

Подбор ламп.

Эта статья является логическим продолжением статьи, посвященной отбору ламп (Screening Vacuum Tube) в первом выпуске VTV. Основной материал, опубликованный здесь, был впервые представлен на встрече Bay Area Tube Enthusiasts* 24 июня 1995 г. в Сан-Франциско, Калифорния.

Еще недавно любой прайс-лист, предлагающий лампы, подобранные в пары, пользовался большим спросом. Что же такое эти подобранные лампы и когда они необходимы? Эта статья показывает необходимость подобранных ламп и технологии, используемые при их отборе.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДОБРАННЫХ ЛАМП.

Лампы могут отбираться разными способами. Основные параметры, по которым производится отбор:

1. Ток покоя

Любой ламповый усилитель в режиме — А или — АВ, имеющий сигнальные, драйверные и выходные лампы, имеет определенные токи покоя, которые определены анодным напряжением, напряжением смещения и характеристиками самих ламп. Позже мы увидим на конкретных примерах возможность идентичности тока покоя, любой пары ламп, находящихся в одинаковых условиях.

2. Крутизна характеристики.

Крутизна определена как $gm = \frac{\text{изменение анодного тока}}{\text{изменение напряжения сетки}}$ в данной рабочей точке и является основным критерием усиления в тетрадах и пентодах**. Крутизна обычно изменяется при разных анодных токах и анодных напряжениях, поэтому заявленная в паспорте крутизна характеристики верна лишь в том случае, когда рабочая точка для данной крутизны также дана. Крутизна падает при старении лампы. Правильно подобранные лампы будут иметь одинаковую крутизну, но лампы с одним значением крутизны не обязательно окажутся одинаковы по другим параметрам, так что крутизна сама по себе не является полным показателем хорошего подбора.

3. Усиление

Определено как $\mu = \frac{\text{изменение напряжения на аноде}}{\text{изменение напряжения сетки}}$ в данной рабочей точке. Она является показателем коэффициента усиления в триодах. Усиление в основном не меняется в различных режимах и с возрастом лампы, кроме случая, когда лампа выходит из строя или теряет эмиссию. Усиление само по себе не является показателем хорошего подбора.

4. Выходная мощность

В усилителях мощности можно обнаружить, что одних ламп можно выжать большую максимальную мощность, чем с других (подобных). Как правило, это вызвано различными характеристиками, когда рабочая точка отдельной лампы сдвигается в область максимальной мощности. Иногда выходная мощность может быть ограничена недостаточностью эмиссии катода.

5. Разброс от партии к партии при производстве

Даже если две лампы абсолютно подобраны, но при этом они из разных партий или имеют разный ресурс до подбора, они могут со временем "развалиться" по характеристикам. Это особенно важно для слабосигнального усиления и в усилителях постоянного тока, где критичен дрейф постоянного напряжения. Чем больше различий в параметрах подбираемой пары, тем меньше шансов, что в дальнейшем она этой парой и останется.

6. Внешний вид

Хотя, этот момент более психологический, нежели практический, покупатель, найдя

внешние различия при взгляде на пару подобранных ламп, может решить, что это вовсе не пара и качество звука из-за этого может пострадать.

НЕОБХОДИМОСТЬ ПОДБОРА ЛАМП

Не все схемы требуют подобранных ламп, но есть и такие, которые требуют только конкретно подобранные параметры.

СЛАБОСИГНАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ И УСИЛИТЕЛИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Подобранные лампы или одинаковые половинки ламп (в двойных триодах) обычно используются в усилителях постоянного тока с тем, чтобы свести до минимума разность параметров, связанных со старением и непостоянством тока накала. В звуковых и измерительных схемах для компенсации помех входных сигналов используются дифференциальные усилители. В этих схемах помехоустойчивость максимально зависит от подбора.

Элементы управления балансом по постоянному току помогают минимизировать разброс ламп не только в момент включения подобранной пары, но и при старении ламп. Для дифференциальных усилителей типовой подбор ламп необходим почти по всем параметрам: анодному току, μ , крутизне и партии производства.

Дифференциальные усилители также используются как фазоинверторы, но здесь всегда имеется присущий данному типу схемы некоторый разбаланс, который делает тщательный подбор менее необходимым, чем в полностью балансном дифференциальном усилителе. ВВ звуковых усилителях балансные схемы, требующие подбора ламп, как правило, не используются. Однако, исключением являются полностью балансные схемы, что применяются в современных усилителях с балансным входом, таких как Acrosound UL-2 и усилители Audio Research.

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ЛАМП

Лампы включают параллельно для достижения более высокой входной мощности или для получения более низкого выходного сопротивления. Передаточная характеристика (зависимость анодного тока от отрицательного смещения на сетке) является суммой характеристик каждой лампы.

Если подбора по μ и/или крутизне не было вовсе, передаточная кривая имеет изломы, подобно тому, как показано на рис. 1. Тем не менее при параллельном включении большого количества ламп незначительные несовпадения уравниваются. Одинаковость по анодному току здесь не так критична.

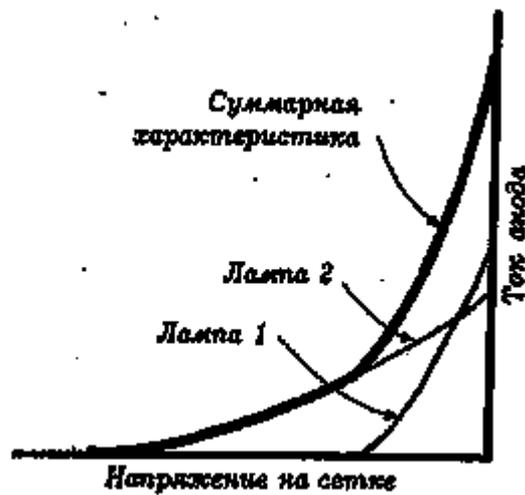


Рис. 1

ДВУХТАКТНЫЕ ВЫХОДНЫЕ КАСКАДЫ

Существуют две причины необходимости подбора ламп в РР выходных каскадах: для уменьшения несбалансированного постоянного тока через выходной трансформатор и для компенсации четных гармоник. Разбаланс токов по плечам может вызвать насыщение стали, что в результате приведет к снижению индуктивности (ухудшение воспроизведения низкочастотного диапазона) и росту искажений. Насыщения возможно избежать, сделав воздушный зазор в сердечнике, как это делается в SE выходных трансформаторах, однако ценой снижения индуктивности. В свою очередь снижение индуктивности должно быть компенсировано увеличением количества витков, что усугубит высокочастотные проблемы.

Вот поэтому большинство производителей трансформаторов предпочитают доводить воздушный зазор до минимума, тем самым выдвигая требование, чтобы схема работала с минимальным разбалансом по постоянному току. Это особенно касается тороидальных трансформаторов, которые вообще не имеют воздушного зазора. Кроме снятия проблемы с насыщением сердечника, точная балансировка пушпульной схемы позволяет исключить любые четные (2,4,6 и т. д.) гармоники, появившиеся в ее усилительных элементах (но это не касается подавления четных гармоник, присутствующих во входном сигнале!)

Отсутствие разбаланса по плечам особенно важно для усилителей в режиме АВ и В, где лампы выключаются на часть периода. Поэтому в тщательно сбалансированной РР схеме суммарные искажения будут снижены путем подавления четных гармоник. Однако считается, что четные гармоники придают "благозвучие", а нечетные, особенно высокого порядка, дают резкий тяжелый звук. Таким образом, пытаясь абсолютно сбалансировать лампы в РР каскаде, можно тем самым уменьшить суммарные искажения, но при этом оставить "звуковое клеймо" нечетных гармонических искажений. Балансировка токов покоя для исключения подмагничивания выходного трансформатора важна для сигналов малой амплитуды, ведь усилитель работает с ними большую часть времени.

Подбор на больших уровнях сигнала также необходим для предотвращения эффекта "выпрямления", когда лампы несбалансированны. Такой эффект создает условие для протекания несбалансированного тока, пропорционального уровню сигнала. Степень требуемого подбора выходных ламп в РР схемах зависит от цепей смещения и схемы драйвера. Если применяется нерегулируемое фиксированное смещение (как в большинстве дешевых усилителей или в некоторых ресиверах, подобных Fisher 500) или единая регулировка смещения на оба плеча одного канала (как Dynaco ST70, Mark III, Mark IV), то необходим полный отбор ламп по анодному току. Любой разбаланс по плечам ведет к потерям в выходном трансформаторе. Если же имеется регулировка смещения отдельно для каждой лампы

или регулировка баланса смещения (иногда называемая DC-коромысло) то одинаковость самих ламп по анодным токам менее важна и достаточно лишь сходства характеристик. Когда обеспечен баланс по переменному току (чего можно добиться регулировкой амплитуд по каждому плечу драйвера PP усилителя), то требование абсолютной одинаковости выходных ламп на предельных токах еще менее критично. К сожалению, очень трудно произвести настройку баланса по переменному току без использования измерителя нелинейных искажений.

ТЕХНОЛОГИИ ПОДБОРА

Несколько лет назад, когда мы с Tim'ом Eding 'ом обзавелись большим количеством EL34 и 6BQ5 и искали лучший способ подбора их в пары, нами были разработаны следующие технологии подбора:

ПРОГРЕВ

Собственные параметры многих ламп изменяются после первых часов работы. В прошлом лампы для чувствительных усилителей постоянного тока перед установкой стояли на прогреве 48 часов. Tim Eding обнаружил, что в мощных лампах (китайских EL34 и югославских 6BQ5) значение анодного тока в основном стабилизируется за несколько часов прогрева при нормальном отборе тока. Мы решили, что 12 часов тренировки — это хороший компромисс между стабильностью и достоверностью данных в наших тестовых экзерсисах. Это происходило не со всеми лампами, поэтому лампы, подобранные сходу, без длительного прогрева, пришлось подбирать заново после небольшого использования.

ИЗМЕРИТЕЛИ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП

Для большинства пользователей единственным прибором, который дает представление о параметрах лампы. Является лампомер, поэтому проще подбирать лампы на нем. На рис. 2 показано, как два триода с одинаковым m , но разными анодными характеристиками имеют заметно разные анодные токи. Рис. 3 похожим образом показывает два разных триода с одинаковой крутизной, но разными анодными токами. Поскольку большинство лампомеров измеряют крутизну без контроля анодного тока, совершенно ясно, что такие приборы для подбора ламп непригодны, либо требуется контроль токов.

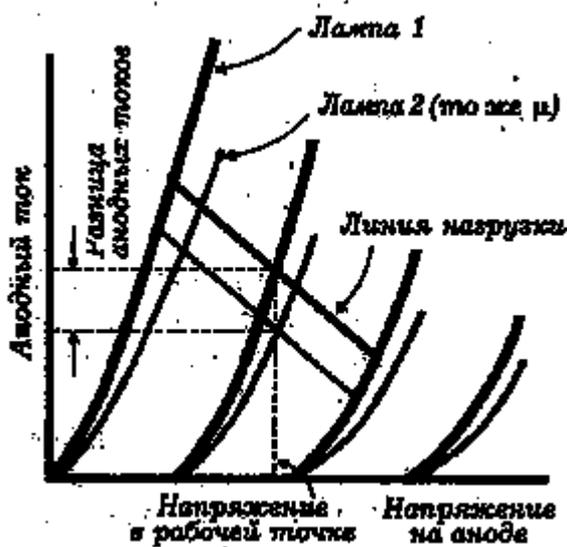


Рис. 2

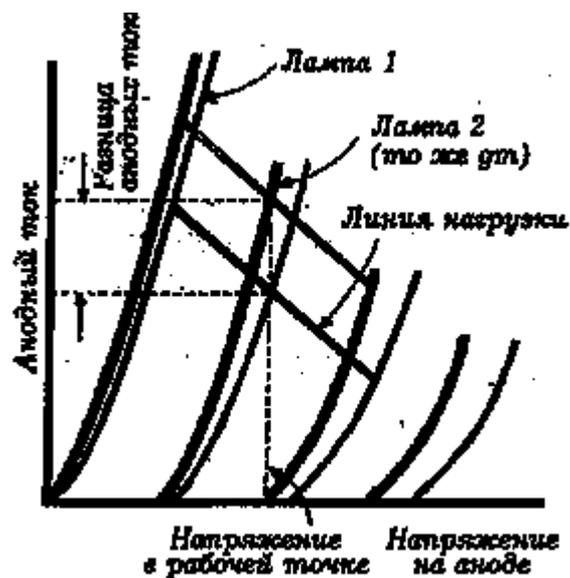


Рис. 3

ИЗМЕРЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В СТАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Лучший способ подобрать лампы в пару по анодному току — это установить их в тестовый прибор, который задаст им условия, идентичные усилителю, выставить смещение для требуемого тока и отметить его. Одинаковость на максимальных режимах проверяется на больших напряжениях и токах для уверенности, что подобранные лампы имеют одинаковые характеристики в разных рабочих точках. Будьте осторожны, не превышайте мощность рассеяния анодом или экранной сеткой слишком долго, пока проводите эти испытания!

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В КАСКАДЕ

Одним из методов подбора парных ламп является проверка их в живом РР усилителе. Баланс по постоянному току может быть проведен на частоте насыщения сердечника. Это делается путем подачи на вход синусоидального сигнала, дающего полную мощность на эквивалент нагрузки, и понижения частоты до тех пор, пока сигнал не станет отчетливо искажаться на экране осциллографа. Для хороших трансформаторов это частота сигнала от 40 Гц и ниже. Критерием подбора ламп в динамическом режиме является наличие минимальной второй гармоники. Отбор ламп в каскаде так, как описано выше, дает хорошие результаты только в том случае, если подобранные в пару лампы отбирались на усилителе, где они будут использованы в дальнейшем. Тем не менее из-за возможных разбалансов в тестовом усилителе специальные приборы все равно требуются, так как лампы могут не подойти для использования в другом усилителе. Довольно трудно таким способом подобрать более чем одну пару ламп.

ХАРАКТЕРИОГРАФ

Самым быстрым способом подбора ламп в пару, согласно их рабочим характеристикам во всем диапазоне, является использование лампового характернографа наподобие Tektronix 570. Кривые характеристик двух ламп могут быть ясно сравнимы на экране электронно-лучевой трубки. Если кривые совпадают, то лампы можно считать парными. Численные значения токов и напряжений с экрана получить несколько сложнее, поэтому хорошим способом подбора является использование характернографа с предварительным измере-

нием по постоянному току в статическом режиме, методом, описанным выше. Затем пары с одинаковым значением смещения могут быть измерены на характеристикографе. Как правило, они будут совпадать в этой точке. Если нет, выберите другую пару с похожей величиной смещения. Очевидно, таким способом можно сделать подбор если не всех. То большинства ламп.

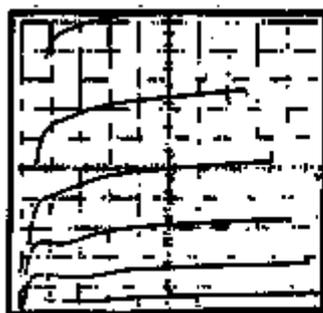


Рис. 1. Старая британская KT66



Рис. 2. GE 7581/KT66

рис.4 рис.5

Рис. 4 и 5 показывают кривые характеристик двух разных по устройству KT66 с одинаковым током в определенной рабочей точке (смотри по центру экрана), но с разными характеристиками на крайних точках. На рис. 4 представлены характеристики старейшей KT66, сделанной в Англии (с серым графитовым покрытием внутренней стороны баллона), на рис. 5 — характеристики 7581/KT66 General Electric более позднего производства (примерно середины 70-х). На обоих экранах шаг развертки по сеточному напряжению был 5 вольт. По абсциссе — 50 вольт на клетку. По оси ординат — 20 mA на клетку. Хотя в центральной части экрана лампы выглядят очень похожими, при крайних значениях токов они заметно разнятся друг от друга.

НЕКОТОРЫЕ ТОНКОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ХАРАКТЕРИОГРАФОМ

При подборе пар либо одновременно включайте накалы обеих ламп, либо дайте лампам прогреться несколько минут, чтобы температура катодов стабилизировалась.

В том случае, когда лампы будут использоваться только в триодном включении (для тетродов и пентодов), будет разумно проверить их на характеристикографе именно в триодном включении. Если в обычном или ультралинейном — установите напряжение питания для второй сетки несколько ниже предельного анодного.

Если кривые имеют непривычно изломанный вид или изображение на экране слегка размыто, возможно лампа влетела в паразитную генерацию. Попробуйте подвигать соединительные провода относительно друг друга и убедитесь, чтобы антипаразитные резисторы в сетках (управляющей и экранной) были припаяны непосредственно к лепесткам панелек с минимальной длиной выводов. Если эти манипуляции не дадут нужного результата, попробуйте подключить конденсатор малой емкости (0,001 мкФ) с анода и/или второй сетки на катод, естественно, непосредственно на выводах панельки.

ЧТО ТАКОЕ "ПОДОБРАННЫЕ ПАРЫ" В ПРОДАЖЕ

Эта статья не вызвана желанием дать оценку лампам, продаваемым как подобранные пары, но призвана заострить внимание на тех моментах, которые необходимо знать при их покупке. Опыт приобретения парных ламп у дилеров ранее уже обсуждался на встречах "огнепоклонников" в Сан-Франциско. Обычно на вопрос о применяемых технологиях подбора продавцы либо не знали, как это делалось, либо молили чепуху, говоря, что это их частные (секретные) методики. Некоторые покупатели отмечали, что купленные ими

лампы оказались абсолютной парой, другие наоборот, что характеристики заметно разошлись при проверке ламп на характернографе. Вот несколько вопросов, которые уместно задать дилеру при покупке парных ламп:

1. Подвергались ли лампы термотренировке? Как долго? Происходило ли это с токоотбором, либо грелись только нити накалов? (Прогрев только накалов, без токоотбора, ничего не даст для стабилизации ламп.)
2. При каких анодных и сеточных напряжениях проводился отбор? (В идеальном случае они должны быть близки к условиям работы в вашем усилителе.)
3. Происходил ли подбор по одному-единственному значению, либо в нескольких точках? (Компьютеризованные тестеры или аналоговые характернографы обычно проводят измерения в широком диапазоне характеристик.)
4. Насколько точен подбор? (5% или точнее.) По каким параметрам велся отбор? (Смещение на сетке для получения данного анодного тока — наиболее приемлемый ответ. Не решайтесь на покупку, если отбор велся только по крутизне.) Часто методики подбора пар держат в секрете под видом ноу-хау, однако нет нужды скрывать их и покупатель, отдавая деньги, должен знать, за что он их отдает.

ПОДВЕДЕМ ИТОГ

Подбор ламп по парам не является магией, но так ли уж нужны пары в любом случае? Однако, если придерживаться следующих советов, вы наверняка добьетесь лучших результатов за те деньги, которые потратили:

Лампы для усиления слабых сигналов редко требуют подбора; исключением являются усилители постоянного тока (что в настоящее время мало актуально) и полностью балансные схемы.

Строго подобранные пары нужны только в усилителях, где отсутствует балансировка плеч по анодному току (как ни смешно, это касается как раз дешевых усилителей).

Убедитесь, что подбор ламп производился после тренировки, а критерием их подобия является равенство анодных токов при едином напряжении смещения на управляющей сетке. Не приобретайте ламп, парность которых гарантирована только ламповым измерителем.