) и

фигурный баллон — точно как у широко известных 5Ц3С и Г-807.

Кроме RCA, 2A3 в 1933 году стали выпускать фирмы Sylvania, Raytheon и Ken-Rad. Характерно, что в течение нескольких лет лампы 2A3 этих производителей были аналогичны лишь по электрическим параметрам, а конструктивно довольно сильно различались. В частности, многие первоначальные варианты 2A3 имели традиционную одинарную конструкцию и лишь с 1937 года все фирмы — производители 2A3 перешли на единую конструкцию, предложенную в 1935 г. фирмой Sylvania как значительно более технологичную, чем оригинальная разработка 2A3. Электродная система версии Sylvania 1935 г. выполнена своеобразно: анод лампы двухкамерный, в каждой секции установлены совершенно идентичные сетки и катоды прямого накала в виде буквы М, причем сетки соединены параллельно внутри баллона; катоды также соединены внутри баллона, но способ их соединения зависит от модификации лампы. Кстати, сходное конструктивное решение применено в популярной среди аудиофилов современной отечественной лампе 6С33С. Следует отметить, что такая "сдвоенная" конструкция электродной системы имеет как преимущества, так и недостатки по сравнению с простой, одинарной (как у 300B и т.п.). К безусловным ее преимуществам можно отнести:

а) значительно большую жесткость относительно коротких "витков" катодов, что обуславливает, во-первых, меньший микрофонный эффект, являющийся неотъемлемым принципиальным недостатком всех прямонакальных ламп; во-вторых, меньшую вибрацию нити катода из-за электродинамических сил, создаваемых протекающим по нитям катода переменным током накала; в-третьих, меньшую склонность нитей катода к провисанию при нагреве;

б) возможность изготовления почти идентичных по конструкции катодов как на 2,5 В напряжения накала, так и на 6,3 В (за счет различных вариантов соединения секций катода).

Недостаток же сдвоенной конструкции заключается в том, что даже незначительные различия параметров "половинок" этой лампы (по сути представляющей со-

бой два запараллеленных триода в одном баллоне), неизбежно возникающее из-за технологических погрешностей, могут ухудшить линейность и испортить звук.* Поэтому производство ламп типа 2A3 требует очень точной и стабильной технологии (кстати, приведенные ниже результаты прделанных автором измерений основных электрических параметров нескольких ламп, выпущенных в разные годы фирмами RCA, Raytheon и Sylvania, показали высокую идентичность этих параметров).

В 1935 году у 2A3 появились "ближайшие родственники": Sylvania, а за ней и другие производители начали выпускать триоды 6A3 (модификация 2A3, рассчитанная на напряжение накала 6,3 В, с четырехштырьковым цоколем) и 6B4G (то же самое, но с октальным цоколем). Тогда же благодаря доработкам конструкции допустимое напряжение анода было повышено до 350 В. Отметим, что уже в наше время были "обнаружены" выпускаемые в Китае весьма странного вида лампы 2A3 (накал 2,5 В) с октальным цоколем, двумя отдельными анодами и без каких-либо отражающих тип лампы или название фирмы-изготовителя надписей на цоколе и баллоне. Интересно, что и в Германии в 1935 — 1936 годах фирмой Telefunken был выпущен полный аналог (по параметрам) 2A3 — триод AD1. От 2A3 он отличался конструктивно (в частности, цоколь у AD1 типично немецкий — радиальный восьмиштырьковый "паук") и напряжением накала — AD1 рассчитан на 4 В. Усовершенствованный вариант AD1 также отличался повышенным допустимым анодным напряжением питания и назывался AD1/350. Известно, что эти лампы применялись в однотактных и двухтактных высококачественных усилителях радиоприемников, радиол и киноустановок. Из американских

*Если N ламп, включенных параллельно, совершенно идентичны по крутизне S_o , внутреннему сопротивлению R_{io} и, соответственно, коэффициенту усиления по напряжению (μ), то результирующие параметры будут следующими:

$$S = NS_o, R_i = \frac{R_{io}}{N}, \mu = \mu_o$$

Если же параллельно соединены, например, две лампы с различными параметрами S_1, R_{i1}, μ_1 и S_2, R_{i2}, μ_2 , то результирующие параметры при этом равны:

$$S = S_1 + S_2, R_i = \frac{R_{i1}R_{i2}}{R_{i1} + R_{i2}}, \mu = \frac{\mu_1R_{i2} + \mu_2R_{i1}}{R_{i1} + R_{i2}}$$

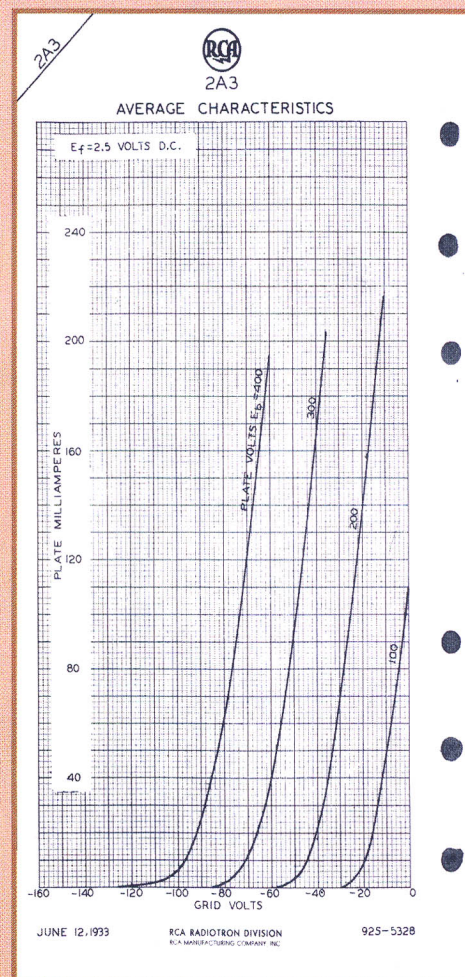
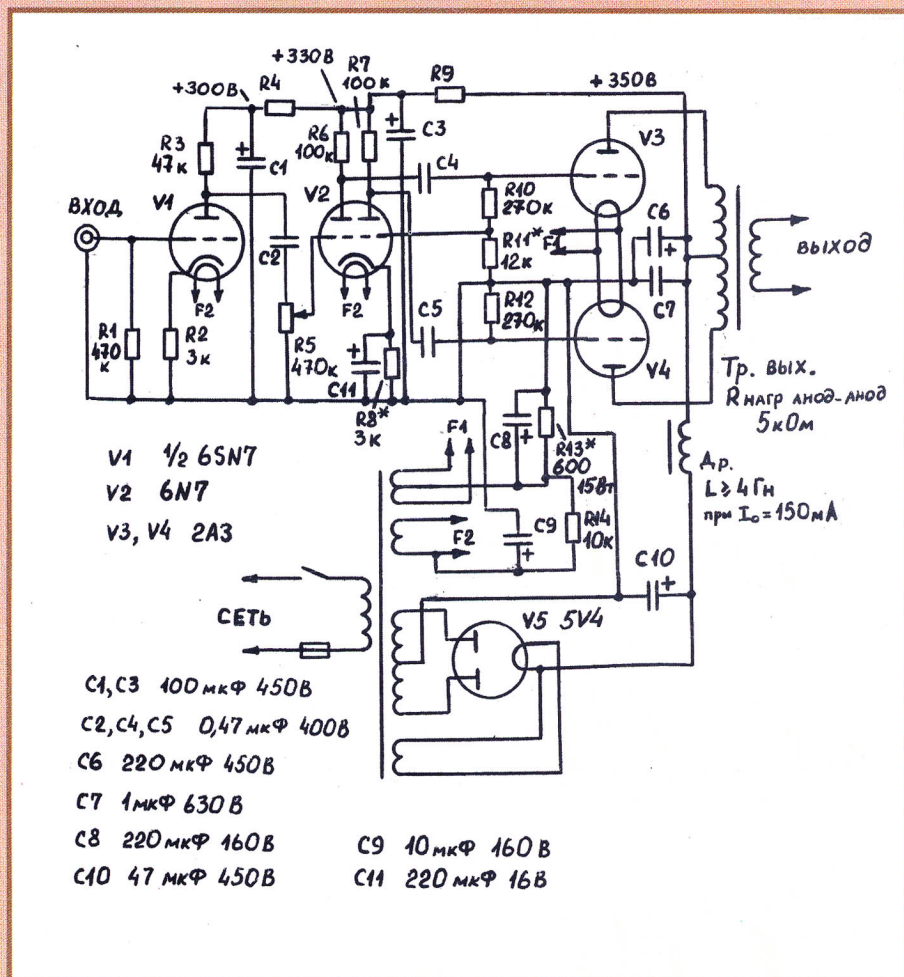


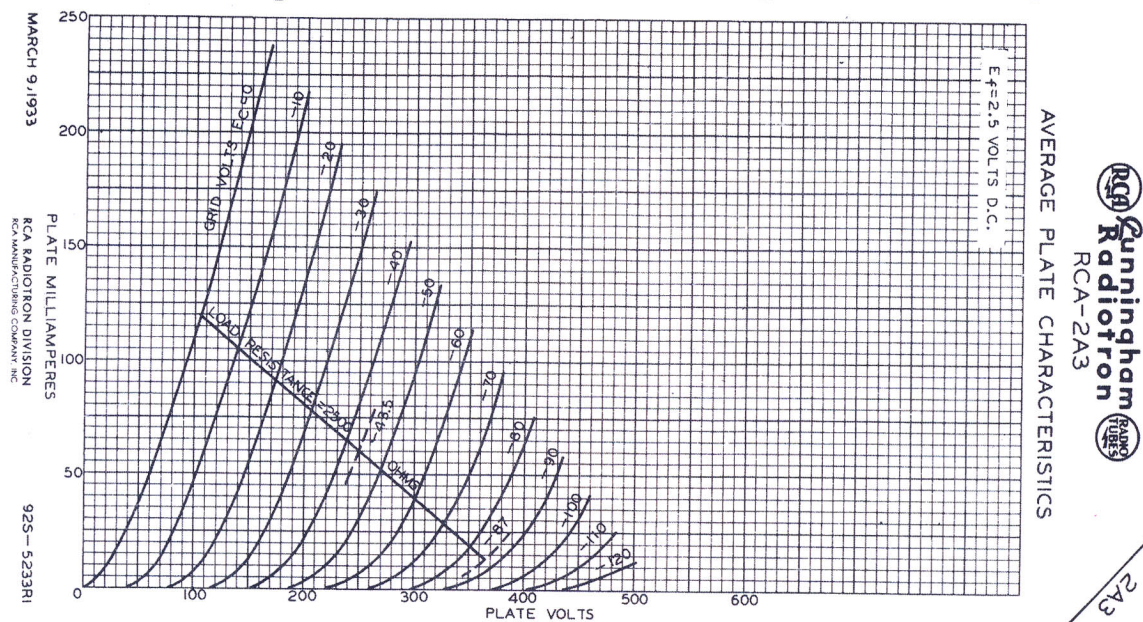
Таблица 1. ТРИОДЫ 2А3, 6А3, 6В4Г. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

А. ОБЩИЕ ДАННЫЕ:

напряжение накала, В	2,5 (2А3) 6,5 (6А3, 6В4Г)
допустимые отклонения напряжения накала, %	+5, -10
ток накала, А	2,5 (2А3) 1,0 (6А3, 6В4Г)
наибольшее постоянное напряжение анода, В	300 (2А3) 360 (6А3, 6В4Г)
наибольшая мощность, рассеиваемая анодом, Вт	15 (см. прим. 1)
наибольшее сопротивление в цепи сетки	см. прим. 2
температура баллона, не выше	170 град. С
Емкости, пФ:	
сетка — анод	16,5
сетка — катод	7,5
анод — катод	5,5

Б. РЕЖИМ УСИЛЕНИЯ МОЩНОСТИ, КЛАСС А1: *

напряжение анода, В	250
напряжение сетки, В	-45 (см. прим. 3, 4)
коэффициент усиления	4,2
внутреннее сопротивление, Ом	800
крутизна характеристики, мА/В	5,25 (см. прим. 4)
ток анода, мА	60
сопротивление нагрузки, Ом	2500
выходная мощность, Вт	3,5
коэффициент нелинейных искажений, %	7



промышленных образцов аппаратуры, использовавших триоды 2A3, безусловно, необходимо упомянуть знаменитую радиолу RCA D-22 выпуска 1938 – 1942 гг. – именно такие аппараты стояли у истоков современного High End'a. Промышленность СССР также не осталась в стороне: завод "Светлана" в конце 30-х годов выпустил лампы 2A3 (в конце 40-х они были переименованы в 2C4C; выпускались также 6C4C – точная копия 6B4G).

Итак, закончив знакомство с членами обширного интернационального семейства (2A3, 6A3, 6B4G, AD1, AD1/350, 2C4C, 6C4C), вернемся к особенностям 2A3, 6A3 и 6B4G.

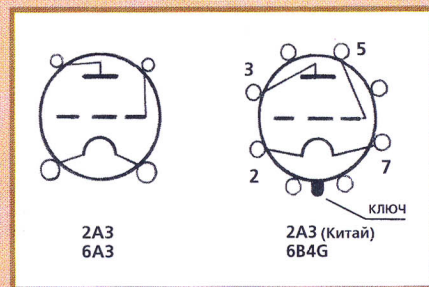
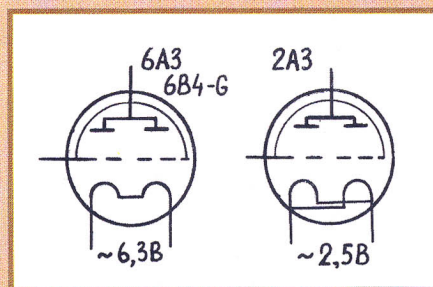
На рис.1 показаны различия цепей накала этих ламп. У 2A3 обе нити рассчитаны на 2,5 В и соединены параллельно, в связи с чем, во-первых, мгновенное токораспределение по катодам "половинок" идентично (имеется в виду предписываемое ТУ питание накала переменным током), а во-вторых, амплитудное значение разности потенциалов между концами нитей катодов не превышает $2,5\sqrt{2} = 3,6$ В. В лампах же 6A3 и 6B4G обе нити рассчитаны на 3,15 В и соединены последовательно, поэтому максимальная разность потенциалов между концами нитей катодов достигает здесь $6,3\sqrt{2} = 9$ В; кроме того, мгновенное токораспределение по катодам "половинок" может существенно различаться, что чревато возникновением интермодуляционных искажений под влиянием переменного напряжения накала, а также несколько повышенным фоном переменного тока на выходе усилителя. По этим причинам более предпочтительным

представляется применение ламп 2A3 (накал 2,5 В). Более того, только 2A3 допускает питание накала постоянным током, что для 6B4G, 6A3 и 6C4C совершенно недопустимо!

На рис. 2 изображено семейство анодных вольт-амперных характеристик лампы 2A3 и ее модификаций, причем на семействе обозначена линия нагрузки, соответствующая рекомендованному изготовите-

рению анода 290 – 310 В при соблюдении прочих требований табл. 1 использование ламп с мощностью рассеяния на аноде до 20 Вт не вызывает существенного снижения ресурса.

Сопротивление в цепи сетки рекомендуется выбирать как можно меньше. При фиксированном смещении оно не должно превышать 50 кОм, при автоматическом – 500 кОм на одну лампу. Рекомендуется трансформатор-



лями типовому режиму работы лампы в классе А. Рис. 3 показывает семейство анодно-сеточных характеристик, а в табл. 1 приведены параметры типовых и предельно допустимых режимов эксплуатации. Цоколевка показана на рис. 4. На рис. 5 вы видите принципиальную схему усилителя мощности на выходных триодах 2A3, заимствованную из книги "RCA Receiving Tube Manual" (1940 г.), в которой она приводится в качестве типовой. При повторении этой конструкции автор слегка изменил номиналы отдельных элементов. Усилитель работает в классе А и имеет выходную мощность 9 Вт.

Примечания:

При автоматическом смещении и напря-

жая связь с предоконечным каскадом. При работе с автосмещением типовой режим обеспечивается включением в цепь катода резистора сопротивлением 750 Ом.

При использовании ламп в двухтактном каскаде рекомендуется обеспечить возможность индивидуальной регулировки смещения на сетке каждой лампы при статической балансировке. Также рекомендуется раздельное питание накала ламп и динамическая балансировка каскада (с целью достижения идентичной крутизны обеих ламп) путем индивидуальной установки напряжения накала в пределах допустимых отклонений.

(Продолжение следует)

Никита Трошкин