

Почему ламповые и транзисторные усилители звучат по-разному?

Сергей Климанский

<http://klimanski.com/2012/08/16>

Среди мнений встречаются в литературе и интернете вот например такие:

1. **“Транзисторные усилители содержат ООС, а ламповые – нет”** <http://muz-mics.ru/raznoe/otlichie-lampovogo-usilitelya-ot-tranzistornogo-rol-oos.html>.

С этим мнением трудно согласиться. Первые ламповые усилители всегда содержали ООС и только в последние 10 лет стало популярно увлечение схемами без нее. А большинство ламповых усилителей мощностью более 10 – 20 Ватт вообще трудно сделать без ООС, особенно если в выходном каскаде находится пентод. Вопрос может быть в глубине этой обратной связи, тут я должен согласиться, что глубокая ООС в самом деле делает звук хуже. Но давайте разберемся подетальнее, а чем он становится хуже? Вот тут вы и найдете ответ почему наличие или отсутствие ООС не может быть причиной различия в звучании ламповых и транзисторных УНЧ. Наличие ООС (а точнее, **глубокая ООС**) **делает звук плоским, она разрушает сцену и убивает эмоциональную часть звукопроизведения**. А разве в этом различие в звуке камней и вакуума? Нет, **различие тембральное. А тут ООС ни при чем**. Точнее, даже наоборот, наличие ООС теоретически должно тембральные характеристики улучшать, так как снижается КНИ, расширяется полоса воспроизведения усилителя в обе стороны. Но получается как раз наоборот. Так что ООС тут не виновата. Что-то другое.

Примеч. Именно ООС в низкоскоростных усилителях сужает динамический диапазон сложного музыкального сигнала, обогащает спектр высшими гармониками, а отсюда и тембральные различия. Ведь и ламповые усилители с отключаемой ООС звучат по-разному с ООС и без нее, причем без ООС как правило лучше!

2. **“Транзисторы управляются током, а лампы – потенциалом”**.

<http://www.diyaudio.ru/forum/index.php?topic=1834.60> пост 79.

Тоже интересное утверждение, интересное тем, что в самом деле биполярные транзисторы управляются током, в отличие от ламп. Но как быть с полевыми? Конечно, можно сказать, что они тоже управляются током, только очень малым, но тогда тоже можно сказать и про лампы... И потенциалом управляются только лампы в схемах с общим катодом, а ведь есть схемы с общей сеткой! Разве они управляются потенциалом? Но от этого они не звучат по-транзисторному, даже наоборот – соберите схему из моего поста <http://klimanski.com/?p=1336> с первым каскадом по схеме с общей сеткой – и вы убедитесь, что звучит она даже интереснее, чем каскад с общим катодом. Если говорить о наиболее часто употребляемых ламповых каскадах, а это каскады с общим катодом, то можно сделать одно интересное наблюдение – часто (правда, откровенно говоря, не всегда) именно **лампы со значительным током сетки дают более богатый эмоционально и более объемный звук**. Примеры? Пожалуйста – 6Н23П, 6С3П, 6Ф3П. Или, например, приобретенная мною недавно для проекта на 6С33С (см мой пост <http://klimanski.com/?p=1253>) лампа 5693, американский военный аналог 6SJ7 или 6Ж8, имеет по факту – я замерял на ЛЗ-3 – ток сетки даже превышающий допустимые нормы для 6Ж8. А знаменита эта лампа как раз прекрасным звучанием и она становится редкостью. Это многими замечено, что увеличение тока анода часто ведет к улучшению звука. Но на мой взгляд, сама по себе величина тока анода не так важна. Просто **при работе со значительными токами анода мы вынужденно снижаем смещение на сетке, а это при значительно большей мощности, рассеиваемой на аноде приводит к разогреву лампы и росту тока сетки**. То есть, как в первом примере, получается опять наоборот – как раз лучше звучат схемы, где лампа все-таки имеет некоторую, пусть небольшую, степень управления током.... Другой пример – от обратного. Типичный **пример управления потенциалом – это катодный повторитель, смещение на сетку которого подано с делителя в катод – такое смещение дает величину входного сопротивления до 30 МоМ. По моему опыту, такие конструкции, как правило, дают плоский звук**. Так что и тут можно сказать – вид управления тоже ни при чем.

В чем же тогда причина различий в звучании ламп и транзисторов? Она на мой взгляд проста. На эту мысль о истинной причине меня навел мой брат Саша (его многие знают как сначала UQ2OF, а

потом UA1ZCL). Все дело в том, что все полупроводники, независимо от типа конструкции (биполярные, полевые, ВJT и т.п.) имеют одно общее свойство, которое их принципиально отличает от вакуумных приборов – емкость перехода. Точнее, ее зависимость от частоты. Понятно, что вакуумный триод тоже имеет межэлектродные емкости, но так как вакуум есть вакуум, величина этой емкости ни от частоты ни от амплитуды сигнала не зависит. При прохождении же аудиосигнала (т.е. музыки) через полупроводниковый триод из-за этой зависимости емкости перехода от частоты и амплитуды мы получаем пусть небольшой по амплитуде, но принципиально неустраняемый полностью спектр высших гармоник, который как это установлено тестами и режет ухо. Их, эти высшие гармоники, насколько возможно, пытаются снизить за счет увеличения глубины ООС, но все равно проблемы в полной мере это не решает. А вот спектр гармоник ламп, которые хотя и заметно больше по амплитуде, как правило, не содержит гармоник выше шестой, но обычно дело ограничивается первыми тремя. Вот это и есть основная причина “кошерности” лампового звука. Причина – это вакуум. Пустота. Оказывается, от пустоты тоже бывает ооочень большая польза !

Примеч. Насчет входной емкости. Различие в том что входные емкости ламп несколько пФ (для маломощных ламп 3...5 пФ), а у транзисторов в десятки раз большие (а у мощных полевиков от нескольких тысяч до десятков тысяч пФ). И это в режиме повторителей. В схемах с общим катодом, общим эмиттером, общим истоком проявляется эффект Миллера и входная динамическая емкость многократно увеличивается (строго говоря в коэффициент усиления по напряжению K_u).

При грамотном построении схем УН на транзисторах спектр гармоник также короткий, а низшие гармоники могут быть даже меньшего уровня чем в ламповых усилителях. В качестве примера можно привести известный УН Хаксфорда с ОБ на входе, а также простейший двухтактный ломаный каскод, который переиграл лучшие гибридные усилители с ламповыми УН автора книги по гибридным усилителям.

Что касается ООС см. примечание к первому пункту.

И.Пугачев

<http://musicangel.ru/mess018.htm>

при разных выходных сопротивлениях усилителей $R_{вых}$ и одинаковых ЭДС на их выходах, напряжение на АС будет разным, так как $R_{вых}$ и Z образуют делитель напряжения. Если выходные сопротивления усилителей не одинаковы, а они ведь могут быть и частотно-зависимыми, то АС будут звучать по-разному. Особенно это заметно при сравнении ламповых усилителей без обратной связи [1] и транзисторных, имеющих, как правило, глубокую отрицательную обратную связь. В первом случае $R_{вых} = 2...3$ Ом, во втором — $R_{вых} = 0,1...0,01$ Ом.

Ламповый усилитель будет подчеркивать те частоты, на которых Z возрастает. И действительно, НЧ и ВЧ у него звучат "лучше". Если частота раздела НЧ и ВЧ ($f_{разд}$) в АС приходится на область 3 кГц, и на этой частоте имеется "горб", то лучше звучат струнные инструменты и голоса солистов.

Примеч. С этим трудно не согласиться. Да, выходное сопротивление оказывает существенное влияние на тембр звучания, так как изменяет АЧХ. Но это вовсе не означает что включив на выходе глубокоОСного транзисторного усилителя резистор сопротивлением 2...3 Ома получим ламповый звук. Похожую АЧХ — да, но не ламповый спектр отвечающий за тембральную окраску характерную для лампового звука.

далее по поводу напряжения на выходном сопротивлении усилителя в тесте автор пишет: «на самых низких частотах напряжение U_1 может быть синусоидальным, а по мере роста частоты оно искажается, и на частотах 20 кГц и более искажения могут быть очень большими, вплоть до удвоения частоты. А если измерить коэффициент гармоник такого усилителя по обычной методике, он может быть достаточно малым, например, всего 0,01%.»

Примеч. Это лишний раз подчеркивает несовершенство традиционных методов тестирования основанных на измерении K_g

Лихницкий пишет:

«музыкальные сигналы отличаются от синуса гораздо большей изменчивостью (Для специалистов: изменчивость сигнала имеет строгое математическое толкование и означает текущий интеграл модуля второй производной по времени сигнала, просматриваемый через скользящее "временное окно" субъективного восприятия (об этом см.: С. Мэзон. Г. Циммерман. Электронные цепи сигнала и системы. М., 1963, с. 246-250 и др.)).

Неожиданные амплитудные всплески, динамические переходы от одного гармонического состава к другому наиболее важны при восприятии музыки. Именно они придают звучанию живость и энергичность. При многопутевом распространении сигнала в проводниках, в частности в цепях усилителя, участки сигнала с повышенной изменчивостью разрушаются, происходит их фазовая деструктуризация.

...Если стандартные методы не готовы "переварить" музыкальные сигналы, то наш мозг справляется с этой задачей вполне удовлетворительно.

То, что снижение частоты доминирующего полюса и попадание его в звуковой диапазон плохо сказывается на звуке, впервые заметили Я. Лохстрох и М.Отала (1973), однако они объяснили это явление образованием ТИМ-искажений (*ТИМ (Transient Intermodulation distortion) возникают в результате "жесткого" ограничения скорости изменения сигнала на участке прямой ветви ООС до звена, формирующего в ней доминирующий полюс. Музыкальные сигналы, скорость которых так велика, что может оказаться ограниченной в стандартном усилителе с ООС, в природе не существуют*), больше чем на десятилетие введя в заблуждение не только аудиофилов, но и разработчиков усилителей звуковой частоты. На самом деле это явление можно объяснить в свете представлений о размывании сигнала петлей ООС. То, что ООС начинает хуже функционировать, когда петлевое усиление зависит от частоты сигнала, можно представить наглядно, рассмотрев работу нагруженного на реальный громкоговоритель усилителя, выходное сопротивление которого имитируется с помощью ООС.

Отсутствие ясности и чистоты баса - это то, что в итоге имеет владелец усилителя (неважно, лампового или транзисторного), выходное сопротивление которого имитируется с помощью ООС.

Как это ни парадоксально, вред от ООС в усилителях оказался большим, чем применение в них такого анахронизма, как выходной трансформатор.

Если же усилитель на лампах выполнить в схемотехнике, близкой к транзисторным усилителям (то есть начать применять ООС), то преимущество ламп перед транзисторами будет сведено на нет.

Думаю, что, если в транзисторном усилителе удастся когда-нибудь полностью избавиться от ООС, ламповый барьер будет преодолен.

...о "ламповой чистке" транзисторных звукозаписей. Думаю, что здесь имеет место эффект гармонизации тракта "запись - воспроизведение". Усилитель на лампах с большим анодом довольно часто выделяет и даже "облагораживает" область частот от 400 до 600 Гц, возвращая таким образом слушателю "потерянную" деку скрипки, фундамент певческого голоса и даже насыщенность tutti симфонического оркестра. Налицо гармонизация тракта по тональному балансу. »

Примеч. Лихницкий заостряет внимание на отличии музыкального сигнала от традиционно применяемого при измерениях параметров синусоидального, а также пишет об облагораживающей гармонизации звука ламповыми усилителями. Что касается гармонизации, то любое вмешательство в исходный сигнал отдаляет его от оригинала, а поэтому говорить о полезности такого вмешательства можно с большой натяжкой. Это скорее из разряда вкусовщины. Что касается безОСных транзисторных усилителей, то их можно реализовать также с коротким спектром и даже с меньшими искажениями чем в ламповых усилителях, и тому можно привести немало примеров, например:

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=67498&p=2272538&viewfull=1#post2272538>

Андрей Михайлов

<http://www.muzoborudovanie.ru/articles/valves.php>

При перегрузке лампы

во-первых происходит естественная компрессия звука, в результате чего он воспринимается как более "плотный";

во-вторых происходит искажение звука, в результате чего он обогащается гармониками.

В ламповой технике расположение этих гармоник по громкости практически совпадает с обертоновым рядом, то есть добавляются вторая (октава), третья (квинта), четвертая, пятая и т. д. гармоника, что субъективно воспринимается как приятное на слух, "музыкальное" звучание.

При перегрузке транзисторной техники звук также искажается, но сигнал при этом насыщается в основном нечетными гармониками, то есть третьей, пятой, седьмой, девятой и т. д. Из них седьмая и девятая гармоника - диссонирующие, что слух, мягко говоря, не ласкает и воспринимается именно так, как оно и есть — как искажения.

Итак, лампа.

Плюсы: звучит тепло, при перегрузке придает звучанию дополнительную "музыкальность".

Минусы: шум (как следствие сложности с качественным усилением сигналов низкого уровня), громоздкость, малый срок службы (некоторые гитаристы вынуждены менять лампы в своих усилителях каждый месяц), плохо переносят транспортировку, низкий КПД (большая часть потребляемой ламповой техникой энергии расходуется на обогрев помещения, что может приветствоваться только зимой, да и то лишь при неработающем отоплении).

Транзисторы и прочие полупроводники.

Плюсы: корректность, неокрашенность звучания, малые шумы, компактность полупроводниковых устройств, низкое потребление энергии.

Минусы: сухое звучание, резко ухудшающееся при перегрузке.

Как мы видим, характеристики диаметрально противоположные - то, что хорошо у ламп, плохо у транзисторов, и наоборот.

Примеч. Во-первых никто не эксплуатирует (почти никто) транзисторную технику с перегрузкой до клипирования. Во-вторых следует различать усилители с общими ООС и без них. Хорошие усилители с ООС как ламповые так и транзисторные звучат одинаково, неотличимо друг от друга. Тем не менее больше шансов сделать усилитель хорошо звучащим если отказаться от общей ООС (с выхода усилителя, т. е. с комплексной нагрузки). Местные ОС (эмиттерные резисторы в каскадах ОЭ, ОБ) при грамотном их использовании способствуют линеаризации каскадов и как правило не портят звук.

<http://sakevich.org/raznoe/tube.htm>

Сергей Сакевич

усилитель должен только усиливать звук, а не нести отсебятины, (ведь у энтузиастов лампового звука главный аргумент - "богатое", т.е. насыщенное гармониками звучание), то необходимость применения ламповых усилителей в профессиональных системах усиления весьма спорна.

автор достаточно подробно излагает достоинства и недостатки обоих видов усилителей и по результатам анализа делает вывод:

в плане практического применения однозначно предпочтительнее грамотно сконструированный транзисторный аппарат. Сейчас ситуация на рынке профессиональных транзисторных отечественных усилителей значительно лучше, чем 5-10 лет назад, и усилия разработчиков по повышению общей надежности и качества явно заметны. Ламповые аппараты в составе мощных порталов уже можно воспринимать как экзотику, в настоящий момент для создания мощного концертного саунда практически не применяемую.

Для подробного ознакомления с анализом автора рекомендуется пройти по ссылке:

<http://sakevich.org/raznoe/tube.htm>

<http://ayonaudio.net/whybetter>

Когда перегружается транзистор (дискретный транзистор или операционный усилитель), основной составляющей искажений является третья гармоника и то, как она сказывается на общем звучании, музыканты называют «подавлением». Она не обогащает звучание, а делает его скучным и жёстким, когда присутствует в достаточно большом количестве. А у ламп (в частности триодов) основной составляющей гармонических искажений является вторая гармоника. С музыкальной точки зрения вторая гармоника находится на октаву выше основного тона и остаётся неразличимой в общем звучании, и даже способна сделать звучание более плотным и целостным.

Получается, что лампы звучат лучше, потому что их продукты искажений лучше вписываются в музыкальное звучание. Лампы обеспечивают лучшее преобразование сигнала. В этом основные причины преимущества звучания ламповых устройств.

Примеч. Здесь надо различать двухтактное и одноктактное усиление. Для двухтактных усилителей (а тем более с ООС) независимо транзисторные это или ламповые усилители характерно симметричное ограничение сигналов что и ведет к росту преимущественно нечетных гармоник. Причем клипирование транзисторных усилителей более жесткое в отличие от плавного (мягкого) клипирования ламповых усилителей. Отсюда и плавное нарастание искажений с ростом сигнала в ламповых усилителях. Кроме того плавное ограничение (мягкое клипирование) сигналов (работает аналогично компрессору) с одновременным увеличением отдачи на краях диапазона создает ощущения, что ламповые усилители при одинаковой выходной мощности создают большее звуковое давление, звучат громче. В транзисторных же наоборот, искажения снижаются вплоть до клипирования, а затем резко возрастают.

Дело в том что мощность обычно измеряют на активной нагрузке номинальной величины, а реальный громкоговоритель имеет импеданс в большей части звукового диапазона выше номинального значения, что и ведет к росту отдачи с ламповыми усилителями.

<http://musicangel.ru/mess019.htm>

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

SE (Single Ended) - одноктактный каскад

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

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

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

-пульсации питающих напряжений практически без ослабления передаются в нагрузку, что выдвигает довольно жесткие требования к качеству (читай - габаритам и стоимости) выпрямителей. Эти требования еще более возрастают в связи с тем, что в SE усилителях через источник питания проходит ток основной частоты (сигнала), и если не предпринять

соответствующих мер, то паразитная межкаскадная связь по питанию может нарушить устойчивость усилителя в целом.

Таким образом, неплохая вроде бы идея обрастает на практике подводными камнями, поэтому даже у дорогих SE усилителей выходная мощность редко достигает 10 Вт (следствие очень низкого КПД-10-20%), а звучание НЧ характеризуется «рыхлостью» и отсутствием настоящей динамики. Значительный уровень четных гармоник способен превратить «прозрачность» в «стеклянность», а ламповую «теплоту» - в «аморфную вялость». Итого от SE-оптимизма остается, пожалуй, только одна привлекательная черта - отсутствие необходимости подбора ламп выходного каскада «по парам».

PP (Push Pull) - двухтактный

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

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

- лампы выходного каскада специально отобраны по параметрам
- число витков, индуктивность и активное сопротивление половинок первичной обмотки

идеально совпадают

- фазоинверсный каскад обеспечивает точное равенство амплитуд и противоположность фазы напряжений, подаваемых на управляющие сетки выходных ламп.

На практике подобрать две одинаковые (с отличием вольтамперных характеристик в рабочем диапазоне токов и напряжений порядка 1%) лампы невозможно, приемлемую симметрию полуобмоток выходного трансформатора удастся получить только применяя специальные технологические приемы (многосекционная намотка), а для обеспечения противофазной раскашки приходится вводить ряд подстроечных элементов. Другими словами, **изготовление и налаживание PP усилителей - дело трудоемкое и довольно тонкое: небольшая небрежность или надежда на «авось пронесет» почти всегда заканчиваются разочарованием.**

http://www.arstel.com/details/proektirovanie/sound/statya-po-ozvuchivaniyu_01.php

ТРАНЗИСТОРЫ ИЛИ ЛАМПЫ?

За всю историю создания усилителей мощности звуковой частоты разработано огромное количество схемотехнических решений. Как показывает практика, транзисторные усилители при их правильном использовании по объективным техническим характеристикам значительно превосходят ламповые. Тем не менее, многие специалисты отдают предпочтение ламповым усилителям. Принято считать, что ламповый усилитель имеет более правильное звучание, характеризуемое терминами «прозрачность», «четкость», «детальность» и т.д.

На первый взгляд, в качестве усилительных элементов, предпочтительнее использовать лампы.

Несмотря на кажущуюся очевидность, такое решение не является взвешенным.

На помощь транзисторам приходит схемотехническая хитрость – «отрицательная обратная связь» (ООС).

Практически все усилители мощности охвачены местными и общими обратными связями. Они линеаризуют усилитель, уменьшают его выходное сопротивление, расширяют диапазон частот, делают его работу стабильной и независимой от колебаний температуры кристаллов. В итоге, транзисторные усилители обладают великолепными техническими характеристиками. Кроме того, применение биполярных и полевых транзисторов обеспечивает более высокий КПД, массогабаритные показатели и, что немало важно, существенно меньшую стоимость.

Однако не стоит забывать, что в каждом явлении имеются как положительные, так и отрицательные стороны.

Интермодуляционные искажения в выходном сигнале, его размывание по времени и разрушение «фазовой картины» – плата за использование отрицательной обратной связи. Присутствие в музыкальном сигнале даже небольших по величине продуктов интермодуляции высших порядков вызывает у слушателя ощущение «металличности», «жесткости». Чаще всего такое звучание характеризуют как ненатуральное. Обилие реактивностей в усилительных каскадах приводит к «многопутевому» распространению сигнала и фазовой деструктуризации. ... В итоге, наиболее заметным последствием действия на звук общей ООС является ухудшение динамики и ослабление энергичности музыкального звучания.

Необходимо отметить, что в транзисторном усилителе без ООС не обойтись, так как для того чтобы обеспечить даже скромные значения нелинейных искажений и приемлемое выходное сопротивление, усилитель на транзисторах должен иметь, как минимум, глубокие местные ООС. Местные ООС лучше чем общие ведут себя на звуке, и обеспечивают меньшие по величине задержки и более короткий период размывания сигнала.

Применение качественных «звуковых» транзисторов позволяет отказаться от общей ООС и получить от усилителя «четкость», «прозрачность», «динамичность» и «энергичность» воспроизведения.

Равные по техническим характеристикам усилители могут звучать по-разному. А бывает, что усилитель с худшими характеристиками звучит гораздо лучше. **В итоге получается, что оценивать усилитель по основным характеристикам – все равно, что оценивать человека лишь по его физическим параметрам.**

Типовое значение THD для Hi-Fi усилителя составляет 0,1 %. Однако, уже не раз отмечалось: усилитель с THD 0,001 % может оказаться хуже по звуку, чем другой, с THD 0,1 %. Дело в том, что при таких малых значениях этого параметра, искажения сложно проследить в форме выходного сигнала или ощутить на слух. Поэтому, разницы между 0,1 % и 0,001 % слышно не будет.

Примеч. Автор противоречит самому себе. Если с 0,001% по звуку хуже чем с 0,1% THD так разница между ними слышна или нет?

Известно, что наличие в музыкальном сигнале «обертонов» вовсе не портят, а обогащают звук. Поэтому очень важно указывать не коэффициент гармонических искажений, а весь спектр выходного сигнала, из которого можно определить тип (четные или нечетные) паразитных гармоник и их уровень относительно полезного сигнала. С точки зрения психоакустики, например, наличие в выходном сигнале ощутимых по уровню четных гармоник воспринимается на слух лучше, чем наличие малых нечетных.

Наибольший вред музыкальному сигналу приносят интермодуляционные искажения (Inter Modulation Distortion), которые возникают при подаче на вход нелинейной системы мультитонового сигнала. При этом на выходе появляются паразитные сигналы с частотами, являющимися суммой или разностью частот входных сигналов, а также суммой или разностью частот сигналов, вызванных гармоническими искажениями и через обратную связь возвращенных на вход усилителя. Подобные искажения не соотносятся с основными тонами музыкального сигнала и приносят в него фоновый шум.

Более подробно см. по ссылке

Григорий Розанов

<https://www.gregory.pp.ru/tube/>

... причина "благозвучности" аудиофильских усилителей, в особенности SE без или с совсем небольшой общей ООС - высокое выходное сопротивление. У транзисторных аппаратов выходное сопротивление приближается к нулю, так как охваченный глубокой общей ООС операционный усилитель с большим коэффициентом усиления по отношению к динамикам работает как идеальный источник напряжения. Одно время предпринимались более-менее успешные попытки создать транзисторный УМЗЧ с токовым управлением нагрузкой, обеспечивающий более оптимальные с точки зрения электроакустики режимы работы громкоговорителей, а так же активно разрабатывались различные системы ЭМОС и ПОСТ (т.н. схемы отрицательного выходного сопротивления), однако эти усилители оказались слишком капризными и ненадежными для серийного производства. Ламповый же усилитель, конечно, источником тока не является, но и идеальным источником напряжения - тоже. Выходное сопротивление лучших ультралинейных усилителей 50-х годов не было меньше 0.2 Ом (при том что у транзисторных - как минимум в 10

раз меньше), и соответственно коэффициент демпфирования - не более 30. У однотактников без общей ООС выходное сопротивление сопоставимо с импедансом акустики, и составляет 0.5...1.5 Ом. Такое демпфирование улучшает разборчивость низких частот и до определённого предела благотворно сказывается на звуке (Мой "бюджетный" лофтин-уайт [2]). Дело в том, что звуковое давление, развиваемое динамиком пропорционально ускорению подвижной системы головки, а ускорение это пропорционально току в катушке, как ускорение проводника в магнитном поле. В случае питания АС от источника напряжения фаза и форма тока начинают сильно "гулять", что обуславливает ухудшение импульсной характеристики системы по звуковому давлению. Кроме того движущаяся в магнитном поле катушка сама становится источником ЭДС, что так же крайне негативно влияет на форму сигнала. Питание АС от усилителя с достаточно высоким выходным сопротивлением устраняет все эти проблемы. Эта единственная "фишка" аудиофильских усилителей, не являющаяся результатом High-End кампаний, по иронии судьбы активнее всего замалчивается: того же эффекта можно добиться включением последовательно АС резистора соответствующего номинала в обычном транзисторном усилителе.

По поводу резистора я уже писал выше. По результатам анализа автор делает выводы:

На основании всего вышесказанного напрашивается пара выводов, которые могут показаться парадоксальными:

1. При нынешнем уровне развития транзисторной схемотехники сделать на лампах усилитель, обладающий объективно более высокими показателями невозможно.
2. Учитывая п.1, единственная область применения ламп в DIY (за исключением гитарных усилителей и обработки) - High End в самом худшем понимании этого слова, так как любое улучшение объективных параметров (как то уменьшение выходного сопротивления и коэффициента нелинейных искажений) усилителя будет отдалять его звучание от принятого в аудиофильской среде канона. Следовательно *создание лампового Hi-Fi есть бесполезная трата времени.*
3. Ламповый винтаж середины прошлого века проектировался с учётом получения максимально высоких технических параметров, и по этой причине не может быть отнесён к аудиофильской аппаратуре.

<http://forum.qrz.ru/archive/index.php/t-17375.html>

UA3FDS

...однозначное мнение есть. По крайней мере, у тех, кто дружит с головой. А кто не дружит, и не понимает объективных параметров, начинает выдумывать религию. На мой взгляд, **основная задача усилителя - в точности передать на выход то, что ему подано на вход, понятно усилив.** Ламповый усилитель с этой задачей справиться не в состоянии. А то, что кому-то нравятся специфические искажения лампового усилителя - это отдельная песня.

http://forum.hifinews.ru/acoustic_systems/topic79-1.htm

Игорь

На мой взгляд превосходство ламп в звуке - одна из легенд,... Мне нравится транзисторный звук, а моему напарнику ламповый, это вопрос предпочтений и ещё конечно компромисов. Ни у одного лампового усилителя не слышал хорошего низа, увы. При сравнении все почему то забывают вопрос цены. Хорошо сделанный транзисторный усилитель ни в чём не уступит ламповому, это как минимум.

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=61505&page=227>

hydr

Сообщение от faket

В любом случае базовый ток создаст на сопротивлении источника искажения, а его квадратичная составляющая - и смещение рабочей точки вслед за огибающей сигнала, чего у лампы не наблюдается

Ионный ток и термо-ток реальность, вполне измеряемы, нелинейно модулируются сигналом на аноде, не учитываются ширпотребными Spice моделями. В грамотно спроектированной схеме без претензий, можно забыть. Но, если нас интересует, что происходит на уровне -100 дБ и ниже дело другое.

Shaq

А охлаждение катода в следствии эмиссии?

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=5736&p=861044&viewfull=1#post861044>

Mosfet

...против ламп я ничего не имею, но сам готов их применять только в каскадах предварительного усиления. Отчасти из-за того, что насмотрелся на мучения моих друзей, обладающих ламповыми усилителями на 6С33С и 300В. Раз в два-три месяца у них обязательно дохнет какая-то из лампочек и они с выпученными глазами носятся в поисках нормальных баллонов. А у того, которого BAT VK75, вообще, при замыкании внутри ламп, дохнет половина усилителя: напрочь выгорают цепи стабилизации тока покоя, выполненные на микросхеме, стабилитроне и транзисторе. Ради чего весь этот "праздник жизни"? Одни проблемы от этих лампочек. На мой взгляд - либо транзистор, либо гибрид. Один фиг, звук у хороших усилителей отличается крайне мало.

Nota Bene

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=5736&p=138371&viewfull=1#post138371>

Осторожно выскажусь - лампа в тракте выполняет роль эксайтера/улучшайзера/гармонизатора, обогащая спектр сигнала в основном четными гармониками, которые почему-то улучшают восприятие музыки, создают тот самый "воздух" без которого "лампадники" жить не могут. В общем-то это все вкусовщина, ИМХО. Заманил к себе давеча одного заядлого "лампадника" (10 лет стажа прослушивания), врубил звук через плагин от Ozon*a v3.0, в котором есть функция эмуляции лампового (в числе прочих) звука, и он сказал - вот! - это и есть тот самый ламповый звук! На транзисторном усилке!

На досуге покопаюсь в спектре гармоник этого эксайтера, посмотрю что там добавляется...

PSV

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=5736&p=138456&viewfull=1#post138456>

ООС меняет определённым образом спектр исходного сигнала, размывает и удлиняет его. И этот новый спектр, для наших ушей, не тонет в шумах, он коррелирован с сигналом.

Semigor

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=5736&p=138464&viewfull=1#post138464>

На практике хороший транзисторный усилитель в классе А без ООС часто может выиграть у своего лампового собрата.

Примеч. Именно по этой причине некоторые из моих знакомых и отказываются от ламповых усилителей, так как грамотно сделанные безОСные транзисторные усилители играют честнее!

Что касается спектра и прочих "объективных" общепринятых критериев, то они имеют очень слабую корреляцию с качеством звука.

Примеч. Спектры хороших ламповых и безОСных транзисторных усилителей выгодно отличаются от спектров глубокоОСных транзисторных на многотональных сигналах. Они же как правило и выигрывают по звуку. Кроме того характеристики необходимо исследовать и на нагрузке как минимум в 2 раза ниже номинальной, и не только на частоте 1 кГц, а и на краях звукового диапазона.

Различные же улучшайзеры, эмуляторы, вибраторы и резиновые женщины - это сугубо для любителей медведей и суррогатов.

Мы пока не знаем, какими ТТХ должен обладать хорошо звучащий усилитель. Но достаточно многие знают, как сделать такой усилитель.

Знания эти по большей части эмпирические. Они включают в себя знания об играющей

схемотехнике, играющих детальках, играющем конструктиве...

Какие-то вещи, конечно, могут быть объяснены с "научной" точки зрения, но в большинстве случаев для научного объяснения просто не хватает знаний.

Вывод - надо экспериментировать, накапливать эмпирические знания, чтобы на их основе можно было в обозримом будущем выработать набор объективных характеристик, по которым действительно можно будет судить о качестве аудиоаппаратуры.

Костя Мусатов

<http://forum.vegalab.ru/showthread.php?t=5736&p=861188&viewfull=1#post861188>

Не надо путать транзисторные усилители недостаточного качества с самим классом транзисторных усилителей. А **ламповый усилитель - это усилитель со встроенным "улучшайзером", на который часто и "подседают"**. Чем лучше транзисторный усилитель и чем лучше ламповый, тем меньше разницы между ними.

...лампы последних разработок, с хорошей конструкцией и высокой отдачей весьма мало добавляют в звук своего и их применение дает хороший результат. Но даже они при большом раскрытии по аноду, например в драйвере гибридика, дают искажений больше чем хороший транзисторный драйвер и предельное разрешение на сложных сигналах (например БСО) все же ниже, хотя общей музыкальности не отнять.

Более подробно об особенностях работы ламповых усилителей см.

<http://musatoffcv.narod.ru/Docs/Tubes.htm>

<http://www.kombik.com/product/95950/>

Совсем недавно в гитарном, да и вообще мире произошла своего рода буря в стакане, когда инженеры AMT Electronics создали твердотельный заменитель ламп 12AX7. Прозванные Warm Stone они считаются почти неисчерпаемыми, обладающими, что интересно, постоянными характеристиками на протяжении всего срока службы!

Вы бы видели эту стильную оранжевую окантовку, которая горит, когда лампа работает! И это после того, как целые поколения производителей использовали диоды чтобы подсвечивать лампу снизу,

Оригинальная разработка инженеров AMT Electronics - твердотельные функциональные аналоги ламп 12AX7 - 12AX7 Warm Stone - "Тёплый камень"!

Преимущества "ламп" серии Warm Stone:

- **Полный функциональный аналог вакуумных ламп** (в том числе и по размеру)
- **Стабильные характеристики на протяжении всего срока службы - отпадает необходимость менять лампы в усилителе, реальная экономия!**
- **Натуральное, живое качество звучания** - в слепом тесте с вакуумными лампами чаще всего именно эти "лампы" принимают за настоящие
- Оригинальная схемотехника и внешний вид
- Сделано в России!

Это краткий обзор публикаций и высказываний по поводу особенностей ламповых и транзисторных усилителей и причин различий в их звучании. Свои комментарии выделил синим цветом.

С уважением,

Александр Петров