

**ПЕРЕТЕКАЮЩАЯ В ОТЧЕТ О ВЫСТАВКЕ В МОСКВЕ  
(апрель 97)**

Журнал «Вестник А.Р.А.» является первым опытом в России с целью публикаций различных аудио-конструкций, обмена опытом и информацией.

«Вестник А.Р.А.» не является коммерческим. Все средства от его распространения будут затрачены на организацию клубной работы Ассоциации Российских Аудио-филов

Лишь после нахождения средств на периодическое издание будет объявлено о подписке.

«Вестник А.Р.А.» заинтересован в активном отклике читателей, чтобы иметь представление о читательской аудитории.

Все материалы, присланные в журнал, являются безгонорарными, за исключением специально заказанных на определенную тему.

При перепечатке материалов из «Вестника» просьба дать ссылку на источник.

Прямая связь по телефону:  
(812)101-47-69, Белканов Александр

**Оглавление**

Однотактник по схеме Loftin-White,  
*Giro Marzio & Cristiano* ..... 5

Выходной трансформатор для однотактника, *Dr. Tom Hodgson* ..... 12

Однотактный усилитель на лампе  
807, *G. Rankin* ..... 17

Триод против пентода,  
*Norman Crow-hurst* ..... 24

Расчет каскада с нагрузкой в  
аноде, *Д. Андронников* ..... 33

SINGLE-ENDED VS PUSH-PULL. Part  
f, *Scott Frank/and* ..... 37

SINGLE-ENDED VS PUSH-PULL.  
Part ft, *Scott Frank/and* ..... 44

Какая лампа нам нужна,  
*Александр Белканов* ..... 50

Как работает лучевой тетрод  
*А. Азатьян* ..... 52

Громкоговоритель «Onken» ..... 56

LIFE IN VACUUM ..... 60

Лит. ОПУС № ..... 65

Шведский усилитель ULTIMATE,  
*Rickard Berglund* ..... 68

и многое другое...

С выходом первого номера «Вестника» в январе этого года, произошло малозаметное событие – любители-самодельщики получили свой журнал. К моменту выхода второй книжки можно подвести (-итоги. Они-то как раз мало утешительны.

1. Поскольку издание происходит в Санкт-Петербурге, то резонно было распространять журнал на р/рынке. В официальные магазины, торгующие Hi-End'oM нечего и соваться, у них свой печатный товар – Hi-Fi News & RR. Sterophile, «АМ», С.А.V, и прочие Стерео Видео цветные журналы. В двух палатках-прилавках на рынке едва разошлись 50 номеров. Из этого, конечно, не следует, что на весь Питер полсотни любителей, но если даже 500 человек это немного.

2. Гораздо симпатичнее картина в Москве, куда была отправлена часть тиража. Большой и красивый магазин (PL), что на наб. Горького продал аж 3 (три!) номера и даже заказал один из следующего выпуска. Hi-End господ, это вам не «бантики с хомутиками». На рынке в Митино поступили следующим образом: купили пару номеров (с запасом), развалили на листы и наделали копий. Поскольку это вроде своя собственность, то страницу с «объявлениями на заборе» заменили своей рекламой. Плевали ребята на права авторские, равно как и вопросы этики. Как это действие называется в цивилизованном мире известно всем, интересно лишь, как они сами себя называют? Однако, и на том спасибо от души, так как журнал распространился и таким вот оригинальным способом.

Распространение приобрело свой законный вид только на выставке в МТУ-СИ (Московский технический университет связи и информатики, что на ул. Авиамоторной, 8). За неделю, которую длилась выставка, весь тираж разошелся. Здесь же были представлены и пилотные статьи «Однотактные против двухтактных» и «Триод против пентода». И они разошлись с той же быстротой. Значит оказались нужны. Нам же это дало пищу для размышлений о потребности такого материала в нашем журнале.

3. О результатах распространения по России говорить пока рано. Мы получили 103 звонков со всех краев и окраин, даже из Алма-Аты. Нас просят известить, когда выйдет № 2 и как его приобрести. Кроме горечи за Роспечат, ничего более такие вопросы вызвать не могут. Роспечат, не моргнув глазом, устанавливает 100% наценку и рассылать по одному экземпляру не собирается, ей надо как минимум ID-20. Мы решили обойтись без нее (до поры) и станем высылать журнал наложенным платежом.

4. Электронная почта нам пока не подходит. Класть электронную версию на сервер (это объем порядка 1,5 Мегабайт в архивированном виде) – накладное удовольствие. С получением денег от пользователей информации может выйти (ведь так и случается!) обычная история с задержками выплат. Да и абонентов Relcom'a наберется у нас в России, к тому же с интересом к audio, на пальцах перечесть. Судя по тому, какая информация на руках у них сейчас, Internet с WWW для российских самодельщиков остается заповедной зоной. Они тягают оттуда списки с номенклатурой и ценниками. Так что будем обходиться традиционной технологией – на бумаге.

5. Более интересными оказались ваши письма и звонки. Из Питера (проще было позвонить) получено письмо с описанием стойки для аппаратуры. В «Идеях мистера Fix'a» мы это освежим. Спасибо! Другие письма касались вопросов распространения, с предложением продавать журнал на месте. На это отвечено каждому адресату отдельно и, также благодарим за участие.

А вот с критикой и предложениями материалов собственных разработок – ПЛОХО! Тут мы с полным недоумением. Сдается, что либо есть о чем высказаться и опыт надо сказать не слабый, но «душит жаба», либо есть исключительная жажда познания. Ее нужно утолять из учебной литературы, все-таки журнал это не учебник, а отражение текущего момента, пусть и однобокое.

Некоторые изобрели оригинальный способ: они звонят. Это местные питерские любители. И пытливы, по часу и более, терзают своими интересными вопросами. Сообщая мы приходим к решению, что нужно делать однотактник на прямонакальных триодах (лучше на 300В) и упаси Бог, без обратной связи. Прямо-таки сократовские мысли с имперским размахом. Ну почему у русских такой вот «чемпионский» подход? Микросхема у нас должна быть самой большой, телебашня самой высокой, а уровень жизни в Москве самым недоступным для нормального человека. Отчего в магазине не видно российских товаров, зато тьма желающих сделать технику невиданного класса? Наверное, это болезнь роста, когда хочется из, простите, грязи да в князи. Нам кажется, для того, чтобы ездить на Rolls Royce без оглядки на окружающих, надо допрежь того поездить скажем на Jaguar'e или на худой конец на «Волге». Но зачем же сразу садиться в такой автомобиль. Чтобы оценить горный воздух, нужно пожить в городе, рядом с химзаводом. Долой, однако, мораль!

В Питере вот есть своя аи-сПоэ-лита, этакое заматерелое «Псевдо-акустическое общество». Оно уже настолько самодостаточно, что знать ничего не желает и принять в свои ряды не может, или уже не способно. Как бы там ни было, но снизойти до звонка и как-то отметить выход журнала в свет, не удосужился никто. Поделом нам выскочкам! Да мы и не переживаем особенно...

Вот с такими тусклыми, обывательскими впечатлениями мы и жили до конца марта, пока не

## !!!ГРЯНУЛА ВЫСТАВКА!!!

Сказать по честному, до нее в Москве прошла одна, но та для пера заслуженных деятелей в сфере глубоконаучной и оправданно дорогостоящей элитной даже не звуко-, а аудиотехники. Там космические технологии и цены. Уши там покрыты золотом, а уста медом, там АисПорай.

Апрельская же называлась официально «Третьей межрегиональной выставкой аппаратуры высококачественного звуковоспроизведения» с потешным именем «Российский High-End'97» Организовал ее по сути Д. Свобода, хотя и под вывеской Акустического центра и под эгидой МТУСИ. Вот где было разгуляться демократическому люду, порою специально приехавшему из Штатов (господин американин обманым путем затащил А. Городников – председатель Российского отделения AES). Бесплатными были вход, значки и тезисы научно-технического семинара с каталогом экспонатов. Все как у больших.

Для ежедневной, душной и неиссякаемой в разговорах тусовки с прослушиванием и проглядыванием была выделена аудитория. Красавицы с последних курсов под присмотром Дмитрия Свободы вполне сносно ее акустически обработали. Кабы не остролюбопытствующие слушатели, переполнявшие аудиторию до краев, то для 10-15 человек места и воздуха вполне хватало. Однако, на то она и демократичность выставки, чтобы было тесно и весело.

Рядом был холл, где в современных выгородках разместились сами экспоненты с экспонатами. К полутора-метровому по ширине отсеку некоторые умудрялись подтянуть еще и колонки и включить музыку – вот это класс, было как на ярмарке! Только что медведей не было.

Кто же показывал класс? Перечислим в произвольном порядке: **АО «Рефлектор»** из Саратова и **«Янтарь»**(Москва), **ТОО «Агат Электроника»** (М), **«Монтажник»** из Подольска. Затем последовали лаборатории, обе из столицы –

Губина и «Natural». Фирм (так они себя называли) было 11.

Это «Валанкон», «JUMP Electrotechnic», «Эррол-Лаб» – Москва; «Звук», «Hi-End Master», «Past Audio» «Spb Sound» – из Питера; **КБ звукотехники «Три-В»** и **НПЦ «Колвир»** из Таганрога. Под закрытие появились представители из Твери «Техносфера» и, наконец, – чужеземец из близкого зарубежья «George Ohm» – он же Юрий Малышев из Харькова. Научная элита была представлена **Российской секцией международного общества инженеров-акустиков AES, НТО-РЭС** (не знаем как расшифровать) **им. А.С. Попова** из Москвы и некое **Аудиообщество** из Петербурга. Для бойкой торговли журналами и освещения выставки в прессе прибыли «С.А.В.» и «Радио» из Москвы, а из Петербурга – «АМ» и «Вестник А.Р.А.» От «Class'a A» фланировали лучшие представители, не выказывая, впрочем, особого интереса к происходившему.

Для духа соревновательности и высшего арбитража в особо спорных случаях, московский салон «Черная жемчужина» во главе с С. Есиным предоставил комплект зарубежной техники, за что ему особое спасибо.

И, наконец из редакции «Вестника» был привезен однотактный усилитель мощности на загадочных RB 30-ОЗСХ. Парад участников закончен, пора за работу.

Начнем с **хорошего**. Внешний вид большинства техники просто радовал глаз, с трех метров было не отличить от фирменной. Наповал убили своим обликом усилители «Natural» и «Gubin Labs». У первых это был двухтактник SA-2 на EL-34 с каким-то особым дымчатым стеклом на лицевой панели, толщиной 15-20 мм и мощными, горизонтальными несущими по бокам, выработанными из чистой латуни, отполированной до зеркального блеска. О себестоимости такой красоты лучше не упоминать. Хотя, где-нибудь в уютных покоях саудовского шейха они разместятся замечательно. Прямо скажем, Юрий Грибанов – большой эстет.

Не меньшим ценителем красоты, с космическим уклоном, оказался Игорь Губин. Он был наиболее активен на выставке и по числу моделей и по группе поддержки. Соратники его сменяли один другого, то и дело подвозя горячие еще творения. Самые убойных было три. На дизайне первого, вероятно, «оттянулись» художники-кузовщики из итальянской Pininfarina. Это уже не скучный прямоугольный ящик с лампами внутри, а обтекаемый кожух, воздухозаборники которого выложены кремниевыми пластинками. Получилась этакая рыба чешуя графитовой масти. Лампы открыты. Если откинуть скепсис, то такая форма вполне в ногу с самыми распоследними авто – хищный, боевой вид. Кабы для пущего эпатажа усилитель выкрасить в цвет Ferrari, то итальянцы непременно купили бы его для музея этой великой фирмы.

Затем к стенду было поднесено не то основание для памятника, не то крышка ломберного стола средних размеров из темно-красного дерева. Судя по лампам, прихотливо раскинувшимся полукружьем, это был усилитель. Размерами никак не меньше 1мх1м. На такой площади можно втроем, без тесноты, выпить и закусить, затем прилечь рядом и услаждать свой слух музыкой. Вполне утилитарная вещь, вовсе не для музея.

Третьим шел одноканальный на ГМ-70. Моноблок, второго правда не видели. Это был обнаженный конструктивизм конца 20-х! Прямые углы, два этажа и над всем этим вздымалось фаллическое тело нашего российского триода. Когда усилитель включили в сеть, глаз было не оторвать: в этом чудилось нечто языческое с формами Татлина и Ле Курбюзье. Держим пари, что следующая модель будет в виде «Рабочего и колхозницы» Мухомовой, вместо серпа и молота у них будет гореть русская радиолампа!

Выступила с моноблоками и Past Audio, с солидностью не меньшей, чем \$1000 за каждый ватт выходной мощности.

Валентин Костин (Валанкон, Москва) наконец-то поменял внешний вид своих преда и мощника. Забыли спросить у него, поменял ли он начинку. Снятые же кожухи открыли величественную картину – все сделано было, как в высокоразвитом индустриальном обществе. Да, за такие деньги буржуи только К!Ты продают. Не сдавайся Валентин!

Наконец, из усилительно-электронной утвари, были заметны скромные ребята из Таганрога – НПЦ «Колвир». Если большинство электроники было ламповой, то они балансировали на самой кромке передовой техники – были полностью полупроводниковыми со светодиодным оттенком и аналоговым уклоном. Перечисление их техники займет полстраницы: корректор RIAA, катушечный магнитофон, эквалайзер и полный транзисторный усилитель, акустика для домашнего театра. И все это класса Hi-End! Ко всему набору еще предлагался красивый спектроанализатор с третьоктавным разрешением по частоте и диапазоном 60 дБ. Хотя зачем он нужен в домашнем хозяйстве, осталось загадкой.

Теперь, что привлекало из акустических систем. Прежде всего питерская фирма «Звук». Т. Романова привезла хорошо известные системы «Русь», «Нева», «Лира». Белый рояльный лак «Руси» был неотразим и мы считаем, что эта акустика несправедливо замалчивается в российской прессе. Сама хозяйка (Т. Романова) с огорчением говорит, что их продукцию больше знают за рубежом, чем дома. Может быть дело в ценах?

А. Гайдаров также представил серию космического вида акустических систем. Названы они идеологом – контрапертурными. Динамики в них установлены таким образом, что вещают друг на друга. И ВЧ и НЧ. Возможно благодаря этому и обещается океанская «...глубина звуковой картинки, имитируется атмосфера зрительного зала, повышается прозрачность и разборчивость звучания». Контрапертура – слово, конечно, необычное в лексиконе Hi-End и определенно на-  
у ч н о е ,

хотя какое отношение это имеет просто к хорошему звуку – не понятно. В народе акустику фирмы «ЭРРОЛ ЛАБ» уважительно называют песочными часами. Хочется, однако, выяснить раз и навсегда, то ли время их еще не пришло, то ли кануло безвозвратно.

Это мы говорили о **хорошем**. Теперь о самой *технологии прослушивания*. Большинство участников, кроме Natural и Три-В, были вынуждены демонстрировать либо акустику, либо усилительную технику на аппаратах скорее случайных, нежели тщательно отобранных. Из-за этого, порою, возникали неадекватные оценки у слушателей и потенциальных покупателей. Винить в этом следует самих себя, а не организаторов. Нужно было появиться на выставке за день до открытия и согласовать этот вопрос. Иначе, когда перед тобой полная аудитория, а ты начинаешь ерзать по сцене и менять аппараты, то ни к чему, кроме раздражения, это не приводит. Так же и с музыкальным материалом. Чаще всего звучали до тошноты знакомые тестовые диски, известные скорее не музыкальностью своей, но холодным и отвлеченным качеством записи. В этом случае публика напоминала собой жюри, готовое вынести свой грозный вердикт. Хорошо, если кто-то из слушателей просил «сыграть» свой CD и, как правило, с хорошей музыкой. Что было неважным еще? Патологическое отсутствие какой-либо сносной информации. Кажется, фирмы решили вовсе не тратить на рекламу из принципиальных соображений. О стоимости аппаратов можно было узнать по особому секретному разрешению производителя. Создавалось впечатление, что цена формируется в момент проявления интереса к аппарату у потенциального покупателя. Как раз неплохо этот вопрос был решен у саратовского «Рефлектора», торговавшего лампами и у харьковского «George Ohm». Информация и ценники были на виду.

Теперь о главном. **Как все это звучало**. Сказать, что все плохо -

гупо. Что все хорошо – соврать про всех сразу. Нам хотелось бы отметить звук «George Ohm». Из трех заявленных моделей был привезен МХ50-1 с лучевыми тетрадами 6П41С на выходе. Мощность его – 2х45 Вт. Если не развозить киселя по поводу вовлеченности, то усилитель показался нам сильной и точной машиной. Свободно управлялся с любой акустикой, качество звуковой сцены не изменялось при форсированных уровнях, инструменты были узнаваемы. Нас могут обвинить в пристрастии, но трудно обвинить в необъективности. В самом деле, в той обстановке при ежеминутном калейдоскопе музыкальных сюжетов, аппаратов и прочих отвлекающих факторов, типа кабелей от разных фирм, как можно было настроиться на оценку музыкальности аппарата, будь то акустика, либо усилитель? Считаем, что как раз важно было дать формальную оценку параметрам более или менее известным, не требующим мучительных выслушиваний. Лишь однажды, А. Гайдаров на исходе дня попытался так сделать. Пусть у него собственная шкала оценок, это нормально, но попытка формальных определений качественных параметров выглядела очень уместно.

Из акустики заставили обратить на себя внимание системы AR Sound из КБ звукотехники «Три-В» г. Таганрога. Благодаря высокой чувствительности 92-95 дБ, системы без усилий озвучивали переглушенное помещение, когда в нем набивалось человек 50-70. Хорошим оказался их тандем с «George Ohm» сильный, хорошо очерченный бас, быстрая и легкая атака. Может быть стоило придаться к некоторой потере детальности, но это простительный недостаток. Возможно, когда братья Арзумановы перестанут всерьез заниматься чепухой типа экзотических проводов для разводки внутри ящика, вместо того, чтобы уделить должное внимание самому ящику, дело пойдет у них на лад.

Боимся допускать серьезную критику в сторону неупомянутых

участников. Она может действительно повредить им в движении найти свой звук. В целом же, называть себя Hi-End'OM при звуке, который был продемонстрирован, несколько преждевременно. Этот ребенок в России еще не родился, его нужно выносить, а для этого требуется время. Равно, как и для осознания того, какой же звук хочет каждый. На Западе ведутся дискуссии уже 4 десятка лет, у нас – едва ли лет пять. Или мы что, в очередной раз всех обогнали?

Дискуссий не получилось на научно-техническом семинаре, где вопросы казалось бы задавать положено. Во-первых, не было публики. В зале мест на 600, десяток слушателей казались просто случайными прохожими. Во-вторых, профессор, ведущий семинар, сделал все, чтобы живая беседа с разработчиками превратилась в отчетную партконференцию 37 года. В-третьих, и главных: разработчики никак не определили собственную идеологию, почему они сделали так, а не иначе. Все эти затертые слова о превосходных компонентах и высоких параметрах. Их нужно произносить перед покупателями, но не перед равными себе. Это огорчало особенно.

Беседа зала с представителями прессы просто вылилась в балаган и А. Белканов вынужден был уйти.

Вот так вкратце можно описать неделю, еще одну неделю из жизни российского Hi-End'a. Осталось под занавес сказать о самом позитивном впечатлении: это была незабываемая неделя, очень нужная для всех нас. Мы увидели, как люди готовы тратить последние деньги, но остаться с хорошим звуком. Убедились, что полку производителей отечественной техники прибывает. Наметили пути улучшения организации подобных выставок. В наше время такое героизм заслуживает особой оценки и слов благодарности как организаторам выставки, так и участникам.

*Анонимную передовицу от имени редакции написал А. Белканов.*

## ЮБИЛЕЙ ФИРМЫ «ТЕЛЕФУНКЕН»

Исполнилось 25 лет со дня основания германской радиоконпании «Телефункен». Первоначальные работы в области радиотелефонии компании «Телефункен» относятся к 1907 году, когда технические средства позволяли вести разговор только на 200 километров.

Последними достижениями «Телефункен» являются усовершенствование способа передачи изображений по радио и организация коротковолнового сообщения между Берлином и Буэнос-Айресом. Компанией «Телефункен» оборудован целый ряд радиовещательных станций и в Германии и за границей.

*Радиолобитель 1928, №7*

## ПОЧТИ КАК У НАС

Известный изобретатель радио Маркони, несмотря на свои старческие годы и подагру, совершил недавно поездку из Англии, где он проживает, в Америку. В Нью-Йорке он выступал о радиодокладом на станции WCDA, славящейся своим оригинальным правилом – никогда не передавать по радио танцевальную музыку.

*Радиолобитель 1928, №7*



# Однотактный триодный усилитель с непосредственной связью

СХЕМА LOFTIN-W/HITE

SoundPractices Sp. 1994  
Giro Marzio & Cristiano Jelasi

Отличительной чертой этого усилителя с технической точки зрения является использование непосредственных связей между каскадами, т.е. без использования трансформаторов или конденсаторов. Схема разработана на основе классической разработки Лофтина и Уайта, впервые представленной в американском журнале Radio News еще в 1929 г. Статья вызвала широкий резонанс не только из-за технических характеристик усилителя, исключительно высоких по меркам того времени, но и благодаря крайней простоте схемы.

Оригинальный усилитель L-W имел частотный диапазон 50 Гц -10000 Гц по уровню -0,5 дБ без использования обратной связи -нововведения, примененного впервые всего годом ранее. Успех этого усилителя, кроме того, был обязан и приличной выходной мощности в 3 Вт. Подобная схема быстро завоевала популярность у любителей, а также была замечена производителями, которые стали изготавливать, как законченные конструкции, так и наборы «собери сам» (kit).

В первоначальном варианте схемы L-W использовался тетрод 224 (предшественник 24-ой) во входном каскаде, и триод 250 (предшественник 50-й) – в выходном, при этом общее усиление достигало 50 дБ. Наша конструкция основана на триодных каскадах и обеспечит подходящую величину усиления для большинства стандартных источников.

Мы понимаем, что построение усилителя на основе схемотехники 60-ти летней давности многим из вас может показаться странным, но это схема и по сей день обеспечивает непревзойденное качество воспроизведения музыки. Популярность схемы

L-W очень велика среди японских аудиофилов и конструкторов и даже во Франции аудиофилы-безальтернативщики, весьма высоко ценят такие усилители за их музыкальность. По данным Jean Hiraga одного из европейских адептов этого типа усилителей, примерно 30% самодельных конструкций японцев в 70-80-ых годах были основаны на схемотехнике L-W.

## НАШ «L-W»

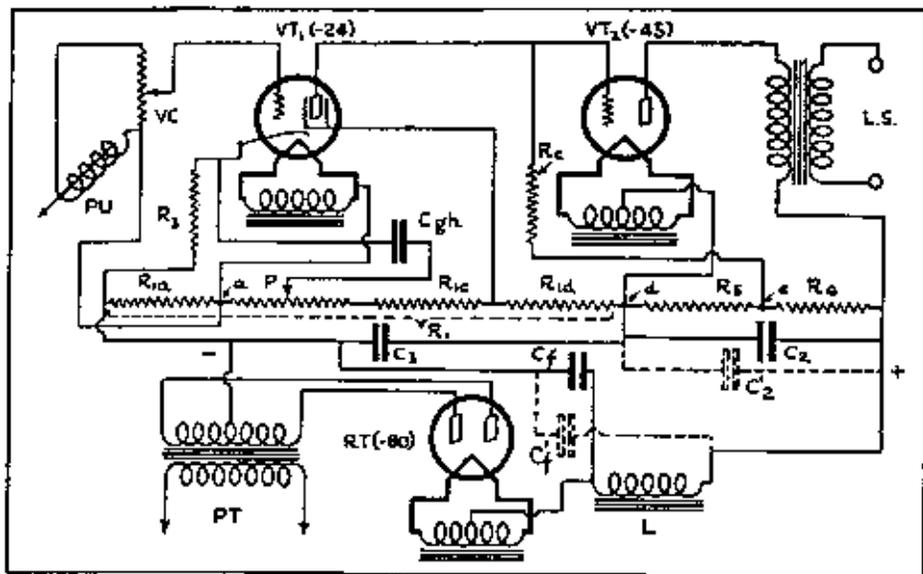
Монофонический вариант этого усилителя длительное время работал в домашнем комплекте аппаратуры одного из авторов. Он был собран для того, чтобы слушать музыку, а не для представления другим конструкторам, как законченное устройство. Наш усилитель имеет ряд специфических черт. Он сконструирован

таким образом, что может работать с лампами различных типов при минимальных изменениях в схеме. Это требует специальной намотки анодного и мажорного трансформаторов. В большинстве же случаев усилитель проектируется под определенный тип ламп. И далее его не беспокоят.

## ВЫХОДНЫЕ ЛАМПЫ

Существует ряд кандидатов для работы в выходном каскаде. Мы решили не использовать такие знаменитые триоды как Mullard PX4, Telefunken RE/604, Mazda PP3/ 250, Western Electric 275A и т.д., имеющие весьма высокие звуковые качества, но которые сложно найти.

Есть значительное число более доступных ламп, как то: 2A3, 6A3, 6B4G (различаются между собой



**Оригинальная схема Лофтина-Уайта.** Кроме желаемой частотной характеристики каскадов с непосредственными связями, схема Лофтина-Уайта обладает и экономическими достоинствами из-за отсутствия высоковольтных разделительных конденсаторов. В те годы такие конденсаторы были очень дорогостоящими элементами. В приведенной схеме дальнейшее снижение цены произошло за счет применения фильтрующих конденсаторов малой емкости (1 мкФ) и принятия специальных мер по снижению фона путем его компенсации.

только напряжениями накала и цоколями), VT52, 300B, 842, 10, 10Y, 801 A (последние три – различные варианты одной лампы), 45 и 50. Первые пять из этого списка отличаются низким внутренним сопротивлением (700-800 Ом) и хорошо работают при сопротивлении анодной на грузки 2,5 кОм. Остальные требуют более высокого сопротивления нагрузки.

В целом конструкция выходного трансформатора тем проще, чем ниже его сопротивление по первичной обмотке. Иными словами, при одинаковом качестве трансформаторов, цена их ниже при меньшем сопротивлении по первичке (даже у трансформаторов от одного изготовителя). Принимая это во внимание, мы решили остановиться на лампах с малым внутренним сопротивлением.

Старые американские лампы 45 и 50 обеспечивают высокое качество звука, но их очень трудно найти. Работа ламп китайского производства несколько хуже, но их легко достать, поскольку они производятся до сих пор.

Итак, вот наши кандидаты

2A3: имеются два варианта -относительно редкий одноанодный и более известный двуханодный. Последний, по сути, представляет собой два запараллеленных триода в одном баллоне. Одноанодные 2A3 выпускали Fivre и Bri-mar. Эти лампы отличаются большой воздушностью, гармоничностью и детальностью звука. Средние и высокие просто превосходны, а бас основателен и хорошо артикулирован. Это, действительно, один из самых музыкальных триодов прямого накала.

Версия Fivre наиболее известна из двух вариантов одноанодных 2A3. Она обладает сложной структурой катода, состоящего из 12 параллельно соединенных нитей, которые закреплены на прямоугольной раме. Некоторые считают, что прекрасным звучанием лампа обязана именно этой конструктивной особенности. Кстати, Telefunken RE604 имеет такую же конструкцию катода и является единственным триодом, способным

достичь высот одноанодных 2 A3 Fivre.

Многое из вышесказанного нельзя отнести к двуханодным версиям этой лампы: малейшая разность двух половинок, составляющих лампу, намного ухудшит звук – бас менее основательный, проработка перспективы на высоких слабее, детали не настолько сфокусированы. Короче, лампа чуть менее благозвучна.

Однако, и в этом случае, результаты будут много лучше тех, что можно получить, например, от KT88, 6550 или EL34 в триодном включении (псевдотриоде). Двуханодные 2A3 легкодоступны и по сей день производятся в Китае. Звукового различия между старыми западными образцами и современными китайскими практически не найдено. Номинальная выходная мощность составляет 3,5 Вт.

6A3 – Идентична 2A3, за исключением напряжения накала в 6,3 В, вместо 2,5 В. Существуют одноанодные варианты, как старые американские, так и современные российские.

6B4G – Идентична 6A3 во всем, кроме октального цоколя, вместо 4-х штырькового X4. Существует только в двуханодном варианте и до сих пор производится в Китае.

300B – Самый известный из триодов прямого накала. Славой своей обязан высочайшей музыкальности (производства Western Electric), которая характеризуется полнокровным, мощным, но в то же время детальным и аналитичным звуком обеспечивает драматическое воспроизведение тембра и окраски инструментов, чуть ли не на уровне одноанодных 2A3 Fivre. При этом 300B превосходит их по мощности, артикуляции и упругости нижних частот. Но, несмотря на превосходные звуковые качества, высокая цена (пара – около 1600000 ит. лир) заставляет присматриваться к другим вариантам. Собственно WE давно прекратил выпуск электронных ламп.

Версия 300B фирмы Cetron, обладая основными звуковыми особенностями WE 300B, проигрывает им в богатстве звука, гармонии и панорама. Они весьма прилично звучат, хотя цена меньшая на 40%, чем у «родной» WE, все равно остается высока.

Китайская 300B немного «слабее» Ce1гпо'овских и цена их более приемлема. Увы, их качество лишь слегка превосходит качество двуханодных 2A3. С нашей точки зрения, применение этих ламп оправдано только в тех случаях, когда необходима выходная мощность около 10 Вт.

Номинальная выходная мощность 300B составляет 17 Вт, однако WE рекомендовала их использование с мощностью 11-12 Вт (в соответствии с техническими данными WE 1459).

VT52 (45 Special) – заслужила превосходную репутацию за свою музыкальность. Очень похожа на 300B по характеру звукоизвлечения и изящности, с которой она доносит детали и нюансы музыкальных событий. Лишь солидность и артикуляция в басу чуть меньше. Увы, эту лампу сложно найти, ведь она не выпускалась уже десятилетия, (прим.: VT52 -военная лампа и точного коммерческого аналога не имеет). Номинальная мощность достигает 4,5 Вт.

## ВХОДНЫЕ ЛАМПЫ

В отношении ламп входного каскада выбор несколько проще и, на практике, может быть сведен к небольшому числу ламп:

1) группа 6DJ8; E88CC/6922

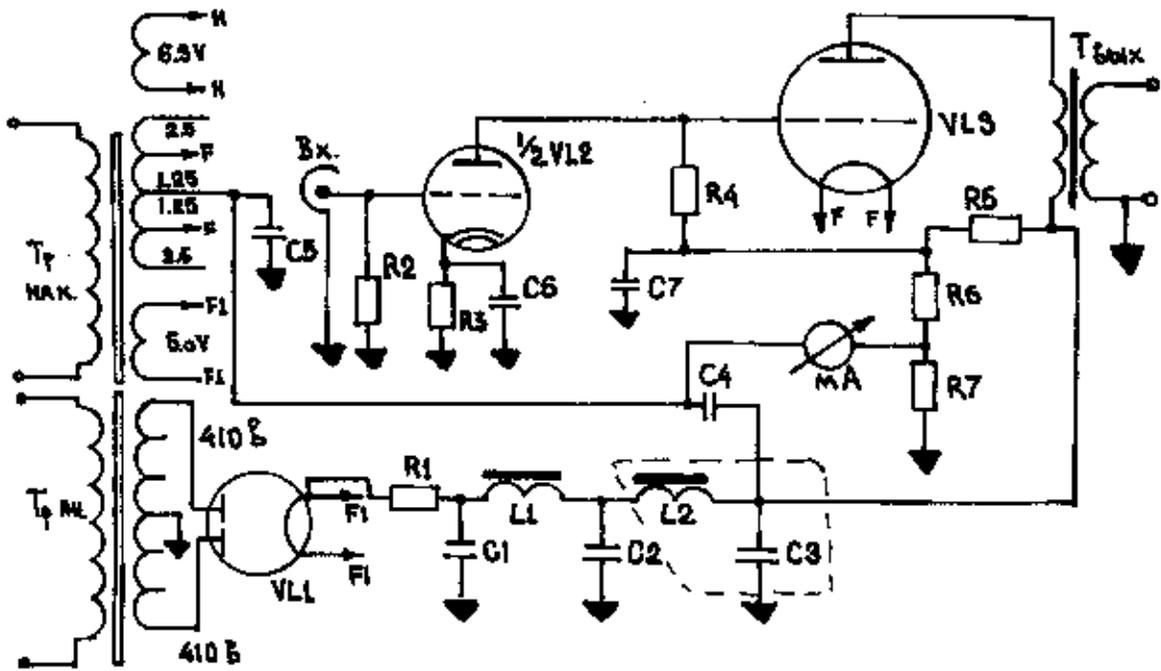
2) группа 12AX7 5751/E83CC/ 7025

Мы получили хорошие результаты с лампами от Philips, Telefunken и Mullard, но хороши будут и другие лампы подобного качества.

Если требуется значительное усиление, как, например, в случае работы усилителя непосредственно от CD или предусилителя с малым выходным напряжением, имеет смысл попробовать применить лампу 5751 ( $\mu=70$ ), а если усиления все равно не хватит, то E83CC. ( $\mu=100$ ).

Все перечисленные входные лампы являются двойными триодами, соответственно, вы можете либо вообще не использовать од-

ну половину лампы, либо запараллелить обе секции. В последнем случае



### Перечень элементов

R1	350 Ω	10 W
R2	220 к	1 W
R3	33 к (2.2 к для 6922)	1 W
R4	350 к (100 к для 6922)	2 W
R5	47 к	5 W
R6	33 к	3 W
R7	3.75 к	25 W
C1	47 мФ ПАВКАН	650 V
C2	100 мФ ПАВКАН + 0.22 В/МАСЛО + 0.022 СМОДА	650 V
C3	140 мФ ПАВКАН + 0.22 В/МАСЛО + 0.022 СМОДА	650 V
C4,5	15 мФ ПАВКАН + 0.22 В/МАСЛО + 0.022 СМОДА	400 V
C6	47 мФ ПАВКАН + 0.22 СМОДА + 0.22 В/МАСЛО	25 V
C7	15 мФ ПАВКАН + 0.22 В/МАСЛО + 0.022 СМОДА	400 V
L1,2	10 Гн	120 мА
VL1	83 (	
VL2	Е 88 СС / 6922 / 6Д18 / 6Н23П-ЕВ	
VL3	2А3 / 2А3Н / 5950 / 204С	
МА	м-амперметр 500 мА шкала	
Тран	по вторичной обм. 2х410, 450 В при токе потребления 150 мА	
Тр.ник	5 В / 35 А, 6.3 / 1А, 2х3.15 В / 3А с отводами 2х2.5 В, 2х1.25 В или что требуется.	
Т.вых	Сопротивление первичной обмотки 2500 + 3500 Ом - см. текст	

Тип	U анод	U сетки	I ма анода	Ri (Ом)	S(ма/V)	Коеф. усил.	Rн Ом	Rвых Вт									
E88CC 6922	100	-1.2	15	2,650	12,500	33											
5751	100	-1	0.9	58,000	1,200	70											
	250	-3	1.0	58,000	1,200												
E83CC	100	-1	0.5	80,000	1,250	100											
	250	-2	1.2	62,500	1,600												
2A3/ 6A3/ 6B4G	250	-45	60	800	5,250	4.2	2500	3.5									
									VT52	300	-61	44			3.8	2500	4
									300B	350	-74	60	700	5,500	3.85	3000	8.3
400	-87	60	700		3.85	3000	II										

Pin	E88CC/6922; 5751;E83CC	2A3/6A3 ; VT52;	Type	Filament Volts	Filament Current
1	plate #2	filament	E88CC/692	6.3	0.3 A
2	grid #2	plate	E83CC/12	6.3; 12.6	0.3; 0.1 5
3	cathode #2	grid	5751	6.3; 12.6	0.35; 0.1 75
4	filament	Filament	2A3	2.5	2.5
5	filament	(absent)	6A3/6B4G	6.3	1.0
6	plate #1	"	VT52	6.3	1.0
7	grid #1	"	VT52WE	7.0	1.18
8	cathode	"	300A/B	5.0	1.2
9	center tapped filament *	"	* not on 6922		

следует уменьшить величину R4 на 10 – 20%.

Каждое из этих решений имеет свои достоинства и недостатки. Параллельная работа половинок лампы уменьшает внутреннее сопротивление с последующим улучшением работы в нижнем диапазоне частот и уменьшением чувствительности к нестабильному питанию. Однако, можно констатировать, что, чем больше различия половинок лампы, тем хуже будет разрешение усилителя.

Если вы желаете использовать усилитель в широкополосной системе, запараллеливание секций входной лампы будет интересным компромиссом, особенно совместно с двуханодной 2A3, которая представляет собой два параллельно включенных триода. Используйте тщательно отобранные маломощные лампы с минимальным различием секций. Окончательное решение лучше принимать в ходе прослушивания, – и оно останется за вашим вкусом. С другой стороны, в случае, когда усилитель работает в высокочастотном звене многополосной системы, использование только одной половины, дает лучшие результаты практически всегда.

Представленная нами схема оптимизирована под использование ламп 2A3 (или аналогов), раскачиваемых E88CC. Можно применить и VT52, не забывая про различие в напряжении накала. Основная причина такого выбора – относительная доступность 2A3. Для правильной работы ламп других типов нужно слегка изменить параметры источников питания.

## ВЫХОДНОЙ ТРАНСФОРМАТОР

Пожалуй, это самый критичный элемент схемы. Качество разработки и сборки значат больше, чем точное значение сопротивления по первичной обмотке. Мы использовали 1,5 кОм-трансформатор, но вполне возможно поставить его с большим сопротивлением, вплоть до 3,5 кОм. Для усилителя такого уровня нужно отыскать компонент, который будет под стать качеству аппарата.

Учитывая высокую цену и дефицитность лучших моделей трансформаторов Tango, Magne Quest, Partridge, мы с радостью сообщаем, что хорошие выходные, анодные и нахальные трансформаторы, подходящие для нашего усилителя, производит Elettrica Brenta (Италия).

## ПАССИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

При конструировании аппаратуры, способной достигнуть вершин музыкальности, качество пассивных элементов становится важной составляющей успеха. В частности, это касается конденсаторов. Обратите внимание, что в списке компонентов электролитические конденсаторы не рекомендуются даже для фильтра питания. Мы шунтируем конденсаторы значительной емкости (за исключением C1, для которого этот момент неприципиален) слюдяными (с обкладками из серебра) или бумагомасляными. Такое решение обычно используют радикально настроенные экспериментаторы, знающие, насколько сильно эти элементы влияют на окончательный результат.

В качестве C2, C3, C4 мы взяли тефлоновые конденсаторы производства CSI. Их качество воистину «заоблачное», равно как и их цена. Кроме того, их сложно найти. По правде говоря, разница между CSI и обычными лавсановыми или бумажными конденсаторами совсем невелика, если зашунтировать их хорошими конденсаторами малой емкости. Если на CSI вы заработаете бессонницу, просто используйте тефлоновые Signalcaps или все, что душе угодно.

Мы предлагаем в первом варианте вашего усилителя применить обычные углеродистые резисторы (их преимущество – безындуктивность и весьма хорошее звучание), а в качестве резисторов большой мощности – проволочные на керамических каркасах. Многие экспериментаторы (правда не все) считают углеродистые резисторы более

музыкальными, чем металлофольговые. Проведите сами несколько тестов, чтобы определить свои предпочтения. Если почувствуете необходимость, то можете приобрести специальные (и дорогие) резисторы, такие как Caddock, Vishay или на основе танталовой фольги.

Если вы решите заменить входной резистор R1 аттенуатором, помните, что качество этого элемента окажет решающее влияние на конечный результат. Избегайте применения резисторов на основе проводящих пленок на этом участке. Значительно лучше будет применить переключатель на два направления для подключения резистора требуемой величины. В этом случае на пути сигнала будет всего один резистор, два контакта и один резистор, подключенный к «земле». Излишне говорить о том, что качество контактов должно быть очень высоким. Учитывая, что набор высококачественных переключателей увеличит стоимость аппарата на 10-30%, мы предлагаем использовать их в случае крайней необходимости регулировки входного напряжения усилителя.

Для расчета величин резисторов аттенуатора можно использовать следующие формулы:

$$R_B = R_t \cdot 10^{-A/20}$$
$$R_a = R_t - R_B$$

$R_a$  – сопротивление резистора, включенного последовательно в цепь сетки лампы V1;  $R_B$  – сопротивление резистора утечки;  $R_t$  – общее сопротивление аттенуатора;  $A$  – желаемое ослабление (в дБ).

Дискуссия, подобная той, что касалась резисторов, возможна и в отношении кабелей. Для начала мы предлагаем использовать хорошие OFC – проводники, желательно в тефлоновой изоляции для исключения случайных повреждений жалом паяльника.

Если после прослушивания усилителя вам захочется заменить проводники внутренней разводки, то можете использовать для нее экзотические кабели из бескислородного серебра или других «хитрых» материалов. Мы

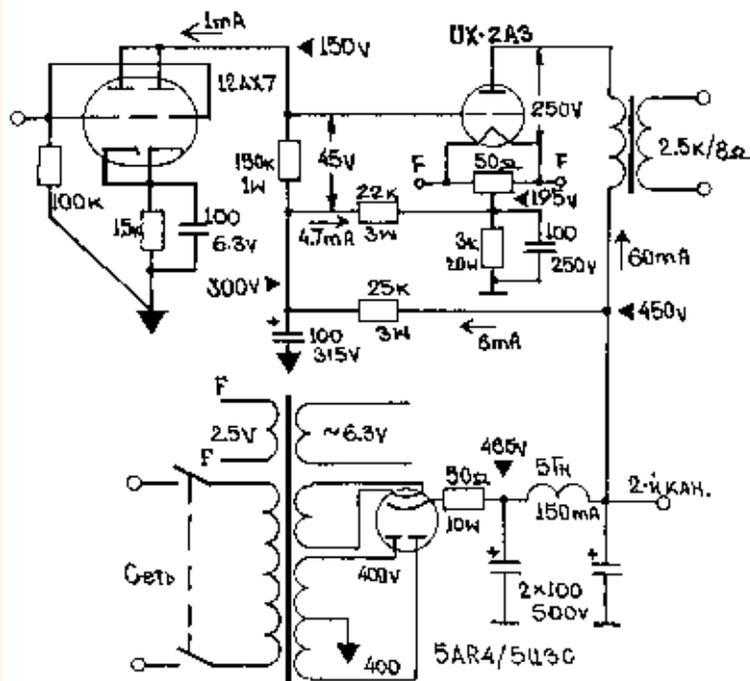


Схема Loftm-White Версии N. Shishido на 2A3.

использовали кабели для военно-космической техники из бескислородной меди, покрытой серебром. Они стоят дешевле, чем «именитые» кабели из hi-fi-магазинов и обеспечивают высокое качество звука.

Когда вы будете продумывать прокладку кабелей в усилителе не забывайте о возможности использования всех трех пространственных измерений. В отличие от печатного монтажа, где используется только два. Постарайтесь достигнуть правильного размещения кабелей с электрической точки зрения, а не с точки зрения видимой эстетики – они не всегда совпадают. Не отдавайте предпочтение «косметическим» характеристикам в ущерб достижению более важных электрических. Помните, что все земляные шины должны соединяться только в одной точке - около самого входа во избежание фона переменного тока.

## ПИТАНИЕ НАКАЛА ЛАМПЫ

Все вторичные обмотки дают напряжение переменного тока. Вторичка нашего накального трансформатора позволяет получать множество различных напряжений с заземленной средней точкой. Некоторые конструк-

торы питают цепь накала постоянным током, дабы избежать фона и для возможности стабилизации напряжения накала. Мы не обнаружили, что стабилизация напряжения накала дает существенное звуковое преимущество (разве, что в местностях, где напряжение электросети претерпевает частые и быстрые изменения), хоть и известна большая чувствительность прямонакальных ламп к изменению тока накала по сравнению с лампами косвенного накала. Какие-либо проблемы с фоном перед нами не вставали.

## АНОДНОЕ ПИТАНИЕ

Примененное нами анодное питание обеспечивается одним трансформатором со вторичной обмоткой с отводами, чтобы можно было установить требуемое питание для различных типов выходной лампы. Выпрямитель – двухполупериодный, кенотронный.

Мы предпочитаем в качестве выпрямительного элемента газотрон с ртутным наполнением 83-го типа, хотя никаких противопоказаний к использованию других типов выпрямительных элементов (GZ33, GZ34, GZ37, 5R4GY, AZ50 и др.) не имеется. Звуковые качества усилителя будут чуть различ-

ными при применении различных выпрямителей. «Идеальный» фильтр следует составить из двух секций р-фильтров, что позволяет довести уровень помех от источника питания до исчезающе малого.

Элементы, обведенные пунктирной линией, – дополнительные, и даже без них вы можете получить прекрасные звуковые свойства усилителя.

Мнения о звуковой пригодности GZ34 диаметрально противоположны. Известный журналист Jean Hiraga (редактор La Nouvelle Revue du Son и редактор L'Audiophile) считает, что присутствие этого кенотрона делает звук грубым и не очень детальным. Наоборот, авторитетный Joe Roberts считает эту лампу, в частности версию Mullard, обладающей достойным звучанием. Честно признаться, мы не горим особым энтузиазмом в отношении GZ34 и считаем, что все другие перечисленные лампы и их аналоги бесспорно лучше. В любом случае, последнее решающее слово должно принадлежать вашему слуху, если вам удастся произвести сравнение.

И, наконец, улучшить результаты может применение отдельных выпрямителей и фильтров для каждого каскада: такое решение позволяет сильно сократить паразитные межкаскадные связи через источник питания. В настоящее время у одного из нас именно так и сделано. Здесь мы не приводим схему с двойным источником питания, но можем сделать это в дальнейших статьях, если читатель проявит интерес. Увы, но с таким источником питания габариты усилителя возрастут.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПРОГРЕВ НАКАЛА

В усилителях с непосредственными связями, напряжения на электродах лампы взаимосвязаны и, следовательно, на время прогрева нитей накала смещение выходной лампы не будет соответствовать номинальному. Как следствие, мы получим значительный бросок тока через выходные лампы. Очевидно, что такое жестокое обращение с ними сокращает их срок службы. Во избежание этой проблемы,

необходимо задержать включение анодного напряжения на время полного прогрева катодов ламп.

Учитывая, что мы используем раздельные анодные на макальные трансформаторы, очевидным решением проблемы будет применение двух раздельных выключателей в цепях сетевых обмоток питающих трансформаторов.

Накальный трансформатор включают первым, а через 30–40 секунд вслед за ним анодный. Другое решение – это применение схемы задержки, рекомендуемое, в частности, для «особо безмозглых», а также тех, у кого дома маленькие дети или излишне любопытные родственники (См. «Дельные вещи» – Ред.).

## АДАПТАЦИЯ СХЕМЫ К РАЗЛИЧНЫМ КОМБИНАЦИЯМ ЛАМП

Указанные на схеме номиналы элементов соответствуют случаю применения ламп 2А3 или VT52 в паре с E88CC/6922. При использовании E83CC или 5751 во входном каскаде номиналы резисторов R5 и R6 следует увеличить вдвое. Требования к анодному напряжению также различны для различных пар ламп. Не рекомендуется увеличивать напряжение анод-катод выходной лампы выше 300 В для 2А3 или 6В46 и 330 В для VT52.

Хотя справочные данные 2А3 определяют анодное напряжение не выше 250 В в однотактном усилителе и 300 В в двухтактном, многие любители в однотактных схемах работают с 300 В на аноде без каких-либо проблем и без сокращения срока службы ламп.

Максимальная мощность рассеяния на аноде составляет 15 Вт для 2А3, 6А3 и 6В46, 18 Вт для VT52 фирмы Hytron и 15 Вт для VT52 фирмы WE и Sylvania. Напоминаем, что для определения мощности на аноде нужно перемножить анодный ток и анодное напряжение, т.е. разность потенциалов между анодом и катодом. Не пытайтесь хитрить с этими величинами;

их превышение над максимальными заметно сократит жизнь лампам.

## СИСТЕМНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ

С этим усилителем следует использовать источник сигнала и предусилитель действительно высокого качества. Учитывая его исключительную прозрачность, усилитель проявляет индивидуальные звуковые особенности всех компонентов цепи сигнала. Очевидно, что это утверждение верно и для записей: мы сами открыли для себя заново несколько записей, чье высокое качество прежде не было реализовано.

Что касается громкоговорителей, то хорошо было бы применить высокочувствительные модели, в особенности, если вы пользуетесь широкополосной системой. В многополосной усилительной системе вопрос о неискаженной выходной мощности стоит менее остро. Симбиоз такого усилителя с рупорной акустикой просто замечателен. Окраска звука в среднем диапазоне, вносимая акустикой типа Klipschorn или Altec «Voice of the Theatre», снижается до вполне приемлемого уровня. Системы тембрально ровные во всем диапазоне, приобретают необычайную прозрачность, музыкальность и реалистичность.

## К ВОПРОСУ О ПРОСЛУШИВАНИИ

Мы хорошо осознали, что мнение о звучании аппарата, написанное автором проекта, может обладать долей субъективизма, поэтому мы постарались быть беспристрастными, такими же, как и при прослушивании усилителей других конструкторов. Кроме того, наше длительное общение с этими усилителями позволяет считать, что мы знаем их особенности.

Первый вариант, который мы слушали, работал с двуханодной 2АЭ на выходе. Затем мы сравнили его с одноанодной 2А3. Усилители работали в однополосной системе совместно с самодельными громкоговорителя-

ми на основе компонентов JBI (чувствительность 95 дБ/Вт/1м, АЧХ линейна вплоть до 25 Гц (-3 дБ)). Впечатления от прослушивания приводим отдельно для каждого автора.

### Giro

#### Вариант с двуханодной 2А3

Середина воздушна и естественна, с хорошей передачей эффекта присутствия и отличной музыкальностью. Очень хорошая подача голоса, без какого-либо внутреннего напряжения и грубости. Высокие приятны и существенны, но не чрезмерно детальные. Бас основателен и хорошо артикулирован, но иногда хочется несколько большей контролируемости. Динамика и микроструктура превосходны, даже на небольшой громкости. Можно получить достаточную громкость, даже несмотря на небольшую выходную мощность. Малые составы передаются с хорошей детальностью и звуковым образом, хотя есть некоторые трудности в распознавании отдельных инструментов больших оркестров, в особенности на динамичных пассажах.

Музыкальность, гармоничность на уровне выше среднего. В системе bi-amping (двухполосной) при работе усилителя в СЧ-ВЧ звене, результат несколько лучше. Когда от усилителя не требуют воспроизведения полного звукового диапазона, он доносит музыкальность и естественность игры большого оркестра и с легкостью прорисовывает самые драматические нюансы музыкальной ткани.

#### Вариант с одноанодной 2А3

Ощущение, будто подняли занавес – и звуковая сцена, уже до того чистая и высокого качества, дополняется деталями и цветами, которые сначала были недоступны восприятию. Хорошая фокусировка образов, инструменты имеют превосходно проработанные контрасты и прямо-таки осязаемы. Середина и верх сверкающе-прозрачны, а подача низов основательна и чувствительна.

Возможно, бас не настолько контролируем и очерчен, как в вашем лучшем «твердотельном»

усилителе, но этот аппарат предлагает артикуляцию, богатство тембра и исключительную естественность, практически не уступающие легендарному звучанию ламп 300В, 845 или 211 на низких частотах.

Перкуссии и переходы отличной верности и естественности. Музыканты живые и присутствуют на сцене; можно чувствовать их дыхание и движения. Динамика и микроструктура на небывалой высоте, а субъективное восприятие громкости несколько превосходит таковой для лампы с двумя секциями.

Большой оркестр передается естественно, с замечательной интроспективной и отличной пространственной перспективой -чувствуются не только инструменты на ясной и широкой сцене за акустикой, но и расстояние между инструментами. Единственный недостаток – не всегда хватает мощности для гарантированного реального уровня громкости при воспроизведении наиболее мощных органических аккордов. Однако, это не проблема при использовании высокочувствительной акустики типа Klipschorn.

В системе bi-amping все улучшается, с легкостью решаются проблемы с выходной мощностью и небольшими потерями основательности в нижнем диапазоне. В результате получается подлинный реализм воспроизведения и истинное наслаждение от прослушивания.

### **Cristfano**

В этом усилителе меня потрясла в первую очередь его музыкальность. Многие часы прослушивания различных жанров ни на йоту не утомляют вас. Стереокартинка очень точна, а одноанодные 2А3 существенно расширяют сцену за громкоговорителями, восстанавливая естественные глубину и ширину образов. С этой точки зрения двуханодные 2А3 чуточку хуже.

Способности к передаче пространства очень высоки. Я обнаружил, что на некоторых практически «не слышимых» записях можно определить, что музыканты живы, в частности, дышат;

пианист время от времени нажимает педали; контрабасист осторожно перемещает подушечки пальцев по струнам. Невозможно описать словами все испытанные чувства. Не единожды, слушая музыку с закрытыми глазами, затем открывая их, я удивлялся тому, что нахожусь не перед оркестром, а перед стереосистемой. Этого никогда не случалось при прослушивании музыки через другие усилители, в том числе и известные, например, Audio Re-search Classic 60. Наверное, это самое главное достоинство прямоанодных одноанодных триодов – способность заставить вас забыть о том, что вы слушаете всего лишь запись. Короче, это исполнение мечты каждого истинного аудиофила.

Лишь один отрицательный момент: с той исключительной точностью, с которой усилитель Лоф-тина-Уайта передает сигнал, он также беспристрастно выявляет любые дефекты в остальных звеньях тракта. С другой стороны, он весьма критичен к типу акустики и ее чувствительности.

## **ВЫВОДЫ**

В конце такого длинного рассказа мы можем подытожить наши впечатления словами глубокого удовлетворения. Эти усилители не только позволяют получить превосходную музыкальность, но и просты в изготовлении. Они ответят и на другие вопросы, касающиеся современного возрождения триодных усилителей, в частности об их способности выявить достоинства высокочувствительной акустики.

Если приглядеться повнимательнее, то можно обнаружить, что высокочувствительные АС распространены гораздо шире, чем можно понять из современных аудио-журналов. Увы, сегодня на рынке имеется лишь несколько моделей таких АС. Однако, многие любители используют самодельные конструкции или старые модели акустики с маломощными лампами усилителями.

Игнорируйте моду, диктуемую

массовым производством. Для достижения настоящего наслаждения от музыки нет ничего лучше, чем изготовить пару триодных моноблоков и установить пару чувствительных колонок. Слушайте и получайте удовольствие!

### **ОТ РЕДАКЦИИ**

Существенные трудности у отечественных самодельщиков вызывает отсутствие таблиц аналогов импортных и отечественных ламп. На сегодняшний день в России имеются аналоги практически всем выпущенным на Западе лампам, либо со своими (ГОСТ-овскими), либо с фирменными наименованиями.

Итак, выходные лампы: **2А3**: 2А3 (до 1950 г.); 2С4С; 6В4G; 6А3 (до 1950 г.); 6С4С **VT52**: УО186 (до 1950г.) **300В**: М456 (до 1950 г.); 300В (современные)  
Лампы входного каскада: **Е88СС**: 6Н23П; 6Н23П-Е **5751**: 6Н10С (октальная); 6Н9С (приближенный аналог, октальная) **Е83СС**: 6Н2П; 6Н2П-Е; 6Н9С (приближенный аналог)

Выпрямитель: **83**: ГР1-0,25/1,5 (приближенный аналог)  
вакуумные кенотроны: 5Ц3С, 5Ц4С, 5Ц9С.

Конденсаторы в сигнальных цепях (С5, С6, С7, С4), принимая во внимание их значительную емкость, лучше всего использовать бумажные с вазелиновой пропиткой типа МБГЧ или полипропиленовые К78-24. Шунтирующие емкости – К40У-9 (бумага в масле) и СГМ-3 (слюда с серебряными обкладками).

Емкости типа МБГО с односторонним лаковым покрытием бумаги несколько хуже (больше ток утечки, ТКЕ и нелинейность зависимости емкости от приложенного напряжения).

Отечественные углеродистые резисторы – ВС, УЛ, УЛИ или бороуглеродистые БЛП, обладающие крайне низким ТКС и шумами.

# БЫТЬ ИЛИ НЕ БЫТЬ ЛИНЕЙНЫМ (Выходной трансформатор для однотактника)

## ЧАСТЬ II (ОКОНЧАНИЕ). DR. TOM HODGSON

Sound Practices № 10.



Продолжаю свои заметки, начатые в S.P. № 5, о пионерских работах Парtridge по искажениям в выходных трансформаторах. Вкратце напомню смысл первой части: д-р Парtridge в конце 30-х был захвачен идеей выходного трансформатора (OT-Output transformer) для PP (push-pull) с воздушным зазором. Этот зазор уменьшал индуктивность первички, оттого габариты сердечника были существенно больше. Трансформатор его разработки для 10-ваттного двухтактника Уильямсона\*, с КТ-66 на выходе, включенных триодами, весил 14 фунтов при Ш-железе и 10 фунтов при стержневой конструкции сердечника.

Он показал, что искажения, вносимые OT максимальны на низких частотах и даже пытался ввести индексы для трансформаторов, путем измерения индуктивности на сетевой частоте, удобных при расчете для получения возможно большей мощности.\*\* Им был поставлен вопрос об измерении искажений формы сигнала на частотах гораздо ниже общепринятых, где АЧХ линейна, так как продукты нечетного порядка буквально топили сигналы основного тона в области низких частот.

Меня привлекла та часть его работ, в которой сказано: «... вместо того, чтобы иметь индуктивность, в громадной степени изменяющуюся от приложенного сигнала, умнее будет, чтобы в трансформаторе с зазором (хотя и большем по размерам) эта индуктивность оставалась бы без

существенных изменений.» После этого он посчитал, что таким образом обеспечив сравнительно низкие искажения в OT, следует поближе рассмотреть схему выходного каскада. По его теории выходило, что внутреннее сопротивление выходной лампы (или ламп) главным образом влияет на искажения по напряжению на выходе трансформатора. Так что триоды с RJ порядка 1 кОм выглядят предпочтительнее пентодов, внутреннее сопротивление которых порядка 10 кОм.

Моя первая статья касалась приложения идей Парtridge к однотактным трансформаторам и в особенности кривых намагничивания для сердечников с зазором и без зазора. При ее написании я пытался найти простейший метод описания электромагнитных сложностей в SE трансформаторе и выяснить, почему однотактники так звучат. Моя точка зрения изложена ниже, вместе с проведенными магнитными измерениями на паре трансформаторов, любезно представленных мне Майком ля Февром (Magnequest) и Питером Квортрупом (Audio Note). Был также обмерен трансформатор с посредственными характеристиками.

Главное, что требуется от трансформатора это, чтоб он был линейным устройством. Давайте посмотрим на его магнитные свойства с точки зрения выходного напряжения  $U$  (подобно индукции/плотности магнитного потока  $B$ ) в зависимости от входного параметра – тока  $I$

(подобно намагничивающей силе  $H$ ). График будет подобен сквозной характеристике (зависимость вход/выход), присущей многим электронным устройствам. На Рис. 1 представлена начальная петля гистерезиса для современных типов кремнистого железа, применяемого для OT без зазора. Характеристика, как видим, далека от линейной. На малых уровнях усилитель будет иметь резко выраженные нечетные искажения (типа ступеньки). На самых высоких амплитудах, что соответствует магнитному насыщению сердечника (при индукции порядка 15 кГаусс), усилитель станет клипировать опять-таки с большим уровнем нечетных гармоник.

Заметьте, что значения тока, отложенные на горизонтальной шкале, всего несколько миллиампер. И этого достаточно, чтобы вогнать трансформатор в насы-

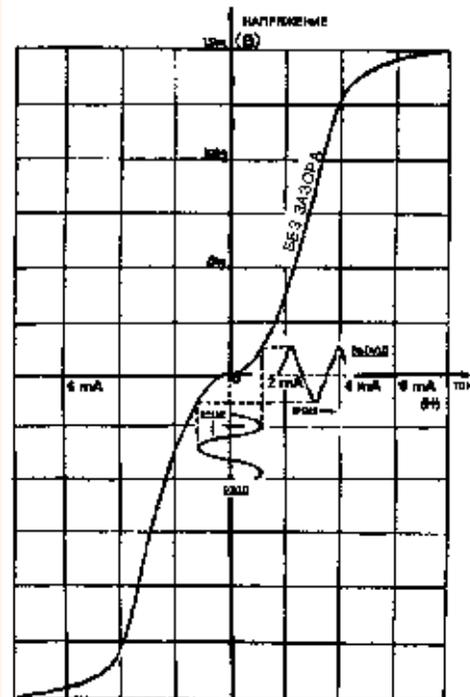


Рис. 1. Сквозная характеристика вход/выход петли гистерезиса ( $BH$ ) для двухтактного OT без зазора.

\* Возможно это был все-таки усилитель Cocking'a, так как схема Уильямсона была опубликована после смерти Парtridge. Ред.

\*\* Такие данные можно отыскать в книге Цыкина ... «Трансформаторы усилителей низкой частоты» за 1937 г. Ред

\*\*\* 20-20 Plus – серия выходных PP трансформаторов ф. Peerless, известных своим упомогаательным коэффициентом качества – 75000. Ред.

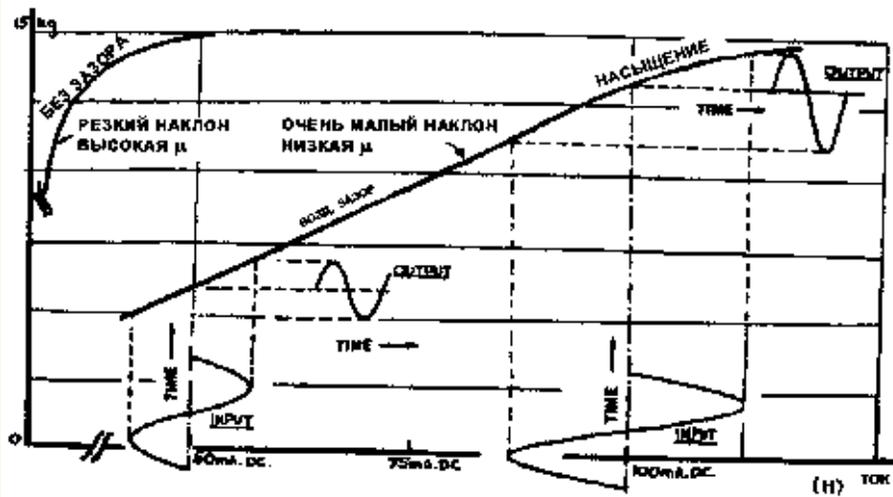


Рис. 2. Сквозная характеристика вход/выход петли гистерезиса (BH) для однотактного ОТ с зазором. (Отметьте растянутую шкалу по оси x).

щение. Воздушный зазор, предложенный Парtridgeм, пластины из пермаллоя попеременно с обычным железом у 20-20 Plus\*\*\* (спасибо ля Февру за историческую справку о фирме Peerless), все это предназначено для линейризации гистерезиса в PP выходном трансформаторе.

На Рис. 2 показана часть петли гистерезиса для однотактного трансформатора с зазором 0,006 дюйма (примерно 0,2 мм) или чуть больше того.

Можно сказать, что к зазору «приложен» ток подмагничивания и при его увеличении (тока), рабочая точка с входным сигналом все более смещается вправо. Изначально я выбрал значение постоянного тока в 50 мА, как весьма типичное для одно-тактных усилителей. На Рис. 2 показана также (в едином масштабе) и петля для сердечника, не имеющего зазор, то есть с высокой магнитной проницаемостью  $\mu$ . Так что можно сразу оценить, как происходит линейризация магнитной характеристики в однотактном трансформаторе.

Как уже было отмечено в части I, SE выглядят очень привлекательно из-за отсутствия проблем с балансировкой по постоянному и переменному току, что является главной головной болью в PP. Однако, и в SE возникают свои проблемы, так как с увеличением зазора (положительный, линейрирующий эффект) автоматически требует-

ся и больший постоянный ток подмагничивания, дабы вывести рабочую точку на требуемую величину В (не забудьте, что плотность магнитного потока отвечает за величину выходного напряжения). С падением  $\mu$  (уменьшение наклона петли) также падает и индуктивность при данных витках первички и сечении железа. Так что мы должны иметь существенно больший трансформатор, чем для PP, если хотим иметь одинаковую индуктивность. Обычно, при одинаковых моточных данных и сечении железа, SE имеют индуктивность, равную одной трети от PP.

На Рис. 2 можно ясно увидеть линейность выходного сигнала в зависимости от входного, наложенного на 50 тА подмагничивания. Это примерно равно магнитной индукции в 8 кГс (0,8 Т) с качанием сигнала относительно средней точки в  $\pm 0,5$  кГс.

Заметьте, однако, что мы не можем произвольно увеличивать 10 – ток через лампу, так как выходной сигнал начнет испытывать искажения, благодаря насыщению. Посмотрите, что происходит при 10=100mA; искажения будут главным образом второго порядка. Насколько это нежелательно, увидите ниже. Из этого поверхностного обзора моих измерений не сложно сделать выводы.

Нам нужно, чтобы выходной трансформатор SE был так называемой линейной индуктивностью

или дросселем, если хотите. То есть линия BH должна представлять собой прямую, чтобы индуктивность не изменялась от амплитуды сигнала. И лучше, чтоб она оставалась постоянной во всем диапазоне токов, идущих через лампу.

Эти требования наглядно представлены на Рис. 3 и 4 для трансформаторов Magnequest FS030 3 кОм и Audio Note 25 w 2,5 кОм, естественно однотактных. В соответствии с рекомендациями Парtridge, я подавал напряжение сети (60 Гц) от ЛАТ-Ра с ничтожным выходным сопротивлением. Замеряя ток по первичке и напряжения по входу и выходу, получил значения индукции В. Картинки взяты с экрана осциллографа. Все соответствовало процедуре измерений, указанных в справочниках по магнитным материалам: амплитудные качания В были порядка 15% от значения индукции по постоянному току (это огромные амплитуды, так как поданное напряжение было равно 141 V RMS, что соответствует  $\pm 200$  V по амплитуде). Это, по крайней мере, вдвое больше, чем при работе с триодом 300В, так что любое проявление нелинейности сразу бы стало заметно.

Нет сомнений, что представленные трансформаторы являются линейными индуктивностями, даже когда токи подмагничивания были по крайней мере на 50% больше того значения, которое предназначалось для работы их в усилителях. Magnequest показал даже более консервативные результаты (т.е. с большим запасом) против того, на что он был нормирован. Даже при явно избыточных значениях  $I_0$ , трансформаторы показали лишь слабое скругление характеристики BH (2-я гармоника). И не забудьте, что в реальных условиях вы никогда не станете терзать трансформаторы по переменному току, как это сделал я при тестировании. Оба два – прекрасные устройства.

Следуя Парtridge, я вычислил искажения по выходному напряжению при нормированных  $I_0$  значениях для каждого транс-

форматора (60 mA – Magnequest и 90 mA Audio Note). В обоих случаях искажения не превышали 0,1% при работе с 300В. При обычной громкости, то есть мощности не превышающей 3-5 Вт, искажения будут вероятно меньше 0,02%. Таким образом, с моей точки зрения, хорошо сконструированные ОТ SE не создают искажений при работе обычными нормальными нагрузками.

Чтобы далее продемонстрировать, насколько SE трансформаторы линейны, привожу графики индуктивности первичной обмотки в зависимости от постоянного тока через выходную лампу (Рис. 5) и от эффективного напряжения на концах обмотки (Рис. 6). Результаты уже сами по себе объясняют многое и дают ответ на часто задаваемый вопрос о том, с каким током лампы должен работать тот или иной трансформатор? Надеюсь, мои измерения, наконец, убедили вас, что данные ОТ есть линейные дроссели (индуктивности) для работы, скажем, с 300В. Искажения, хоть сколько-нибудь ощутимые, порождены выходной лампой. Доказать это и было смыслом работ Парtridge.

Не жалко повторить еще раз, что оба трансформатора превосходны.

Так что же ожидать от SE трансформатора хорошего качества? Впервые я хотел бы дать комментарии в отношении индуктивности первички, размеров сердечника и частоты среза в НЧ области. В справочнике Sturley «Radio Receiver Design» часть вторая, дана формула для частоты по уровню -2 дБ:

$$f_{-2дБ} = 2R_1/2\pi L_1 \text{ ****}$$

Для триода 300В  $R_1=750$  Ом, при  $L=30$  Гн получим  $f_{-2дБ} = 8$  Гц Думаю, что теперь стало понятно, отчего низкочастотность одноконтника стоит немалых денег.

\*\*\*\* Формула происходит из требования:  $2\pi f_1 L_1 = 2 + 3R_1$ , отсюда

$$f_{-2дБ} = 2 + 3R_1/2\pi L_1 = 0,32 + 0,47R_1/L_1 \text{ Ред.}$$

Пусть ученые от электромагнетизма простят мне незнание автора эмпирической формулы, которую я привожу ниже. Если вес трансформатора в фунтах помножить на значение индуктивности первички, то получим примерный качественный показатель, выраженный в долларах. Для Magnequest он равен 352 при стоимости трансформатора \$300. Для трансформатора Audio Note – 176 при цене в \$150. (В самом деле, вес трансформатора приближенно определен массой железа и количеством медной проволоки, уложенной в витки обмоток). При ценах на трансформаторы на сегодняшний день этот «показатель качества» равен 1-2 при использовании кремнистого железа. Меньшая цифра для прочей экзотики.

Чтобы иметь представление об образчике «плохонького» транс, на Рис. 7 даны кривые ВН при разных токах 10. Сам он нормирован на 75 mA с индуктивностью 54 Гн, весит 8,6 фунта с сечением стали в катушке всего лишь 1,5x1,5 дюйма (1 дюйм = 2,54 см). Как его можно применять, если стоит он только \$80? Наш показатель равен  $54 \times 8,6/80 = 5,8!$  Вот это покупка! Купили рублей на пяток. Теперь глянем на кривые ВН Рис. 7. Очевидно, на 60 Гц искажения на второй гармонике превысят 1% (при  $I_0=75$  mA), что даст на выходе ясно слышимый сигнал двойной частоты и мутный, темный звук. Что же стало причиной?

Легко ответить на вопрос, почему не получить такое значение индуктивности при столь ма-

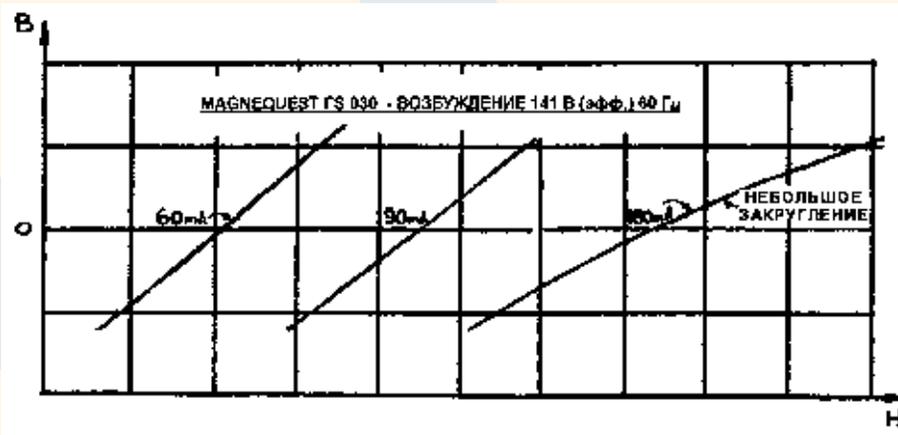


Рис.3. Magnequest FS030 – Стоимость \$300,  $2=3$  кОм, Вес=11 фунтов ( 5 кг),  $I_0=60$  mA, размеры сердечника 1,5"x2,25". Индуктивность первичной обмотки  $L=32$  Гн.

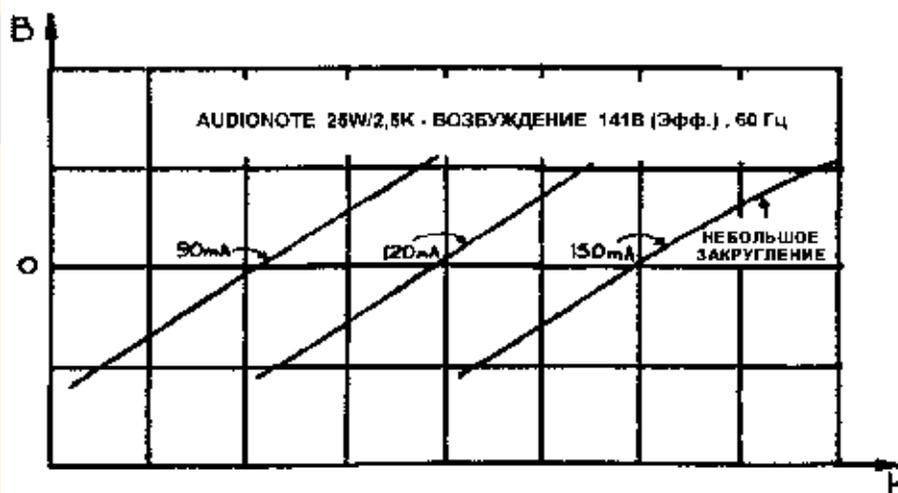


Рис. 4. Audio Note 25W – Стоимость \$150,  $2=2,5$  кОм, Вес=8,8 фунтов,  $I_0=90$  mA, размеры сердечника=1,5"x1,75". Индуктивность первичной обмотки  $L=20$  Гн.

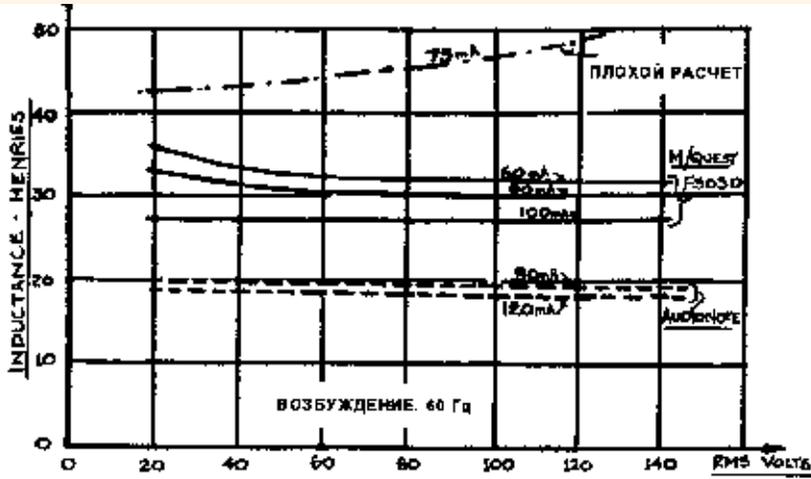


Рис. 5. Зависимость индуктивности для заданных значений  $I_0$  от напряжения возбуждения (Уэфф).

лом сечении железа. Но при небольшом увеличении зазора, индуктивность упала до 38 Гн, а трансформатор стал вполне линейным. Для 54 Гн нужно уложить огромное количество витков и это не пройдет безнаказанно.

Активные сопротивления по меди первичной и вторичной обмоток приведут к повышению коэффициента потерь. Имейте в виду, что 1 дБ потеря не выглядит устрашающей цифрой, но ведь это 20% мощности от вашей 300В (т.е. вместо возможных 10 Вт, вы получите 8 Вт). Как правило, типичной приемлемой цифрой будет <math><0,5 \text{ дБ} \approx 10\%</math>. Так что при достижении большой индуктивности только количеством витков в обмотках не обойтись.

Эти соображения приводят к вопросу о сопротивлении нагрузки для выходной лампы. Значения 2,5-3 кОм предпочтительны для разработчика трансформаторов, так витков меньше, а диаметр провода может быть взят больше (против 5-7 кОм и даже выше). С этой точки зрения выглядит разумным параллельное соединение 300В. Выходной трансформатор однотактного Оп-gaku с приведенным сопротивлением по первичке 16кОм должно быть является произведением искусства, правда, как я уже говорил, он начинает «валить» частотную характеристику выше 2 кГц. Так что, оставьте это дело профессионалам и экспертам. А мои заметки, я надеюсь, помогут вам сделать правильный выбор.

Естественно, остальные параметры, к примеру, частотная характеристика, не менее важны, хотя я и кинулся вначале обсуждать линейность трансформатора на низких частотах, где проблемы наиболее заметны. Разработчики SE трансформаторов для достижения приличной характеристики на ВЧ вынуждены изощряться гораздо больше, чем PP, так как у них нет возможности применять технологии, принятые при разработке двухтактных трансформаторов.

Я измерил частотные характеристики обоих трансформаторов, используя генератор с последовательно включенным резистором 1 кОм и напряжением 5 В (эффективного значения -RMS) с нормированным значением тока подмагничивания (строго говоря, для измерений нужно использовать выходную лампу). Оба трансформатора начали «валить» высокие на 35 кГц. Magnequest имел «полку» вплоть до 20 Гц (благодаря более высокой индуктивности), в то время, как Audio Note на этой частоте имел завал в 1,5 дБ. Я также наблюдаю фигуры Лиссажу на осциллографе, чтобы проверить фазовую характеристику на высоких и низких частотах. Углы полностью соответствовали АЧХ и ничего необычного я не увидел.

Я продолжаю убеждаться в том, что главным преимуществом SE является превосходная линейность на малых уровнях. Объясняет ли эта техническая особенность ту великолепную музыкальность и высокое разреше-

ние, что закрепилось за однотактниками? На краях частотного диапазона здесь могут быть определенные проблемы, так что предпочтение отдается рупорным громкоговорителям. Я до сих пор надеюсь на то, что читатели SP (Sound Practices, откуда и родом эта статья – Ред.) изложат свое мнение по этому поводу, так как приобретают все больший опыт при прослушивании однотактников.

Читая журнал между строк, я отметил рекомендации по применению двухтактных усилителей с ООС для субвуферов и однотактников для большей части музыкального диапазона (если вы, конечно, не пользуете К-рупоры или головки Lowther). Ранее я слышал классные SE усилители в паре с оригинальными рупорами Voigt'a (Войта или Фохта, кто как прочтет). Так вот, бас был более выпуклым и рельефным в срав-

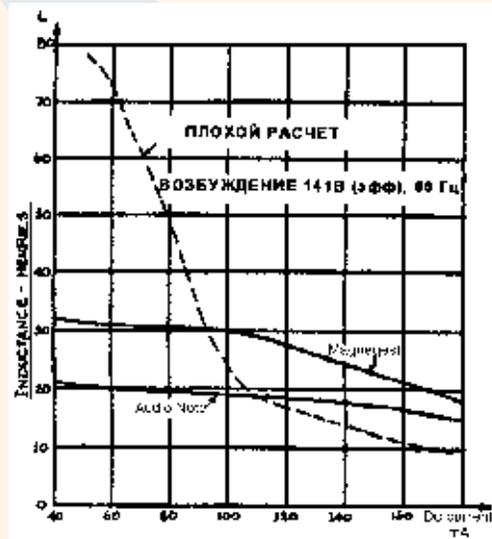


Рис. 6. Зависимость индуктивности при возбуждении 141В 60 Гц при различных токах подмагничивания.



Рис. 7. Кривые ВН при различных токах подмагничивания. Стоимость \$80, 2=3 кОм, Вес=8,6 фунтов, 10\*75 т, размеры сердечника 1,5\*1,5". Индуктивность L=54 Гн.

нении с очень хорошим двухтактником. Однотактники выявляли больше «присутствия исполнителя» и больше глубины сцены. Возможно, что самые ощутимые различия исходят от применения триодов на выходе и искажений 2-го порядка, присущих характеристике передачи. Но только не из-за выходного трансформатора!

Теперь-то мы знаем, что великие недостатки существующего формата CD, то есть потеря разрешения на малых уровнях и жесткость на слух, произошли благодаря миллионам\*\*\*\*\* интермодуляционных продуктов (спа-

сибо Кейту Джонсону из Pacific Microsonic за его просветительские интервью). Может ли кто-либо из «виниловых экспертов», практикующих в настоящее время, ответить на вопрос, каким образом творцы великих LP добивались глубины, несмотря на тот факт, что ранние стерео-записи на низких частотах были чистейшими моно? Когда я узнаю ответ, я, быть может, стану R.I.P., но пока я просто слушаю музыку.

*Перевод выполнен Белкановым А.Н.*



\*\*\*\*\* Цифра, очень любимая американцами. Когда очень много, они говорят – зиллион, Ред.

в них ввинтить шипы. Мрамор хорошо обрабатывается обычным (если хотите, победитовым) сверлом с водой.

3. В результате получаются независимые стойки под каждый аппарат, разнесенные друг от друга (См. Рис.).

4. Общий вес конструкции около 50 кг. Касаемо материалов, если не приобрести мрамор, то можно употребить толстую (20 мм) фанеру, но основание должно быть все-таки массивным. Общие затраты встали мне в \$130. В магазинах же, самая простая «этажерка» от \$250, да плюс советы, как и где, какой аппарат раз-

местить, что для моей полки безразлично.

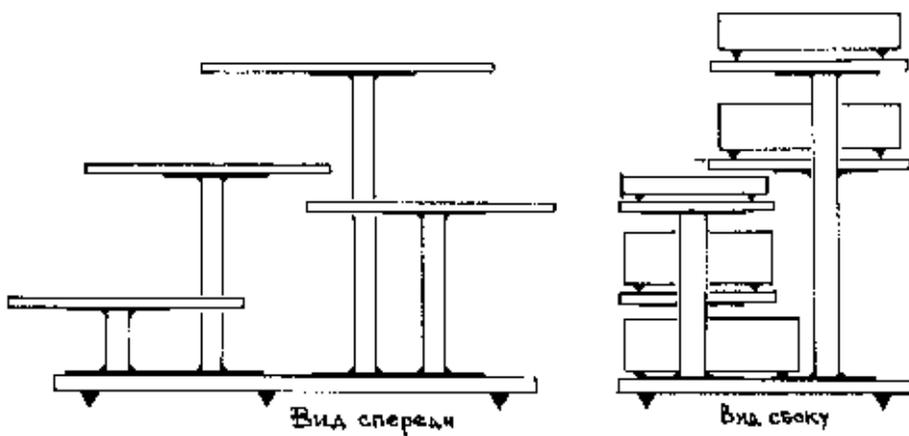
Максим. С.-Петербург.

А что, и вправду не сложно. Каждую трубу можно засыпать песком, через отверстие во фланце и таким образом «настроить» каждый аппарат. Соединять их между собой тоже просто, подход к тыльной стороне – удобен. По мнению автора: «...из-за независимых вибраций и шипов под каждым аппаратом, акустическая ОС подавлена и микрофонный эффект полностью отсутствует». В самом деле – попробуйте. Спасибо, Максим! – Ред.

«...Предлагаю конструкцию аудиостойки, вернее саму идею, так как размеры, форма и материалы – дело выбора каждого. Предупреждаю, что при всей своей нетрадиционности, она занимает вдвое больший объем, чем обычная «этажерка». Вот она какая:

1. Основание изготовлено из мраморной плиты, толщиной 30 мм. Размеры ее – 600x450 мм. Под аппаратами применены стандартные мраморные плиты (полированные), размером 300x500x18 мм. Опоры под каждую выполнены из трубы (стальной) круглого, либо прямоугольного сечения 060 (40x60) с толщиной стенки 2 мм. К торцам трубы приварены стальные фланцы 150x150x3 мм.

2. Для крепления фланцев, в мраморе сверлятся отверстия под гайку М6 (не сквозные) и заливаются эпоксидной смолой. В нижней плите также устанавливаются гайки, чтобы потом



# ОДНОТАКТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ НА ЛАМПЕ 807

## (средство от триодной лихорадки?)

### G. RANKIN, WAVELENGTH AUDIO



\*. SP Fall '92

Мне хотелось бы начать рассказ с того, что существует идея, показавшая себя с наилучшей стороны – это разработка аппаратуры без предубеждений. Почему? Я занимаюсь подобными вещами уже свыше 15 лет и часто слышал, как любой конструктор превозносит свои достижения и преуменьшает просчеты. В том числе и я сам. Позже я подходил к разработке аудиотехники без общепринятых предубеждений, и мои экспериментальные образцы показали прекрасные результаты.

Одна из причин, по которой многие разработчики имеют какие-то предпочтительные решения, состоит в том, что есть вещи, которые они испробовали на практике и добились определенного успеха, и есть вещи, которые они вообще не пробовали. Зачастую, та или иная схемотехника или идеология получают ярлык «неудачных» без существенных на то оснований только из-за оброненного кем-то слова. Иногда репутация схемного решения не зависит от его истинного качества. Некоторые технологии сохраняют плохое или доброе имя многие годы, совершенно того не заслуживая. Никто не испытал всего и стоит задуматься, почему же мы стараемся обходить стороной те решения, которые не испробовали сами по тем или иным причинам.

Размышляя над схемами однокатных усилителей, я с удивлением задаю вопрос: «почему они не применяют пентодов?». Ведь, например, несколько пентодных двухтактных усилителей, ранее мною разработанных, прекрасно функционируют. Неужели в наши дни «триодной лихорадки» добрый старый слуга-пентод заслужил себе плохую репутацию.

Так или иначе, я стал размышлять о том, каким может быть звучание хорошего пентодного однокатника. Никто из моих знакомых такового не слышал. «Это уже история» – говорили они.

Преимущества пентодов просты и очевидны. Высокая чувствительность по входу и эффективность позволяют без особых ухищрений разработать жизнеспособный двухкаскадный усилитель. «Запросы» сеточной цепи пентода весьма умеренны и в качестве первого каскада можно использовать великолепно звучащие триоды с малым значением  $\mu$ . Выходная мощность пентодного каскада несколько больше, чем у типового триодного, скажем на 300В, даже без использования генераторных ламп и высоких анодных напряжений. Например, от однокатного каскада на двух параллельных лампах 6550 запросто можно получить до 30 Вт выходной мощности.

Правда, пентоды в отличие от триодов не обладают низким внутренним сопротивлением, но ведь мы ведем речь только о работе в абсолютном классе А. Что же касается преимуществ триодов в плане гармонического состава продуктов искажений, то я могу сказать следующее: независимо от того, какую лампу мы применяем в выходном каскаде, однокатный усилитель не подавляет четные гармоники, в отличие от двухтактного. Может быть магия однокатных триодных усилителей в большей степени обязана их однокатности, чем триодности? Может быть те самые четные гармоники можно получить и от пентодов?

Когда мы приступаем к какой-либо разработке, нужно задать некие исходные условия, которые позволят определить оставшиеся

неизвестные величины. Для начала я решил, что желательно получить 10 Вт выходной мощности. Эта величина в известной степени произвольна и я выбрал ее из соображений достаточности для моих AC Pro Ac. Такая мощность вполне по силам пентодному однокатнику при сохранении простоты схемы. В результате, я решил делать стереоусилитель с общим источником питания для упрощения конструкции и снижения стоимости.

Мой усилитель, в отличие от триодных на 300В, использует дешевые и общедоступные лампы. Я остановил свой выбор на скромно замалчиваемой (с точки зрения high-end audio), но очень доступной лампе 807(1). В продаже имеется огромное количество 807-х, несравнимо большее числа аппаратов, их применяющих. 807-я стала первым и последним выбором для моего усилителя и полностью оправдала возлагавшиеся надежды. В справочниках эту лампу называют лучевым тетродом, но часто обозначают как пентод с антидинаatronной сеткой. Поэтому будем считать ее пентодом и примемся за работу.

В процессе работы над схемой пентодного усилителя мне стало ясно – схеме требуется некоторая обратная связь (либо общая, либо местная в выходном каскаде). Общая ООС в однокатном усилителе с хорошим выходным трансформатором, на мой взгляд, будет похожа на жалкую пародию. Я использовал трансформаторы разработки Magne Quest значительных габаритов и, с большой индуктивностью первичной обмотки. Однако, если эта индуктивность невелика, то, возможно, придется использовать общую ООС для

расширения частотного диапазона на низких.

Я планировал ввести в выходном каскаде местную ООС глубиной несколько дБ с помощью нешунтированной конденсатором части катодного сопротивления. Выяснилось, что определенная глубина местной ООС оказывает заметное влияние на стабильность и звучание хорошего пентодного усилителя. Местная ООС создается током, протекающим через нешунтированную часть катодного резистора. Как указано в «Radiotron Handbook»: «Если ток сигнала через [лампу] и резистор  $R_1$  (анодная нагрузка) обозначить  $I_p$ , то на катодном резисторе  $R_k$  упадет напряжение сигнала  $R_k \times I_p$ , пропорциональное сигналу на нагрузке, таким образом осуществляется ООС по току». Ограничение усиления каскада подобным способом улучшает линейность и снижает искажения и не создает проблем с временными характеристиками усилителя.

Я созвонился с Mike La Fevre (Magne Quest) и договорился об изготовлении трансформаторов для моего проекта. После изучения графиков и серьезной работы со справочниками мы определили, что сопротивление первичной обмотки должно составлять около 6000 Ом. «Волшебное уравнение» для определения этого сопротивления можно найти на стр. 561 «Radiotron Handbook»:

$$Z_1 = 0,9 \times (U_a / I_a)$$

где  $U_a$  – анодное напряжение,  $I_a$  – анодный ток.

Проверка этого уравнения подтвердила, что «волшебное число» в любом случае не выходит за пределы 0,75-0,9.

Выходной трансформатор усилителя с выходным каскадом на 807-й должен быть рассчитан на 50-60 мА. Да, трансформатор должен быть большим. И для обмотки в 6 кОм требуется уйма провода – 3028,3 фута. В результате Mike La Fevre выбрал для трансформатора магнитопровод, применяемый в Dynaco A450 -12,5 фунтового монстра.

Индуктивность первичной обмотки должна быть не меньше 64 Гн, чтобы спад АЧХ на 30 Гц не превысил 1 дБ. Сопротивление обмотки по постоянному току должно составлять 188 Ом (т.е. около 70% от величины сопротивления, вносящего потери в 1 дБ). Кроме того, необходимо придерживаться определенной техники намотки, при которой сопротивление первичной обмотки не будет зависеть от того, к каким отводам подключена нагрузка. Такой трансформатор будет работать при индукции в магнитопроводе около 13,5 кГс.

Прототипы моих трансформаторов весили примерно по 20 фунтов каждый. Наверно, высокая стоимость производства таких изделий является серьезной причиной редкости усилителей на 807-й лампе. Высококачественный выходной трансформатор для пентодного усилителя больше и дороже, чем аналогичного качества для триодов типа 300В. Учитывая высокое сопротивление первичной обмотки, а также несколько большие значения постоянной и переменной составляющих, можно сказать, что индуктивность первички должна быть в два раза больше, чем скажем у FS 030 при одинаковом спаде на низких частотах.

Если вы твердо вступили на тропу пентодных одноктактников, то сэкономьте сотни долларов на лампах, но часть из сэкономленного уйдет на трансформаторы.

Когда я принялся за разработку этого усилителя, то знал -это не будет великая модель Wavelength Audio на рынке. Мой усилитель всего лишь экспериментальный образец, но хорошо работающий. На удивление хорошо. Если вы ищите на рынке 60-фунтовый пентодный одноктактник, то я представляю вам модель Wavelength Audio 807 SE. Опередите время, сделайте такой же и наслаждайтесь!

## ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ

Чтобы помочь тем, кто, возможно, интересуется самим про-

цессом разработки усилителя, я попробую описать все действия шаг за шагом. Не пугайтесь уравнений – все это проходит в школьном курсе алгебры. Если вы новичок в электронике, но желаете чему-нибудь научиться, прочитайте скучные места по несколько раз – это поможет вам сделать полезные «открытия». Не принимайте во внимание детали, а постарайтесь увидеть общую картину. Тем же, кто знаком с процессом разработки усилителей, советую оставить дальнейшие выкладки на моей совести. Я уверен, что вы узнаете математический аппарат, вспомните бессонные ночи, резь в глазах, поздние телефонные звонки...

Вот основные этапы необходимых расчетов, когда мы знаем желаемую выходную мощность, входное напряжение (1 В) и сопротивление нагрузки (8 Ом).

1. Определяем общее усиление схемы

а. Определим выходное напряжение, создающее требуемую выходную мощность.

б. Рассчитаем коэффициент трансформации.

в. Вычислим общее усиление.

2. Рассчитываем распределение усиления по каскадам, начиная с выходного и заканчивая входным. Делаем поправки на имеющиеся в наличии элементы, отличающиеся от расчетных величин.

3. Рассчитываем окончательно режимы работы каскадов.

Все эти вычисления представляют собой простую и строго последовательную работу для усилителя без ООС. Применение обратной связи потребует некоторых дополнительных расчетов.

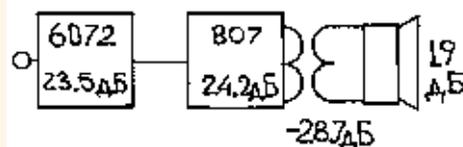


Рис. 1. Усиление по каскадам

# ВЫХОДНОЙ КАСКАД

Мы хотим спроектировать 10-ваттный усилитель. Выходное напряжение по заданной мощности можно определить из формулы:

$$P_{\text{ВЫХ}} = U^2/R \quad (1)$$

где  $P_{\text{ВЫХ}}$  – выходная мощность,  $U$  – напряжение,  $R$  – сопротивление нагрузки. Соответственно,

$$U = \sqrt{R \cdot P_{\text{ВЫХ}}}$$

при  $R = 8 \text{ Ом}$   $U = 8.944 \text{ В}$  Чтобы определить общий коэффициент усиления, нужно знать коэффициент трансформации. Снижение напряжения на вторичной обмотке объясняется тем, что трансформатор повышает выходной ток.

Коэффициент трансформации определяется так:

$$K_{\text{ТР}} = \sqrt{z_1/z_2} = (8/6000)^{1/2} = 0,0365 \quad (2)$$

где  $z_1$  – сопротивление нагрузки,  $z_2$  – сопротивление первичной обмотки.

Для наших расчетов потерями в магнитопроводе можно пренебречь. Учитывая полученные результаты, подсчитаем требуемое усиление: т.к. ко входу приложено напряжение 1В.

$$K = U \frac{1}{K_{\text{ТР}}} = 8,944 \frac{1}{0,0365} = 245^* \quad (3)$$

Значит, нам надо получить усиление 245 раз, но мы не должны полностью использовать возможности лампы, поскольку собирались ввести местную ООС. Каким же образом мы распределим это усиление по каскадам? По характеристикам 807 можно определить, что при напряжении 2-ой сетки в 250 В и сопротивлении анодной нагрузки 6 кОм, усиление составит от 10 до 30 раз. Для введения местной ООС и получения при этом достаточного усиления я решил частично зашунтировать катод-

\* – Кроме усиления, это еще и среднее значение напряжения выходного сигнала на первичке трансформатора.

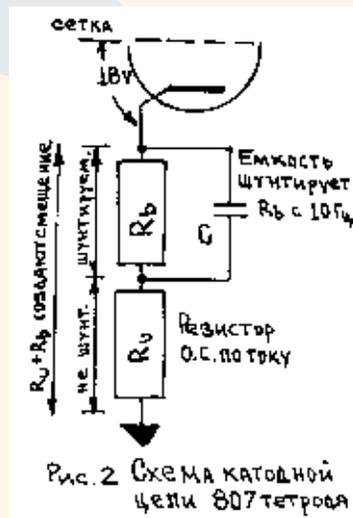
ный резистор и таким способом получить требуемый коэффициент усиления.

## КАТОДНАЯ ЦЕПЬ 807-Й

При анодном напряжении в 450 В и напряжении 2-й сетки 250 В напряжение смещения на 1-ю сетку должно составлять 18 В. Это значит, что если усиление первого каскада (драйвера) превысит 18 раз, то усилитель будет ограничивать сигнал по входу 807-й. Посему, будем осторожны и положим усиление входного каскада равным 15, а окончного немногим более 16 ( $15 \times 16,33 = 245$ ).

Для получения 10 Вт на выходе от лампы 807 в классе А требуется анодный ток от 50 до 60 мА. Это значит, что общее сопротивление в цепи катода согласно закону Ома составит величину в 360 Ом. Оно и определит режим работы лампы по постоянному току.

Теперь рассмотрим работу по переменной составляющей. Нам надо получить усиление порядка 16 раз при анодной нагрузке 6 кОм и внутреннем сопротивлении лампы 38 кОм. Из уравнения (6) видно, что необходимая величина сопротивления в цепи катода по переменному току равна 169 Ом. Поэтому разобьем катодный резистор на два 169 и 200 Ом и зашунтируем больший из них конденсатором. Оставшийся сделаем переменным и будем использовать для установки анодного тока в 50 мА.



А теперь, господа, пошла математика...

Усиление каскада с полностью шунтированным катодным резистором составляет:

$$K_y = \frac{\mu R_a}{R_a R_i} \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент усиления лампы,  $R_a$  – сопротивление анодной нагрузки,  $R_i$  – внутреннее сопротивление лампы.

Усиление каскада с нешунтированным катодным резистором равно:

$$K_y = \mu / (1 + [(R_k + R_k \mu) / R_a]) \quad (5)$$

где  $R_k$  – катодное сопротивление. В рассматриваемой рабочей точке крутизна лампы 807 равна 5,85 мА/В, что при внутреннем сопротивлении 38 кОм дает коэффициент усиления  $\mu = 222$ .

Переписав уравнение (5) относительно  $R_k$ , мы получим:

$$R_k = [(\mu / K_y - 1) R_a - R_i] / \mu \quad (6)$$

После этого нам нужно вычислить значение шунтирующей емкости. Эта емкость действует, как короткое замыкание определенной частоты, зависящей от величины этой емкости. Ниже этой частоты реактивное сопротивление конденсатора возрастает, что вызывает спад усиления. Для вычисления емкости я принял нижнюю граничную частоту по уровню -3 дБ равной 10 Гц. Таким образом, на 10 Гц усиление составляет 16.33x0,707=11,55 раза. Подставив это значение в (5) получим величину нешунтированного резистора 323 Ом. Вычитая из 323 Ом 169 Ом, мы определим, что общее реактивное сопротивление цепочки из параллельно включенной емкости и резистора 200 Ом составляет 154 Ома. Нетрудно вычислить величину реактивного сопротивления емкости из формулы:

$$\frac{1}{Z_{\text{общ}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{Z_C} \quad (7)$$

В результате получим  $Z_c = 680 \text{ Ом}$ . На частоте 10 Гц такое значение реактивности имеет конденсатор емкостью в 23.4 мкФ. Это вытекает из формулы:

$$Z_c = 1/2\pi f_0 C \quad (8)$$

Ближайший стандартный номинал – 24 мкФ и установил в схему усилителя.

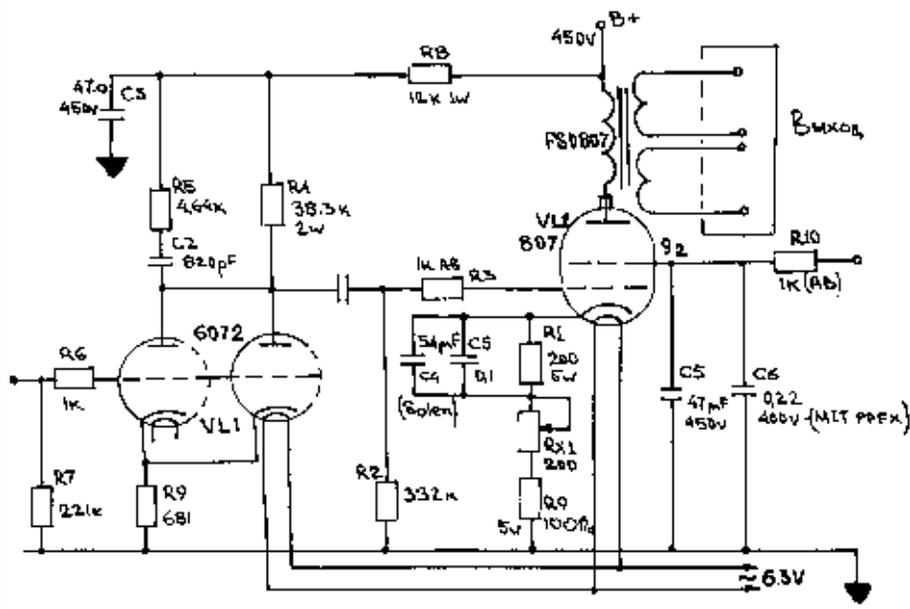
Итак, выходной каскад рассчитан полностью. Катодное сопротивление состоит из двух частей – постоянного резистора в 300 Ом и переменного 200 Ом; анодное напряжение – 450 В; напряжение второй сетки – 250 В; сопротивление анодной нагрузки (трансформатора) – 6 кОм; глубина местной ООС – 5,56 дБ. В справочниках по лампам указано, что при работе с катодным смещением максимальная величина сопротивления утечки в цепи первой сетки не должна превышать 500 кОм. Я решил использовать имеющиеся у меня резисторы HOLCO 332 кОм. Величина меньшая максимального значения на 20% способствует облегчению условий работы лампы. На этой оптимистичной ноте завершим разработку выходного каскада.

## ВХОДНОЙ КАСКАД

Теперь обратимся к входной части усилителя. Нам нужно получить усиление 15-18 раз с хорошим отношением сигнал/шум и способностью раскатать цепь сетки 807-й лампы с сопротивлением утечки 332 кОм.

Ознакомившись с номенклатурой двойных триодов, мы увидим, что имеются лампы с величиной  $\mu$  равной 20, 40, 60 и 100. Значение  $\mu = 20$  слишком близко к необходимой величине коэффициента усиления, а  $\mu = 100$  слишком велико и получить  $K = 18$  без глубокой ООС невозможно. Остаются два варианта  $\mu = 40$  и  $\mu = 60$ . Хотя многие разработчики с симпатией относятся к семейству ламп 12АТ7, мне эти лампы не по душе из-за своих звуковых особенностей.

Как-то, разговаривая с одним из редакторов, мы затронули тему усилителей Ongaku. И я спро-



Принципиальная схема

сил себя – а как насчет серии 12AY7, ведь лампа 6072A, промышленный вариант 12AY7, применяемая на входе Ongaku, хороша собой и вполне доступна. Значение  $\mu$  у 6072A составляет 44, а максимальная мощность рассеяния на каждом из анодов 1,65 Вт. Попробуем использовать 6072A при токе каждого анода в 2,5 мА и анодном напряжении 200 В. Включив нити накала параллельно, цепь подогревателя можно питать от напряжения 6,3В.

Параллельное включение обеих половин лампы имеет много достоинств: внутреннее сопротивление снижается в 2 раза, возрастает усиление каскада, снижается шум. Все это очень хорошо для входного каскада. Кроме того, 6072A отбирается по минимальному микрофонному эффекту и уровню собственных шумов, так что применение такой лампы вполне естественно.

Рабочую точку 6072A я выбрал исходя из усиления каскада. Поскольку для питания его требуется напряжение около 400 В, то можно использовать уже имеющееся напряжение  $U_a = 450$  В, развязав каскады фильтром R8 C3. Ток покоя каждой половины принимаем равным 2,5 мА, т.е. всего 5 мА. Напряжение смеще-

ния устанавливаем в пределах 2,5 – 3,5 В, чтобы заведомо избежать ограничения сигнала во входной цепи. При таких условиях напряжение на аноде оказывается равным 200 В. Резистор катодного смещения в 681-ом создаст напряжение смещения в 3,4 В. Оставив его незашунтированным, мы получим местную ООС глубиной 3,8 дБ.

Анодный резистор определяем исходя из падения на нем напряжения  $400 - 200 = 200$  В. Я выбрал Roederstein MK8 мощностью 2 Вт сопротивлением 38,3 кОм. Подставив полученные значения резисторов в уравнение (5), вычисляем коэффициент усиления. Он будет немного больше 18,7 раз. Хорошо, эта величина чуть превышает то, что мы рассчитали ранее, но вполне возможно ее уменьшение за счет разброса параметров ламп. Кроме того, определенные потери имеются и в выходном трансформаторе.

Компенсирующая цепь R5 C2 используется для улучшения работы усилителя. Насколько мне известно, этот тип компенсации впервые был применен в усилителях Williamson. Для себя этот фокус я открыл с подачи Erno Borbely, который обосновал пользу компенсации и пред-



чей и его понимание вопроса заработано «потом и кровью»...

Каждый новый проект порождает вечную проблему: редко какой аппарат хорошо работает с первого включения. В этом усилителе я наблюдал самовозбуждение в правом канале, хотя оба канала абсолютно идентичны. Пришлось заменить все детали, даже выходной трансформатор. И что же? «Свист» исчез только при замыкании входа на «землю». Оказалось, что входной экранированный кабель проходил слишком близко к выходному трансформатору и наводка от него проникала на вход, создавая паразитную обратную связь.. Заземление оплетки кабеля у входного разъема полностью устранило этот дефект. Век живи – век учишься! Ну а теперь давайте послушаем музыку...

## КАК ЖЕ ОН ЗВУЧИТ?

Мне было очень любопытно услышать мой новый усилитель -ведь это мой первый одноканальный пентодный аппарат. В своей системе я использую предусилитель Wavelength Audio Control Panel, модифицированный CD Philips CD680 в качестве транспорта, DAT Sony DTC 700 в качестве DAC. Виниловый проигрыватель – Linn Basik с тонармом Basik Plus и головкой K5. Корректор RIAA – самодельный. Акустика – известные Pro Ac Res-ponce Two. Короче, современная High-end система. Без наворотов типа Klipsch horn или чего-то похожего.

Первое прослушивание сос-

тоялось в лаборатории на паре AC Warfedale Diamond III. Звучит неплохо, однако, но лаборатория слишком мала. Выходная мощность, измеренная на уровне ограничения составила 8,9 Вт. Я подобрал цепь компенсации и взял усилитель с собой для серьезного прослушивания.

Ого, да этот усилитель может по-настоящему громко петь! Верха были суперчистыми и, вообще, это самый малозумящий из усилителей, сделанных мною. Правда в самом низу бас, конечно, слабоват. Измерение АЧХ показало, что имеется спад на частоте 40 Гц до -3 дБ. На верхних частотах проблем не возникало аж до 50 кГц. Фазовый сдвиг на низшей частоте достигал 250. Неплохо для начала, но можно и лучше.

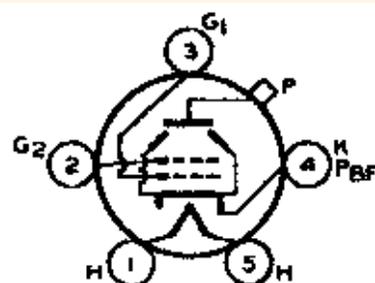
Я увеличил конденсатор в цепи второй сетки – и выходная мощность возросла до 10,2 Вт. Проведя измерения, я также установил, что движок переменного резистора нужно повернуть так, чтобы его сопротивление составило 100 Ом, а не 169, как вышло по расчетам. Кроме того, емкость 24 мкФ оказалась мала и мне пришлось подключить параллельно ей еще 30 мкФ. В результате нижняя частота по уровню -3 дБ съехала вниз до 22,6 Гц.

Меня удивили и обрадовали результаты субъективной оценки работы усилителя. Чувствительность моих Pro Ac нормируется на уровне 86 дБ/Вт, и изготовитель рекомендует для их раскачки минимум 100 Вт мощности. Но и мои 10 Вт их по-настоящему раскачали! Усилитель дал прекрасно очерченный бас даже с

такой акустикой. Возможно раздельное питание вторых сеток еще в большей степени способно улучшить этот результат. Кто-то, наверно, поспорит, что стабильность питания вторых сеток значительно важнее стабильности анодного напряжения и, что газовые стабилитроны – далеко не последнее слово в технике стабилизации. Но я-то не стану спорить со звуком, полученным мною от примененных радиокомпонентов.

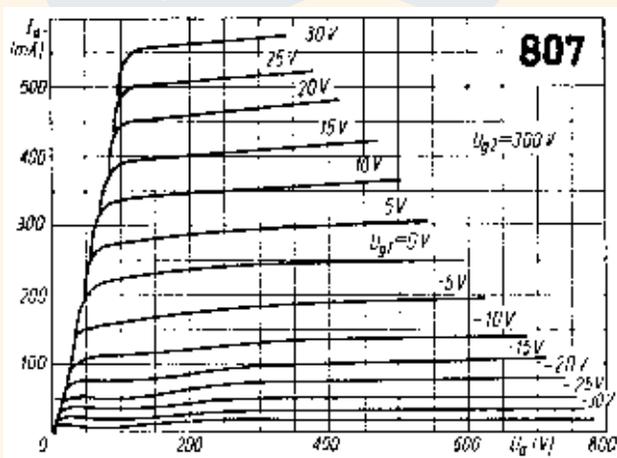
Удивило меня и то, что усилитель так хорошо работал с моими обычными аппаратами. Думаю, что следует послушать его с более эффективными колонками. Пентодный усилитель без общей ООС обладает относительно высоким выходным сопротивлением и весьма чувствителен к выбору громкоговорителя. Измеренное на 10 кГц выходное сопротивление оказалось равным 1,16 Ома, в то время, как у Dynaco ST70 – всего 0,105 Ом. А вообще, несмотря на то, что при номинальном сопротивлении 8 Ом, AC Pro Ac имеют его спад на частоте 300 Гц до 6,4 Ом, мне показалось, что усилитель на 807-й был лучшим из всех тех, когда-либо работавших с моими AC.

Не будучи особо искусственным в описании звучания усилителя цветистыми фразами, я решил провести испытания аппарата в полевых условиях – то есть в близлежащем магазине high-end



### Эквивалентная замена

807W	Усиленная версия
5933	" "
RK39	Raytheon
HY61	Hytron
350A	Western Electric
T-21	Taylor
VT-100	Военный VT номер
Г-807	производства



Audible Elegance. Мы подключили к усилителю пару AC Thiel 1.2. Группа экспертов установила, что усилитель звучит чисто, без малейшего шума или фона. Однако, басов сильно не хватало. Я отнес это на счет 4-х Омных Thiel со значительной неравномерностью импеданса по частоте, да к тому же подключенных к 8-Омному выходу.

Мы не стали перематывать выходные трансформаторы, а просто заменили AC на Linn Nexus II. Это ослепило и усилитель и наш слух. Конечно, басов, сбивающих ритм сердца, мы не услышали, но тем не менее, усилитель выдал ровные, наполненные низы. Джефф, местный эксперт по лампам удивился тому, что однотактник так хорошо работает в широком диапазоне частот. Мы прикинули возможность использования второго усилителя (bi-amping) для воспроизведения нижних частот. Это, может быть, принесет звуку еще большую открытость.

Середина и верха были очень точными и некоторые слушатели отметили, что это был наиболее «лампово» звучащий усилитель из всего, что они слышали прежде. Другие говорили об утере большинством современных ламповых усилителей той музыкальности, которая раньше была их отличительной чертой.

Под занавес общее мнение свелось к тому, что мой усилитель с правильно подобранной акустикой является очень выразительным аппаратом и в паре с двухтактником, работающим на частотах ниже 100 Гц, может быть настоящей «грозой гигантов». Эксперименты с AC Thiel подтвердили известное правило: выходные трансформаторы следует рассчитывать под конкретные AC.

В заключение хочу сказать – однотактник на лампе 807 стал удачным экспериментом. Результаты прослушивания превзошли мои ожидания. С точки зрения разработчика, этот усилитель стал хорошим подтверждением моей идеологии – не заикливаться и искать новые пути. А с точки зрения аудиофила, он подарил мне по-настоящему хоро-

ший звук от элементов, которые совсем недавно я даже не воспринимал всерьез.

#### Литература

1. Langford – Smith, F., *Radiotron Designer's Handbook – Fourth Edition, 1953*

2. *RCA Tube Manual – various editions*

## ОТ РЕДАКЦИИ

Вашему вниманию представлен еще один подход к проблеме создания ламповых усилителей, также заслуживающий серьезного внимания.

Желающим повторить эту конструкцию можем рекомендовать следующие отечественные компоненты: лучевой тетрод 807 имеет полный отечественный аналог Г807. Двойной триод 6072А можно заменить на 6Н4П, 6Н23П с соответствующим перерасчетом номиналов резисторов каскада. Кенотрон 5AR4 аналогичен 5Ц3С (можно 5Ц9С), а стабилитроны ОС3 и ОД3 – СГ4С и СГ3С. Существенные трудности могут возникнуть с изготовлением выходного трансформатора. Возможно, рекомендации нашего журнала по их расчету помогут Вам. Пассивные элементы схемы лучше всего отобрать по результатам их прослушивания. Заведомо приличное звучание можно получить от резисторов С5-61, Р2-67 (металлофольговых), ВС (углеродистых) и конденсаторов К40У-9, СГМ-3, ФТ-2. ФТ-3 (для цепей сигнала), К78-6 (для катодной цепи) и МБГО (МБГЧ, МБГВ, К75-40Б) – для фильтра питания.

При определении коэффициента демпфирования (или выходного сопротивления, однозначно с ним связанного) автор допустил неточность. Истинное значение выходного сопротивления усилителя составит примерно 40 – 60 Ом (оно может быть вычислено приближенно, как  $R_i k_{тр}$ , где  $R_i$  – внутреннее сопротивление Г807,  $k_{тр}$  – коэффициент трансформации).

Если Вы изготовите подобный усилитель, напишите нам о ре-

зультатах своей работы, трудностях и успехах при изготовлении и настройке. Будем рады Вашим письмам, вопросам, мнениям.

Над переводом трудился Д.Андронников



Вот-вот выйдет партия ламп из 6L6, 6550. EL34, специального приготовления к 90-летию Audion'a. Надпись так и гласит «90 Years Anniversary Lee de Forest Audion». Странно, что о юбилее вспомнили русские, а не те, кого это касается в большей степени. Лампы отличаются не просто надписью, но они действительно прошли специальную терапию: а) увеличенная по длительности термотренировка (около 100 часов); б) двукратный криогенный отжиг в жидком азоте (снятие внутренних напряжений); в) компьютерный отбор параметров (по парам в том числе); г) специальный отбор по эмиссии катода; е) ренирование сеток (покрытие этим металлом сильно подавляет вторичную эмиссию). Цена этих ламп будет раза в 2 выше общепринятых, но для памяти и в запасной комплект – неплохой подарок.

В руководстве завода «Светлана» рассматривается вопрос о подготовке в производство оригинальной Cunningham CX210/310, либо GE DA60, или WE242A, наконец, WE101A. В общем, что получится. Американцы проявили благосклонность и готовы предоставить образцы и мелкий инструментариий.



Norman Crowhurst, Glass Audio 3/96

Норман Х. Кроухерст был инициатором разработки многих электронных устройств, в том числе радаров во время Второй Мировой Войны, что существенно помогло защите Лондона против немецкой авиации «Люфтваффе». В 50-е и 60-е годы плодотворно работал над теорией и конструированием звуковых устройств. Эмигрировал в США в 1953 г. С 1959-го являлся членом AES. Умер в 1991 году в возрасте 77 лет.

С десяток лет назад выбор схемы выходного каскада ограничивался либо триодным либо пентодным включением мощных ламп, и вопрос, внесенный в заглавие был одним из основных. Часть инженеров ратовала за так называемую «грубую силу» – использование подходящего по мощности триода для получения требуемой выходной мощности. При этом подчеркивалось, что триодный выходной каскад, несмотря на меньшую эффективность по сравнению пентодным, обеспечивает и существенно меньшие искажения сигнала.

Те, кто отстаивал позиции пентодных усилителей, указывали на его высокую эффективность и меньшую, по сравнению с триодным той же мощности, стоимость. Кроме того, они утверждали, что искажения, вносимые пентодами, не выше, а в ряде случаев даже ниже, чем у триодного каскада.

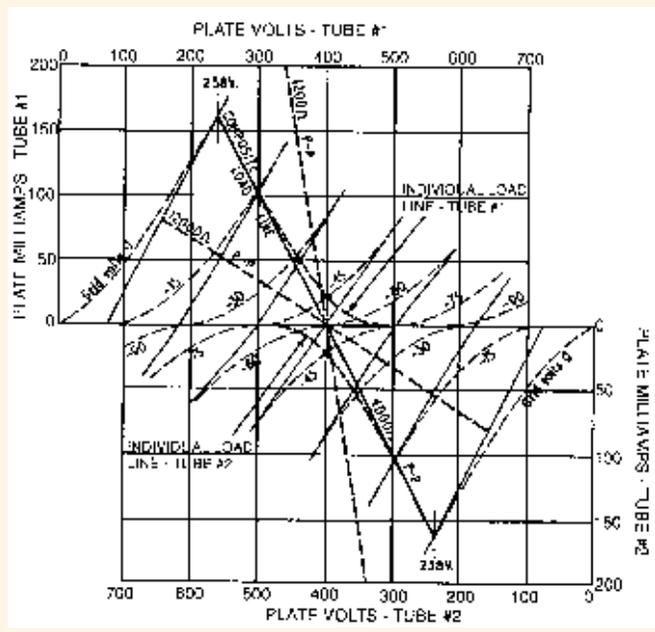


Рис. 2. Сквозные характеристики PP для рабочих условий, указанных на Рис. 1. Значение различных штриховых линий объясняется в тексте.

В этом споре обе стороны во многом правы – и это вызвало появление значительного числа схем выходных каскадов, сочетающих достоинства триодов и пентодов. Сегодня известно такое большое число вариантов схем построения выходных каскадов, что, зачастую, даже специалисты сбивы с толку достоинствами и недостатками конкретной схемы.

Чтобы как-то разобраться в этой путанице, следует взять пару хорошо известных ламп, например 5881 (6ПЗС-Е – прим. перев.), и рассмотреть их работу в различных выходных каскадах. В данном случае конкретный тип ламп не имеет принципиального значения – по большому счету от этого зависит только выходная мощность, но качественная картина существенно не изменится.

Как только мы определились с требованиями к выходной мощности и искажениям каскада, требуется лишь выбрать, в каком включении будут работать выходные лампы: триодном, пентодном или ультралинейном. Легко видно, что все остальные варианты схем получаются посредством комбинирования трех основных включений лампы с катодным повторителем (с полным или частичным использованием витков первички в катод), либо иной небольшой доработкой схемы.

## О ПИТАНИИ КАСКАДА

Выбирая схему выходного каскада, следует принимать во внимание особенности источников питания, в частности для цепей смещения ламп. Работа усилителя на кратковременных пиковых сигналах

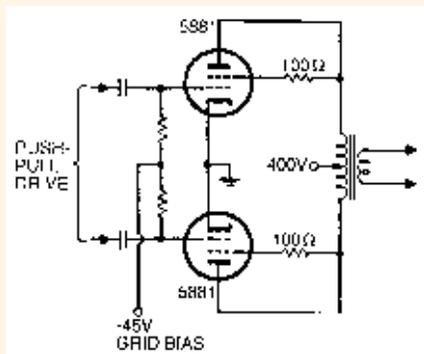


Рис. 1. Схема для пары лучевых тетродов 5881 (6ПЗС-Е) в триодном включении с фиксированным смещением.

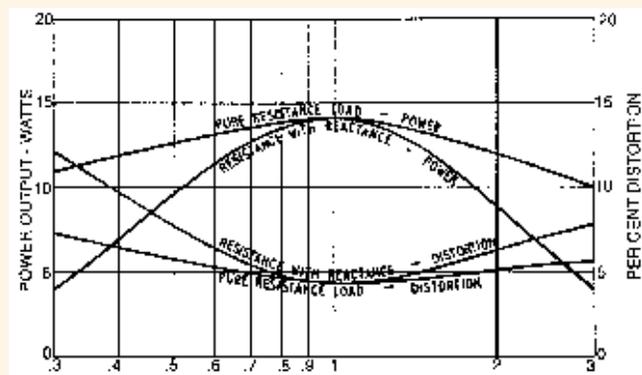


Рис. 3. Характеристики выходной мощности для схемы Рис. 1 при вариациях нагрузки. Pure resistance Load – чисто резистивная нагрузка; resistance with reactance – активная вместе с реактивной.

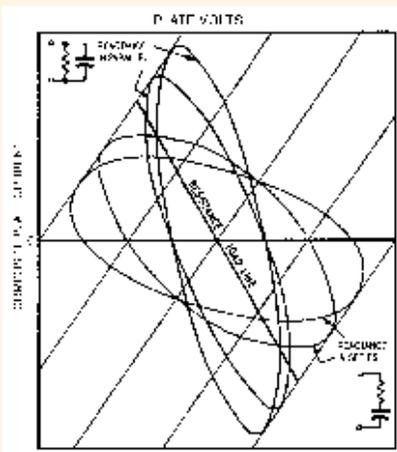


Рис. 4. Поведение рабочей линии нагрузки (движение в эллипсе) в зависимости от включения реактивного элемента.

– во-первых, изменения питающих напряжений при увеличении уровня сигнала не должны сколько-нибудь существенно влиять на усиление и искажения каскада. Если не выполнить это условие, то начало громкого фрагмента по звучанию будет отличаться от его продолжения.

– во-вторых, изменение всех напряжений питания должны происходить с одинаковой скоростью, чтобы в переходных режимах не возникало специфических искажений. Это означает, что все источники питания каскада (анодное питание, напряжение смещения) должны обладать одинаковыми постоянными времени.

Независимо от схемы построения выходного каскада, анодный ток возрастает с увеличением уровня сигнала, соответственно напряжение анодного питания несколько снижается (если, конечно, не используются весьма дорогостоящие стабилизаторы напряжения).

В то же самое время абсолютное смещение может увеличиться ( $-U_{см}$ , упадет) либо из-за увеличения тока через катодный резистор при автосмещении, либо из-за протекания импульсов сеточного тока при ограничении сигнала в схеме с фиксированным смещением.

Обоим вышеуказанным условиям удовлетворяет правильно сконструированный каскад с автосмещением. Применение же фиксированного смещения создает ряд проблем. При клипировании (ограничении) сигнала импульсы тока в сеточной цепи увеличивают отрицательное напряжение смещения, подзаряжая конденсатор фильтра источника смещения, постоянная времени которого обычно весьма велика для хорошего подавления пульсаций выпрямленного напряжения. После снятия перегрузки, пониженное напряжение смещения сохраняется на сетке дольше, чем восстанавливается номинальное напряжение анодного питания.

В общем случае фиксированное смещение позволяет получить с конкретных ламп большую мощность, чем автоматическое, поскольку имеется свобода выбора наиболее благоприятной рабочей точки каскада. Такое увеличение мощности может быть и не столь явным, если сравнивать громкость усилителя на слух. Ограничение сигнала имеет место в любом усилителе. При фиксированном смещении ограничение вызывает специфические искажения, длящиеся дольше пика перегрузки (см. ранее) В случае применения автосмещения подобные искажения возникают только на время перегрузки, что гораздо в меньшей степени

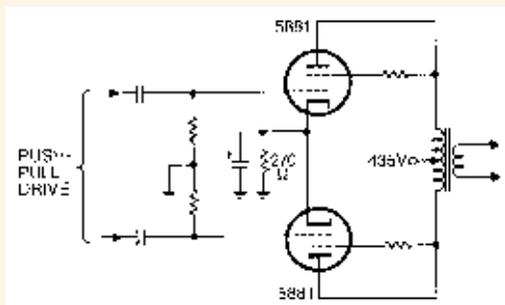


Рис. 5. Схеме для пары 5881 в триодном включении с автоматическим смещением.

заметно на слух. Поэтому слушатель, зачастую, считает, что усилитель с автосмещением отдает большую мощность, чем усилитель с фиксированным смещением, хотя измерения говорят об обратном.

## ДВУХТАКТНЫЙ ТРИОДНЫЙ КАСКАД

На Рис. 1 показана схема двухтактного каскада на лучевых тетрадах 5881 в триодном включении с фиксированным смещением на сетках. Семейство характеристик пары ламп в таком режиме показано на Рис. 2. Нагрузочные прямые приведены для напряжения анодного питания +400 В и напряжения смещения -45 В. Пунктиром показаны индивидуальные характеристики каждой лампы, а сплошными линиями, соединяющими пунктирные кривые, – совместные характеристики обеих ламп каскада. Толстая сплошная линия по центру –нагрузочная прямая для сопротивления нагрузки между анодами 4 кОм. В этих условиях каскад отдает в нагрузку 13,3 Вт при 4,4% искажений (4% по 3-й гармонике, 1,5% – по пятой).

В данном случае нагрузочная прямая 4 кОм является идеализацией. Она соответствует лабораторным условиям, при которых производились измерения. К сожалению, реальные условия работы усилителя обычно далеки от идеала. Сопротивление нагрузки ламп может отличаться от 4 кОм в любую сторону и, что самое неприятное, – содержать реактивную компоненту.

Рис. 3 показывает зависимости параметров усилителя при вариациях нагрузки. Одна пара кривых демонстрирует зависимость максимальной мощности каскада и искажений при максимальной мощности для изменения сопротивления нагрузки от 1,2 до 12 кОм. Эти пределы на Рис. 2 отмечены толстыми пунктирными линиями. Реальная нагрузка усилителя громкоговоритель (без разделительных фильтров или с

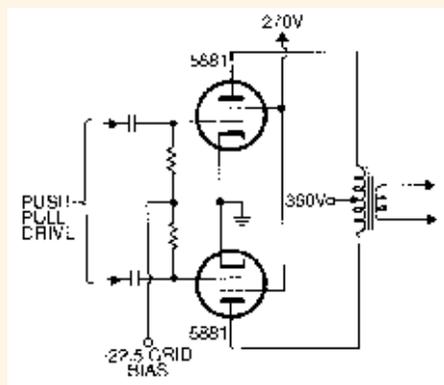


Рис. 6. Штатное включение пары 5881 (экранная сетка запитана отдельно) с фиксированным смещением.

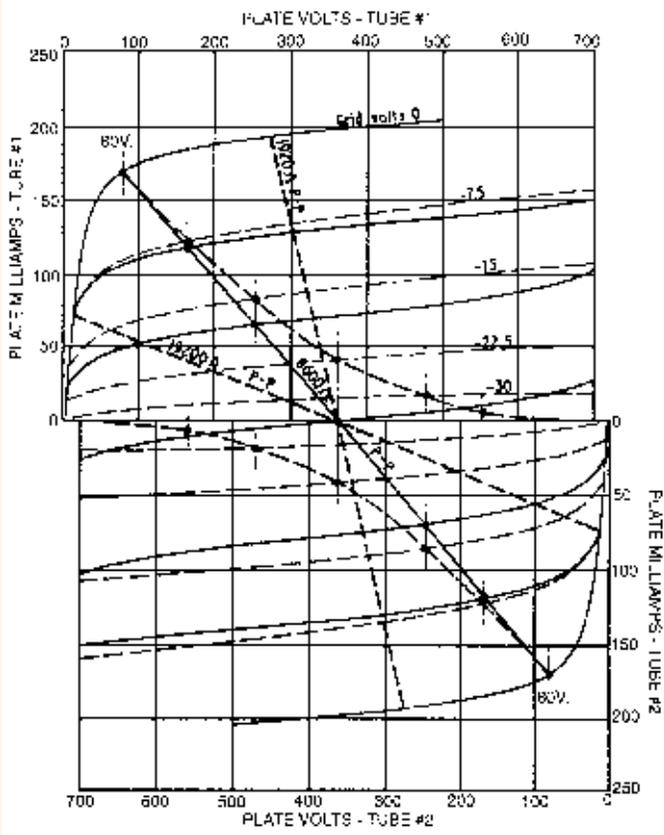


Рис. 7. Суммарные сквозные характеристики PP для схемы Рис. 6.

ними), имеет кроме активной еще и реактивную составляющую, которая трансформирует нагрузочную прямую в эллипс (Рис. 4).

Вторая пара кривых на Рис. 3 показывает, как изменяются максимальная мощность и искажения в зависимости от гипотетической нагрузки, содержащей активную составляющую 4 кОм + реактивность, подключенную параллельно и уменьшающую импеданс до 1,2 кОм и подключенную последовательно для его увеличения до 12 кОм.

Если сравнить эти кривые с соответствующими для пентодного каскада (Рис. 8), то сразу становятся ясными преимущества триода.

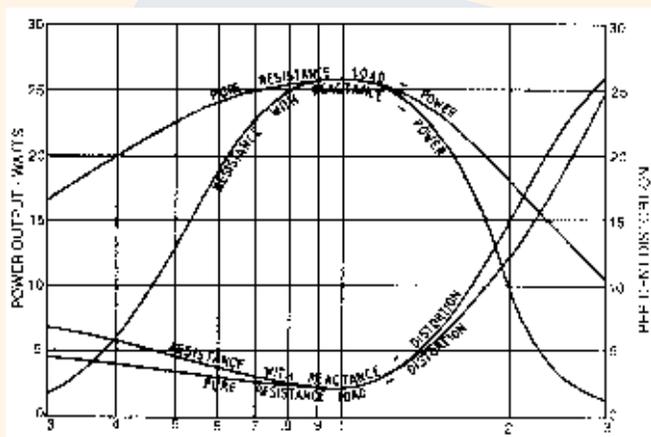


Рис. 8. Характеристики выходной мощности для схемы Рис. 6 при вариациях нагрузки.

## Смещение: Фиксированное или автоматическое

Рассмотренные графики относились к каскаду с фиксированным смещением. Иногда, с целью упрощения усилителя, применяют автосмещение (Рис. 5). Фиксированное смещение предпочтительнее, поскольку суммарный ток в катодной цепи зависит только от уровня сигнала. Так при смещении -45 В и отсутствии сигнала этот ток составляет 65 мА, а при полном сигнале уже 130 мА.

Если смещение задается резистором в цепи пентодов, то для получения смещения в -45 В в режиме молчания его величина составит 700 Ом, а в режиме полного сигнала – всего 350 Ом. Если же будет установлен резистор 700 Ом, то при полном сигнале смещение упадет до -90 В. Это вызовет резкое увеличение искажений, поскольку лампы будут работать с глубокой отсечкой анодного тока.

С другой стороны, при резисторе автосмещения 350 Ом в режиме молчания смещение поднимется до -22,5 В, а это вызовет перегрев ламп из-за большого тока.

Еще одна сложность заключается в том, что при автоматическом смещении анодное питание лампы равно разности между общим напряжением питания (Кип) и падением на резисторе автосмещения. В результате, при изменении падения напряжения на этом резисторе от 30 до 60 В, напряжение анод-катод лампы будет изменяться в пределах от 410 до 380 В (при  $U_{ип} = +440$  В).

Учитывая все эти моменты, в каскаде с автосмещением необходимо выбирать такую нагрузку в анодах лампы, которая не создает заметного изменения анодного тока при варьировании входного сигнала от нуля до максимума. Например, для триодного включения лампы 5881 типовым будет следующий режим работы: напряжение анод-катод: 400 В, напряжение смещения: -35 В (питание  $U^A = 435$  В), суммарный анодный ток: 130 мА, сопротивление автосмещения: 270 Ом, нагрузка между анодами  $R^A$ : 8 кОм, выходная мощность: 8,2 Вт, искажения: 5% (в основном 3-я гармоника).

## КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ

До настоящего момента я не обозначал «класс» работы усилителя: А, В, АВ, и т.д. Поначалу эти обозначения позволяли сравнительно легко выявлять различия в режимах работы каскада, но вскоре потребовалось использовать дополнительные индексы, чтобы показать, насколько сильно воздействует на лампу амплитуда напряжения возбуждения каскада по

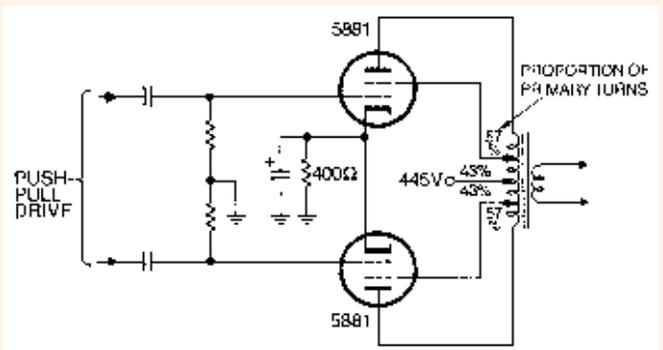


Рис. 9. Пара 5881 в ультралинейном включении PP.

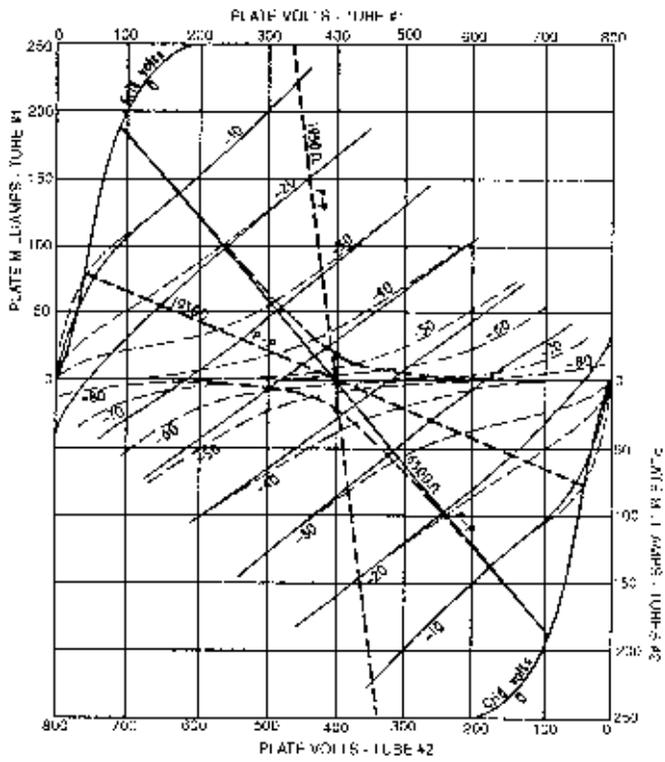


Рис. 10. Суммарные сквозные характеристики схемы Рис. 9. Данные анодных характеристик в UL представлены Tung-Sol.

управляющей сетке. Например, класс АВ означает, что лампы работают при смещении на сетке, обеспечивающем отсутствие отсечки анодного тока при малых сигналах (класс А) и отсечку некоторой части периода сигнала каждой лампы при полном возбуждении каскада. При этом, даже на полной мощности, напряжение возбуждения не заходит в область положительных значений на сетке.

Однако, такая классификация не принимает во внимание, что изменение режима работы лампы может быть вызвано и изменением величины анодной нагрузки. Например, триод может работать на нагрузку, как значительно превышающую его внутреннее сопротивление, так и на сопоставимую с ним. Изучение нагрузочных прямых позволяет сделать вывод – если каскад в первом случае работал в классе А, то во втором

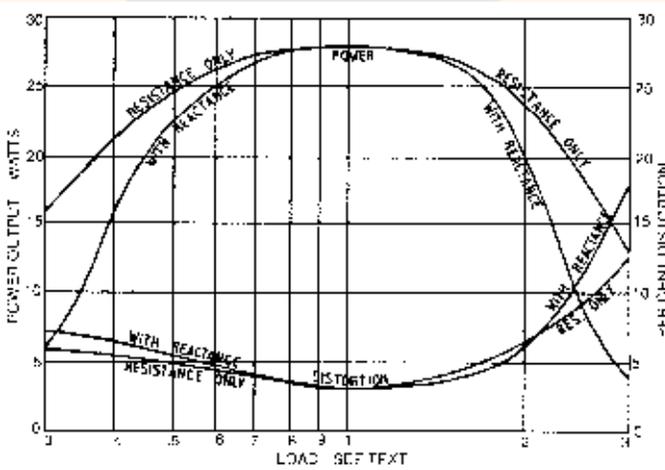


Рис. 11. Характеристики выходной мощности для схемы Рис. 9 при вариациях нагрузки.

он перейдет в класс АВ, хотя напряжение смещения на сетке неизменно.

В результате, для полного описания режима работы каскада, нужно учитывать не только напряжение смещения в рабочей точке, но и определять величину анодной нагрузки. Так «упрощенные» обозначения стали столь же сложными, как и те моменты, которые они призваны были заменить. Поэтому будем считать, что наиболее полную информацию о режиме работы лампы лучше всего давать, определив рабочее напряжение, токи и сопротивления в цепях электродов.

## ТЕТРОДНЫЙ (ПЕНТОДНЫЙ) КАСКАД

Перейдем к рассмотрению тетродного (пентодного) режима работы ламп. Рис. 6 представляет схему, а Рис. 7 совмещенные характеристики каскада при следующих режимах: анодное напряжение 360 В, напряжение второй сетки 270 В. Анодную цепь можно питать и 400-ми вольтами, что только подчеркнет разницу между триодным и пентодным включениями.

При сопротивлении нагрузки между анодами 6,6 кОм (значение, рекомендуемое справочниками) выходная мощность достигает 26,5 Вт, что вдвое превышает выходную мощность тех же ламп в триодном включении. Подняв анодное напряжение до 400 В, можно получить 35 Вт выходной мощности. Нелинейные искажения для такого режима составят 2%, причем эта величина, указанная в справочниках, хорошо согласуется с практическими данными. Однако, есть существенное различие между пентодными и триодными искажениями. Анализ показывает, что эти 2% включают в себя 1,7% третьей и 1% седьмой гармоник; 1,5% пятой гармоники триодного каскада менее заметны, чем 1% седьмой, поскольку высшие гармоники и сопутствующая им интермодуляция сильнее диссонируют с основным тоном, чем низшие.

Кривые зависимости выходной мощности и нелинейных искажений демонстрируют другую особенность пентодных каскадов высокую чувствительность к отклонению сопротивления нагрузки от оптимальной величины. Кроме того, на эти параметры очень сильно влияет реактивность нагрузки. Например, если импеданс нагрузки составит 30% от оптимального значения, то лампа отдает мощность меньшую, чем в триодном включении. В идеальных условиях, наоборот, выходная мощность более, чем в 2 раза превосходит мощность триодного включения.

На практике трехкратное изменение импеданса – обычное явление. Импеданс многих громкоговорителей

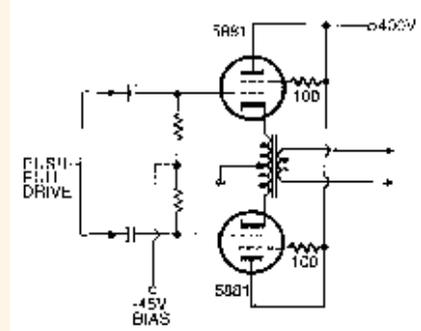


Рис. 12. Схема PP триодов (5881), включенных катодными повторителями.

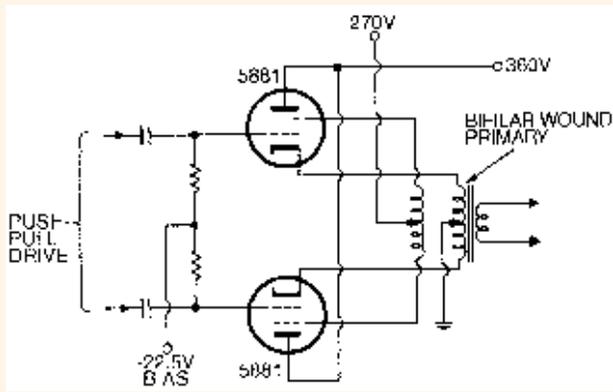


Рис. 13. Схема PP включения тетродов катодными повторителями. Первичная обмотка намотана бифилярно.

изменяется и в гораздо больших пределах. Очевидно, что несмотря на большую выходную мощность в идеальных условиях, реальная мощность пентодного каскада не выше, чем у триодного.

## УЛЬТРАЛИНЕЙНЫЙ КАСКАД

Рассмотренные выше причины привели к созданию нового варианта включения ламп -ультралинейного каскада. Для работы тетрода (пентода) в триодном режиме необходимо соединить вместе анод и вторую сетку лампы, а для работы в пентодном режиме – запитать вторую сетку постоянным напряжением относительно катода. В первом случае напряжение на второй сетке изменяется точно так же, как и анодное, а во втором – сохраняется неизменным вне зависимости от анодного.

Ультралинейный каскад занимает промежуточное положение – потенциал второй сетки меняется синфазно с анодным, но с меньшей амплитудой. Этого можно добиться, если подключить вторые сетки к отводам первичной обмотки выходного трансформатора, как показано на Рис. 9. В результате характеристики лампы существенно изменяются (Рис. 10, по данным Tung-Sol). Их можно получить, изменяя напряжение на второй сетке в зависимости от напряжения на аноде, моделируя тем самым колебания напряжений в реальном каскаде.

В ультралинейном режиме суммарный анодный ток обеих ламп изменяется не так сильно, как в других схемах. Поэтому фиксированное смещение утрачивает значительную часть своих преимуществ. В рабочей точке ультралинейного каскада напряжение смещения составляет -45 В. Если подобное смещение будет обеспечиваться катодным резистором при максимальном сигнале, то в режиме молчания смещение составит -40 В, что вполне допустимо. Правда это относится не ко всем типам ламп. Возможно, для других типов предпочтительнее окажется фиксированное смещение, позволяющее снять несколько большую мощность.

При анодной нагрузке 6,5 кОм и напряжении питания  $U_{ин} = 445$  В с двух ламп 5881 в ультралинейном каскаде можно снять 28 Вт выходной мощности. Искажения не превысят 3,3%, главным образом по третьей гармонике. Пентодный режим при  $U_{ин} = 400$  В позволяет получить до 35 Вт, но в этом случае, для питания вторых сеток нельзя использовать полное напряжение питания – лампа будет перегружена.

Следует обратить внимание на характеристики ультралинейного каскада (Рис. 11). Хотя при очень

сильных изменениях нагрузки каскад ведет себя не так хорошо, как триодный. но при небольших амплитудах он сопоставим с триодным и, конечно, гораздо лучше пентодного.

Если рассматривать случай работы на оптимальную нагрузку, то можно заметить, что наибольшая величина искажений у триодного усилителя (4,4%), а наименьшая – у пентодного (2%). Однако, в реальных условиях меняющегося импеданса, лучшим будет ультралинейный каскад, за ним – триодный и, со значительным отрывом, пентодный. Вообще же, цифра 2% получается только благодаря особенностям характеристик пентодов; тщательный анализ показывает существенный уровень гармоник высших порядков.

## ВХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ КАСКАДОВ

До сего момента рассматривались только вопросы выходной мощности и нелинейных искажений трех типов выходных каскадов. При разработке усилителя в целом необходимо также учитывать и требуемую амплитуду возбуждения выходного каскада по управляющим сеткам.

Напряжение возбуждения каскада разные источники определяют по-разному, поэтому при пользовании справочниками следует соблюдать осторожность во избежание ошибок. В некоторых источниках указывают среднеквадратичное значение напряжения на одной из сеток, другие указывают среднеквадратичное значение между сетками. Третьи приводят амплитудное значение напряжения на каждой сетке (1,44хС.К.), а иные амплитуду между сетками (она вдвое больше). Последний способ наиболее информативен, поскольку лучше всего демонстрирует требуемую величину возбуждения. Максимальное значение напряжения между сетками вдвое превышает амплитуду любого из сеточных сигналов, поскольку сетки возбуждаются в противофазе относительно одного и того же потенциала смещения.

## ЭФФЕКТИВНОЕ ВНУТРЕННЕЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Ситуация, похожая на ту, что сложилась с определением напряжения возбуждения, наблюдается

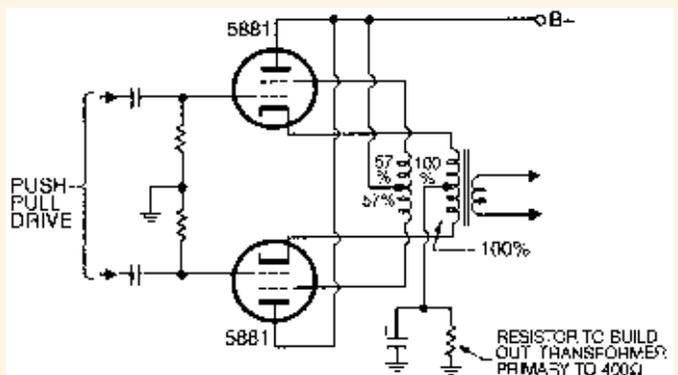


Рис. 14. Схема PP катодного повторителя с включением катодов по ультралинейной схеме.

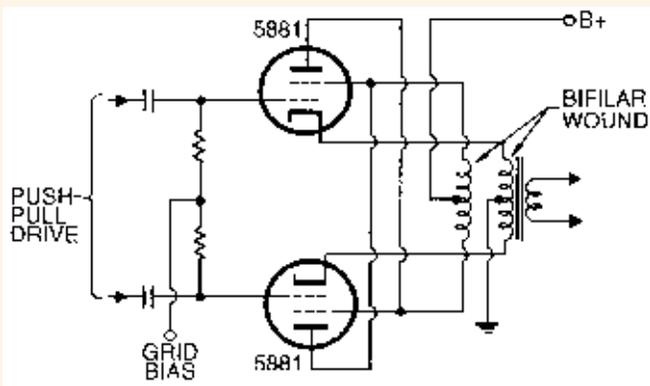


Рис. 15. Схема с единичной связью – число витков в катодной обмотке равно числу витков в анодной. Намотка бифилярная.

и с выходным сопротивлением усилительного каскада. Триодное включение 5881 (с фиксированным смещением) имеет выходное сопротивление ламп 5,6 кОм, т.е. в 1,4 раза больше, чем сопротивление нагрузки, равное  $R_{A-A} = 4 \text{ кОм}$ . Это значит, что громкоговоритель с сопротивлением 10 Ом, подключенный ко вторичной обмотке выходного трансформатора, будет работать от источника сигнала с внутренним сопротивлением 14 Ом, определяемым внутренним сопротивлением ламп.

Кое-кто может удивиться, как же получается, что внутреннее сопротивление ламп в триодном включении получилось в 1,4 раза выше сопротивления нагрузки. Принято считать, что это отношение находится в районе 0,3 раз. Однако, такое соотношение получается лишь при работе каскада в классе А, когда внутреннее сопротивление по переменному току составляет лишь часть общей нагрузки. Например, в триодном каскаде с автосмещением (Рис. 5) внутреннее сопротивление ламп составит 3,2 кОм, или 0,4 сопротивления нагрузки, т.е. 10-ти омный громкоговоритель будет работать от источника сигнала сопротивлением 4 Ома.

В пентодном режиме эффективное внутреннее сопротивление каскада в 5 – 10 раз превышает сопротивление нагрузки и, кроме того, претерпевает изменения за период сигнала. Это является одной из причин необходимости обратной связи в пентодных усилителях – приходится уменьшать и линеаризовывать выходное сопротивление.

Ультралинейный каскад, работающий на нагрузку 6,5 кОм имеет внутреннее сопротивление в 1,25 раза выше сопротивления нагрузки. Т.е. громкоговоритель сопротивлением 10 Ом, подключенный ко вторичной обмотке выходного трансформатора, будет работать от источника сигнала сопротивлением 12,5 Ом, даже без обратной связи.

Приведенное выше сравнение показывает – ультралинейный каскад наиболее предпочтителен и с точки зрения обеспечения низкого выходного сопротивления усилителя (не считая триодного каскада с автосмещением и выходной мощностью всего-навсего 8 Вт).

## КАТОДНЫЕ ПОВТОРИТЕЛИ

Простейший способ уйти от типового включения лампы (триодного, пентодного, ультралинейного) – это использовать лампу в режиме катодного повторителя. В таком режиме анод по переменному току заземлен, а нагрузка включена в цепь катода. На самом деле лампе необходимо напряжение питания, поэтому анод подключается непосредственно к «плюсу» источника питания. На Рис. 2 показана схема каскада на катодных

повторителях в триодном включении. Если обратиться к характеристикам ламп (Рис. 2), можно убедиться, что анодные напряжения изменяются от 400 В до 238 В при изменении напряжения на сетке на 45 В. В режиме покоя напряжение на аноде относительно катода равно 400 В, а напряжение на сетке относительно катода –45 В. При увеличении потенциала сетки до 0 В относительно катода, напряжение на катоде увеличится на 162 В относительно исходного значения. Итого, общее изменение напряжения на сетке относительно земли составит  $162 \text{ В} + 45 \text{ В} = 207 \text{ В}$ . Соответственно, для возбуждения такого каскада необходимо напряжение амплитудой 207 В на каждую сетку (414 В от пика до пика). При этих условиях выходная мощность будет такой же, как и в каскаде с нагрузкой в анодах ламп в триодном включении. Следует обратить внимание на то, как изменятся искажения. В общей амплитуде напряжения возбуждения (207 В), приложенного к сетке, компонента в 162 В между катодом и землей содержит 4,4% искажений 45-и вольтового сигнала между катодом и сеткой. Считая, что напряжение возбуждения (207 В) – неискаженное, выходит, что компоненты 45 В и 162 В содержат искажения, но в противофазе друг другу. Если 45-и вольтовая компонента содержит 4,4% искажений, то неискаженной будет 162-х вольтовая и наоборот. Таким образом, гармоники составят 3,4% от 45 В и 1% от 162 В. Поскольку компонента 162 В является одновременно и выходным напряжением каскада, то понятно, что такой режим работы уменьшает искажения выходного сигнала с 4,4% до 1%.

Выходное сопротивление каскада составит 1,25 кОм при нагрузке между анодами 4 кОм, т.е. внутреннее сопротивление каскада равно 0,31 величины сопротивления нагрузки.

## ПЕНТОД В КАТОДНОМ ПОВТОРИТЕЛЕ

Пентод можно использовать в схеме катодного повторителя в соответствии с Рис. 13. Подобное включение требует дополнительной обмотки на выходном трансформаторе, поскольку напряжение на второй сетке должно изменяться в точном соответствии с напряжением на катоде. Пентодный катодный повторитель обеспечивает амплитуду выходного напряжения 280 В, при этом напряжение возбуждения составит  $280 + 22,5 = 302,5 \text{ В}$ .

Так же, как и триодный вариант, пентодный катодный повторитель снижает искажения с 2% до 0,15%, а выходное сопротивление – до 450 Ом, т.е. 0,068 номинального сопротивления нагрузки (6,6 кОм). Следовательно, катодный повторитель на пентодах имеет ряд преимуществ перед триодным: меньшие искажения и меньшее выходное сопротивление. Однако, расплата за них – значительное напряжение возбуждения – 302,5 В на каждую сетку. Кроме того, пентодный каскад работает с меньшим напряжением питания – 360 В против 400 В у триодного (см. рис. 6).

Катодный повторитель можно заставить работать и в ультралинейном режиме – для этого напряжения на вторых сетках должно составлять 57% от катодного. В этом случае потребуется уже 345 В амплитуды напряжения возбуждения (690 В от пика до пика). Искажения не превысят 0,5%, а выходное сопротивление 1,1 кОм (1/6 от сопротивления каскада).

На практике ни один из трех рассмотренных вариантов катодных повторителей не применяется, поскольку получение неискаженного напряжения возбуждения значительной амплитуды, обойдется дороже, чем построение высоколинейного выходного каскада. К счастью, существует ряд схем, как бы

промежуточных между обычным каскадом и катодным повторителем – в них цепь катода так или иначе связана с выходным трансформатором.

### КАСКАД С ЕДИНИЧНОЙ СВЯЗЬЮ

Одна из них – каскад с единичной связью (Рис. 15), является комбинацией обычного пентодного каскада с катодным повторителем. Напряжения на анодах, катодах и вторых сетках ламп этой схемы имеют одинаковые амплитуды, при этом напряжения катода и второй сетки каждой лампы синфазны, а анодов – противофазны им. Для этой схемы, как и для пентодного катодного повторителя, большое значение имеет качество и структура выходного трансформатора. Важно, чтобы потенциалы вторых сеток были жестко связаны с потенциалами катодов, иначе каскад будет работать неустойчиво. С этой целью намотка анодной (или экранной) обмотки должна производиться бифилярно с катодной.

Напряжение между витками может достигать значения +Uип и это предъявляет жесткие требования к изоляции обмоточного провода.

Амплитуда раскачки по каждой сетке составляет половину амплитуды выходного напряжения плюс напряжение сетка-катод, т.е.  $140\text{ В} + 22,5\text{ В} = 162,5\text{ В}$  (325 В от пика до пика), что существенно меньше, чем у катодного повторителя даже на триодах. Следует отметить, что в таком каскаде аноды и вторые сетки питаются от одного источника +Uип, поскольку используют одни и те же витки. Из-за такого питания несколько снизится выходная мощность каскада по сравнению с вариантом питания анода +360 В. Искажения каскада с единичной связью не превышают 0,3%, а выходное сопротивление 0,13 от величины сопротивления нагрузки.

### МОДИФИЦИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЛИНЕЙНЫЙ КАСКАД

Еще один вариант промежуточной схемы использует непосредственное подключение вторых сеток к источнику +270 В и является модификацией ультралинейного каскада (Рис. 16). Условия работы в ультралинейном режиме выполняются посредством выбора различного числа витков катодной и анодной обмоток. При этом соотношение витков выбрано так, что изменения напряжений между катодом и анодом; катодом и 2-й сеткой находились бы в соотношении 57 и 43 (могут быть и иные пропорции).

В данном каскаде возможно питание вторых сеток от источника с напряжением ниже анодного, что благоприятно для работы ламп. Выбрав напряжение питания анодов равным 400 В, можно получить выходную мощность как и в обычном ультралинейном каскаде (28 Вт). Искажения при этом составят 0,85% и будут представлены, в основном, третьей гармоникой, а выходное сопротивление не превышает 0,32 от сопротивления нагрузки.

Амплитуда напряжения возбуждения складывается из напряжения сетка-катод (45 В) и 43% от амплитуды анодного напряжения в обычном ультралинейном каскаде, итого 174 В или 348 В от пика до пика. Модифицированный ультралинейный каскад используется во многих коммерческих усилителях.

### CIRCLOTRON

Это последняя из рассматриваемых в обзоре схем на Рис. 17. В ней применяется два независимых источника

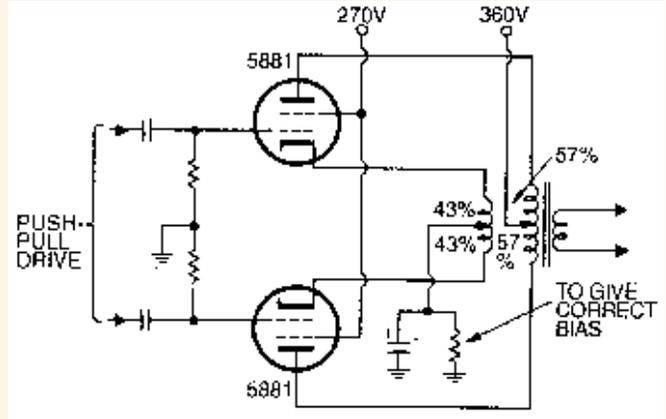


Рис. 16. Модификация включения UL, используемая в некоторых усилителях.

питания. Для удобства они обозначены на схеме в виде батарей. Зачем же так усложнять источник питания, применяя два отдельных выпрямителя для одного выходного каскада?

Дело в том, что схема Circlotron устраняет одну серьезную проблему, присущую всем другим каскадам: высокие требования к качеству выходного трансформатора. В таком каскаде нет необходимости в высококачественном и тщательном выполнении первичной обмотки, как в других схемах, а, следовательно, можно использовать трансформатор подешевле. Полученная экономия может окупить затраты на выполнение двух высоковольтных обмоток силового трансформатора.

Лампы в схеме по Рис. 17 работают в пентодном режиме, поскольку между катодом и второй сеткой каждой лампы поддерживается постоянное напряжение источника питания. По переменному току лампы включены параллельно; катод одной лампы соединен с анодом другой через источник питания, а вся схема подключена к земле через первичную обмотку выходного трансформатора. В этом заключается основное отличие Circlotron от обычного двухтактного каскада, где лампы по переменному току соединены последовательно. В результате в схеме Circlotron сопротивление нагрузки между катодами (или между анодами – как вам больше нравится) составляет всего одну четверть от величины нагрузки обычного

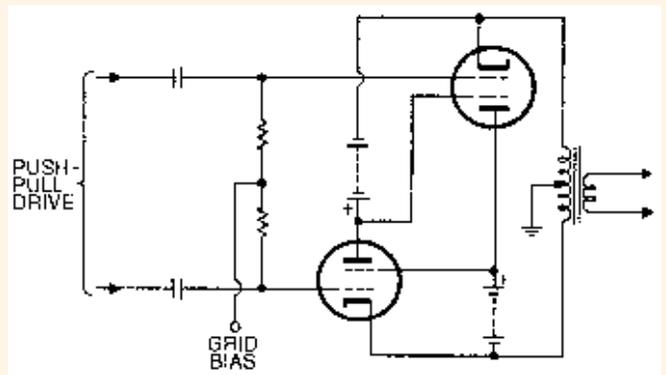


Рис. 17. Упрощенная схема Circlotron

Таблица 1 Сравнительные характеристики выходных каскадов на лучевых тетрадах 5881 (6ПЗС-Е)

Тип каскада	КПД %	Искажения		Реакция на изменение нагрузки				Напряжение раскочки (от пика до пика) вольт	Относит. в сопротив. $2R_i / R_{a-a}$
		Макс %	Доминир. гармоника	Резистивная	Реактивная	низкоомная	высокоомная		
SE триодный	7	5.5	2	оч. плох	оч. хор	плох	хор	40	0.375
SE лентодный	43	13	3, 5, 7	оч. плох	плох	плох	плох	36	11.5
PP триодный фиксирован. смещение	22.5	4.4	3	хор	оч. хор	хор	оч. хор	90	1.4
PP триодный автосмещением	16	5	3	оч. плох	оч. хор	оч. плох	оч. хор	70	0.4
PP пентодный	67	2	3, 7	хор	плох	оч. плох	плох	45	-5
UL	54	3.3	3	хор	хор	хор	оч. хор	90	1.25
PP катодный повторитель на триодах	25.5	1	3	хор	оч. хор	хор	хор	414	0.31
PP катодный повторитель на пентодах	67	0.15	3, 7	хор	плох	оч. плох	плох	605	0.068
UL катодный повторитель	54	0.5	3	оч. хор	оч. хор	оч. хор	оч. хор	690	0.17
Каскад с единичной связью	45	0.5	3, 7	хор	плох	оч. плох	плох	325	0.13
Модифицированный UL	54	0.85	3	оч. хор	оч. хор	оч. хор	оч. хор	348	0.32
Circlotron	45	0.3	3, 7	хор	плох	оч. плох	плох	325	0.13

двухтактного каскада. В пентодном варианте это сопротивление будет равно 1,65 кОм.

Оба источника питания «плавающие», каждый соединен со своим выводом первичной обмотки трансформатора, центральная точка которой заземлена. Если бы раскачка выходных ламп по первым сеткам производилось бы относительно земли, то оно соответствовало бы возбуждению катодного повторителя, поскольку напряжение на сетке должно было обеспечивать как амплитуду на участке катод-сетка, так и амплитуду выходного напряжения на катоде (аноде). В реальной схеме Circlotron этот недостаток частично устранен в связи с тем, что питание для ламп двухтактного драйвера можно снять с источника питания противоположной лампы выходного каскада.

### ПИКОВЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Если производить измерения относительно земли, то амплитуды напряжений на анодах и катодах составят 140 В – так же как и в каскаде с единичной связью. Поскольку на сетке амплитуда будет больше, чем на катоде на 22,5 В, то общее напряжение возбуждения составит 162,5 В (как и в каскаде с единичной связью). Соответственно значение от пика до пика равно 330 В, но, учитывая перекрестные связи источников питания, верхний вывод анодного резистора драйвера будет иметь пиковый потенциал 289 В, а нижний 330 В. Это означает, что динамическая нагрузка драйверного каскада будет в 7,2 раза больше, чем реальный резистор в его анод-

ной цепи. Поэтому можно использовать анодный резистор сравнительно небольшой величины с целью повышения рабочего напряжения на аноде драйверной лампы.

Для переменного тока значение нагрузки драйвера будет в 7 раз выше. Эта особенность каскада позволяет применять в драйвере относительно маломощные лампы.

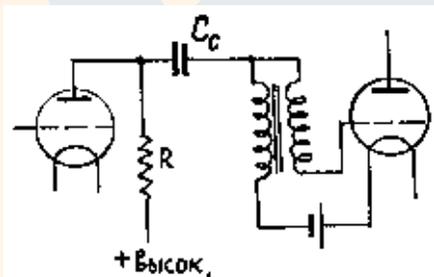
Выходная мощность Circlotron такая же, как и у двухтактного пентодного каскада при одинаковых напряжениях питания. Искажения того же порядка, что и у каскада с единичной связью. Выходное сопротивление на выводах вторичной обмотки будет также соответствовать каскаду с единичной связью. Хотя обе лампы и соединены параллельно (что уменьшает общее выходное сопротивление), такое включение требует меньшего значения коэффициента трансформации выходного трансформатора для согласования с нагрузкой – потому-то и сохраняется прежнее сопротивление на выводах вторичной обмотки. Центральная точка первичной обмотки заземляется только для того, чтобы обеспечить связь источников питания с остальными элементами усилителя по постоянному току.

Принципиальное различие между каскадом с единичной связью и Circlotron – в подходе к распределению затрат на элементы – либо сложный и дорогой выходной трансформатор и простой источник питания (единичная связью), либо дешевый выходной трансформатор и два изолированных источника питания (Circlotron).

В таблицу 1 сведены основные особенности всех рассмотренных схем.

### УНИЧТОЖЕНИЕ ПОСТОЯННОГО ПОДМАГНИЧИВАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

ПОСТОЯННЫЙ анодный ток, проходящий через первичную обмотку трансформатора, создает некоторое постоянное намагничивание сердечника трансформатора, ведущее к ухудшению действия трансформатора. Обычный способ ослабления этого намагничивания – применение пушпульного способа включения ламп. Кроме того, в отделе «Из литературы» мы дали еще один способ, предлагаемый американскими журналами. Даем еще одну схему из английского журнала «Wireless World» за январь 1930 г. (рис.). Первичная обмотка трансформаторов состоит из двух частей. Одна часть, как обычно, включена в анодную цепь электронной лампы, а другая ее часть замкнута через сопротивление R на анодную батарею. Таким образом ток, проходящий от анодной батареи через



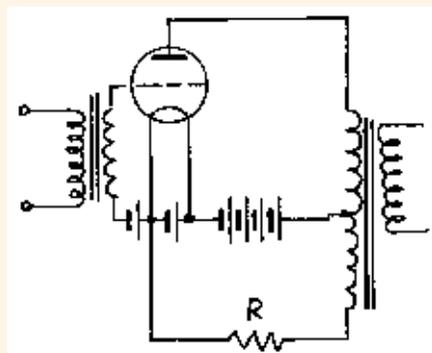
добавочную секцию первичной обмотки, создает постоянное магнитное поле, обратное магнитному полю, созданному анодным током, т.е. добавочная обмотка разматывает сердечник трансформатора, намагниченный анодным током. Сопротивление следует подобрать такой величины, чтобы проходящий через него ток создавал

такое же поле в трансформаторе, как и ток анодной цепи, тогда постоянное намагничивание сердечника получается наименьшим.

*Радиолюбитель 1930, № 3*

### И СОПРОТИВЛЕНИЕ И ТРАНСФОРМАТОР

Англичане считают, что если включить трансформатор низкой частоты в комбинации с сопротивлением и конденсатором по схеме рис. (первичная обмотка трансформатора не нагружена постоянной слагающей анодного тока), то усилитель будет усиливать равномерно более широкую полосу частот, т.е. будет меньше искажать, чем при включении обычным способом.



«Radio News» дает величины для сопротивления K – 25 тысяч омов и конденсатора  $C_c$  – 0,25 мкФ. Надо думать, что для наших ламп и трансформаторов наиболее выгодные величины, вероятно, будут другие («Wireless Constructor», декабрь 1929 г. и «Radio News», февраль 1930 г.).

*Радиолюбитель 1930, № 3*

# О ТОМ, КАК ПРАВИЛЬНО РАССМАТРИВАТЬ КАСКАД И НЕ ТОЛЬКО ОБ ЭТОМ

Д. Андроников

В 30-е – 50-е годы (разумеется нашего века), расчет любого лампового каскада было делом совершенно простым. Радиоловитель или инженер шел в ближайшую (сельскую, районную, институтскую) библиотеку, брал любую книгу со словами «Усилители\* на обложке, открывал на нужной страничке и считал, считал... Что из этого вышло – многие знают, взять хотя бы легендарный эзентно-ракетный комплекс С-75, до сих пор стоящий на вооружении во многих странах, и с помощью которого в Иране в 1991 г. был сбит один из хваленых американских самолетов-«невидимок» F19 «Стэлс», несмотря на чудовищные помехи и заявленную «невидимость» для радаров. В 70-х годах из-за нашествия транзисторной микроэлектронной техники книги по лампам были убраны на дальние полки библиотек, а в 80-х – 90-х и вовсе списаны и в большинстве своем уничтожены. Сохранившиеся крохи тех колоссальных знаний «золотого века ламп» разбросаны по всей матушке-России в единичных экземплярах, и сегодняшнему самодезьнику зачастую бывает сложно найти подходящую методику расчета лампового каскада.

Я постараюсь в доступной и несложной форме без теоретических «наворотов» изложить основы расчета и проектирования каскада усиления



напряжения с резистивной анодной нагрузкой, а тем, кто заинтересуется теоретическими тонкостями, могу посоветовать обратиться к книге Г.В. Войшвилло «Усилители низкой частоты на электронных лампах». Копии с этой, а также многих других книг по ламповой тематике и справочные данные на лампы всех типов можно заказать в редакции нашего журнала.

Итак, реостатный каскад усиления с анодной нагрузкой...

Самым наглядным, простым и удобным, но в то же время и весьма точным методом расчета лампового каскада, является графический метод с использованием динамической характеристики (ДХ). Для лампы, работающей в усилительном каскаде ДХ – это зависимость анодного тока от напряжения на сетке при наличии сопротивления нагрузки в анодной цепи и постоянстве напряжения анодного питания. Вид динамической характеристики зависит, в частности, от характера нагрузки, но в целях упрощения будем рассматривать случай, когда нагрузка чисто активная, а скорость

изменения напряжения на сетке очень мала по сравнению со скоростью протекания процессов в лампе [1].

Для расчета каскада удобнее всего использовать выходную динамическую характеристику.

На Рис. 1 приведено семейство выходных статических характеристик триода 6С5С. Для построения динамической характеристики необходимо задать два исходных параметра – напряжение источника анодного питания и сопротивление анодной нагрузки. Напряжение анодного питания, в принципе, может быть весьма высоким, важно лишь, чтобы в рабочем режиме разность потенциалов между анодом и катодом не превосходила максимального значения, указанного в справочниках. Сопротивление анодной нагрузки определяется несколькими условиями: усилением каскада, допустимыми искажениями, максимальным выходным напряжением и максимальным током анода лампы.

Отложив на оси напряжений величину напряжения источника питания (А), на оси токов величину (В):

$$I_a = U_a / R_a \quad (1)$$

и соединив эти точки прямой линией, получим динамическую характеристику.

Рабочая точка лампы выбирается, исходя из необходимого смещения на сетке, которое зависит от требуемого неискаженного выходного напряжения. Следует, однако, помнить, что чем ниже напряжение на сетке относительно катода, тем в более нелинейной области характеристик мы работаем и тем выше искажения. Из опыта конструирования усилительной техники можно сделать вывод о минимальном необходимом смещении, т.е. таком, при котором максимальная амплитуда сигнала на сетке не превысит величину  $U_{с0} - 0,5 A$ .

В каскадах предварительного усиления сопротивление анодной нагрузки я, обычно, стараюсь уложить в диапазон  $(3-10)R_l$ , где  $R_l$  – внутреннее сопротивление лампы. При этом иска-

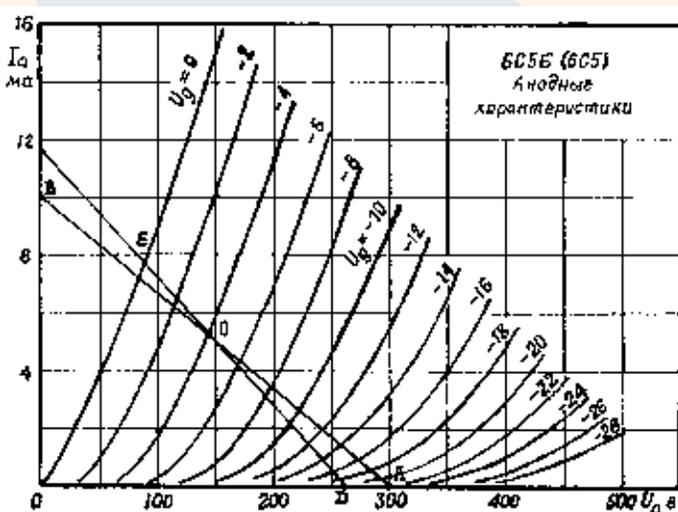


Рис.1

жения не велики [1] а коэффициент усиления достаточно высок.

Схема реостатного каскада на триоде 6С5С приведена на Рис. 2, а динамическая характеристика, рассчитанная для значений  $U_a=300$  В и  $R_a=30$  кОм, приведена на Рис. 1 (прямая АВ).

Напряжение смещения на сетке выбрано равным -4 В, при этом в точке покоя 0 ток анода равен 5,1 мА, а напряжение на аноде 147 В. Эта характеристика верна для бесконечно малых частот в звуковом же диапазоне сопротивление разделительного конденсатора  $C_p$  пренебрежимо мало (т.е. используется относительно большая емкость, иначе получите спад АЧХ на низах) и, поэтому по переменному току каскад нагружен не только на  $R_a$ , но и на параллельное ему  $R_c$ -сопротивление сетки последующего каскада. Величина этого сопротивления может быть разной (от десятков Мом для маломощных ламп до десятков кОм для мощных выходных). Его максимальная величина обычно указана в справочных данных мощных ламп и превышать ее ни в коем случае нельзя – из-за термоэмиссии сетки, нагреваемой излучением катода, может развиваться лавинообразный процесс нарастания анодного тока и лампа выйдет из строя. Небольшая величина этого сопротивления снижает ЭДС термоэмиссии, не позволяя возрастать по-тенциалу сетки и, тем самым ограничивая саморазогрев лампы. Получается, что сопротивление анодной нагрузки будет равно величине

$$R_a \sim \frac{R_a R_c}{R_a + R_c} \quad (2)$$

Поэтому для тока сигнала выходная динамическая характеристика изменит свой наклон и будет проходить через точку покоя 0 и точку D по оси

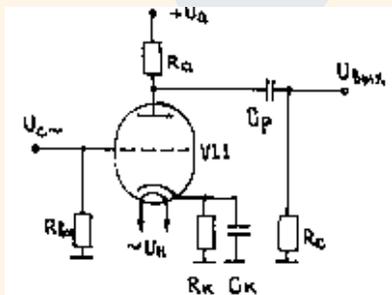


Рис. 2 Каскад усиления напряжения с общим катодом и автоматическим смещением.

напряжений. Эту точку можно определить по формуле

$$U_{aD} = U_{a0} + I_{a0} R_{a\sim} \quad (3)$$

В нашем случае при  $R_c=100$  кОм получается  $U_{aD} = 264$  В (прямая OD Рис. 1).

По построенной нами ДХ можно определить практически все параметры каскада.

1. Максимальная амплитуда выходного напряжения:

а. для отрицательной полуволны:

$$U_{a(-)}^n = U_{a(F)} - U_{a0} = 205 - 147 = 58\text{В} \quad (4.1)$$

б. для положительной полуволны:

$$U_{a(+)}^n = U_{a0} - U_{a(E)} = 147 - 85 = 62\text{В} \quad (4.2)$$

2. Коэффициент усиления реального каскада:

$$K_o = \frac{U_{aF} - U_{aE}}{2U_{co}} = \frac{205 - 85}{8} = 5 \quad (5)$$

3. Ориентировочный коэффициент 2-й и 4-й гармоник при максимальной амплитуде сигнала:

$$K_r = \frac{|EO - FO|}{2FE} = 0,0312 \quad (3, 12\%) \quad (6)$$

где EO, FO, EF – длины отрезков на ДХ [4]

4. Сопротивление автоматического смещения в катоде лампы:

$$R_k = \frac{U_{co}}{I_{a0}} = \frac{4\text{В}}{5,1\text{mA}} \approx 789 \text{ Ом} \quad (7)$$

Таким образом, имеются все исходные данные для построения каскада. Величины емкостей определяются следующим образом:

5.

$$C_k \approx \frac{10 \div 100}{2\pi f_H R_k} \quad (8)$$

где  $f_H$  – нижняя граничная частота (-3 дБ)

6. Разделительный конденсатор:

$$C_p \approx \frac{1}{2\pi f_H R_c \sqrt{M_H^2 - 1}} \quad (9)$$

где  $M_H$  – абсолютный спад АЧХ на нижней частоте (в разгах).

7. Входная емкость каскада:

$$C_{вх} + C_M + C_{вхД} + C_{ск} \quad (10)$$

где  $C_M$  – емкость монтажа (обычно 10-20 пФ)

$C_{ск}$  – емкость сетка-катод лампы, входная

$$C_{вхД} = (1+K)C_{ca} \quad (11)$$

$C_{ca}$  – емкость сетка-анод лампы, проходная

$K$  – коэффициент усиления каскада.

По сути, мы получили полную картину работы реостатного каскада усиления на триоде.

Если в качестве усилительного элемента применяется экранированная лампа (тетрод или пентод), то порядок и принцип расчета остаются прежними. Необходимо, лишь учесть, что для работы экранированной лампы необходимо подать определенное положительное напряжение на вторую сетку. Для каскада предварительного усиления это напряжение легко подавать через резистор от источника анодного питания, рассчитав его величину по формуле:

$$R_k = \frac{U_a - U_{c2}}{I_{c2}} \quad (12)$$

где  $U_{c2}$  – напряжение на второй сетке для выбранного режима (для маломощных пентодов обычно составляет 50-150 В),

$I_{c2}$  – ток второй сетки в рабочей точке (определяется по характеристикам лампы, приводимым в справочниках).

Для правильной работы пентода напряжение на второй сетке должно быть постоянным относительно катода, но, поскольку, при изменении напряжения на аноде, ток второй сетки существенно меняется, то ее необходимо зашунтировать на землю конденсатором емкостью

$$C_{c2} \approx \frac{10 \div 100}{2\pi f_H R_k} \quad (13)$$

Следует учесть, что формула (6) для оценки величины искажений каскада для пентода дает существенную ошибку из-за сильного отличия его характеристик от квадратичной, а поэтому расчет нелинейности следует производить методом «пяти ординат» [1], [2]. Кстати, результаты такой оценки обладают весьма высокой степенью достоверности и хорошо согласуются с многочисленными практическими данными, полученными мною.

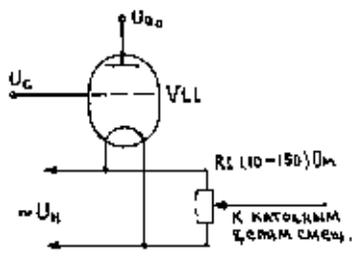


Рис. 3а. Цепь питания накала ламп с катодом прямого накала.

При расчете каскада не будет излишним проверить в насколько тяжелом режиме работает лампа.

Про максимальное напряжение на аноде я уже упоминал, т.о.  $U_{ao}$  должно быть меньше, чем  $U_a \text{ max}$ , указанное в справочниках. Правда, здесь есть одна тонкость. Если в вашем выпрямителе питания применены полупроводниковые диоды, то полное напряжение питания появляется практически сразу после включения устройства в сеть. Катод лампы, в особенности подогретый, не успеет разогреться до нормальной температуры и в первый момент после включения внутреннее сопротивление лампы очень высоко. А это значит, что все напряжение источника питания будет приложено к аноду лампы, еще не прогретой. Такое «жестокое обращение с животным» резко сокращает срок службы прибора.

Поэтому, если у вас в устройстве не предусмотрена задержка включения анодного питания на 1-2 мин. после включения накала, не выбирайте анодное питание выше максимального анодного напряжения примененных ламп. Иначе, по отношению к лампам, это будет просто варварством.

Мощность рассеяния на аноде можно определить по формуле:

$$P_a = U_{ao} I_{ao} \quad (14)$$

Эта величина ни коем случае не должна превышать максимум, обязательно указываемый в справочных данных. Даже незначительное превышение ведет к резкому росту температуры анода и баллона, газоотделение из стекла и внутренней арматуры и, в результате, к отравлению катода и гибели лампы.

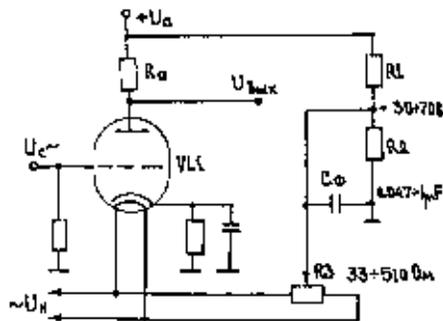


Рис. 3б. Цепь питания накала ламп с катодом косвенного накала, при усилении слабых сигналов (10 мВ-2V).

Желательно также проверить тепловые режимы резисторов каскада. Мощность рассеяния на анодном резисторе составляет:

$$P_{Ra} = I_{ao}(U_{ao} - U_{aO}) \quad (15)$$

Для звуковой техники желательно применять резисторы с 2-5 кратным запасом по мощности, поскольку дополнительный нагрев увеличивает наведенный шум резисторов и нелинейность сопротивления от приложенного напряжения. Эти эффекты в наибольшей степени характерны для металлопленочных резисторов, в наименьшей – для проволочных и бороуглеродных.

Если реостатный каскад применяется в качестве драйвера для мощного выходного каскада на современных модуляторных лампах типа RB300-3CX, обладающих высокими значениями коэффициента усиления  $\mu$  и крутизны  $S$ , то для оценки способности работы драйвера на сеточную цепь такой лампы на верхних частотах необходимо при построении ДХ. при расчете максимальной амплитуды выходного напряжения учесть следующее: высокая динамическая входная емкость такой лампы (от 80 до 120 пФ для различных экземпляров) создает дополнительную нагрузку для анодной цепи. Поэтому при построении ДХ следует величину  $R_c$  считать близкой к

$$Z'_c \approx \frac{1}{2\pi f C_{вх} + 1/R_c} \quad (16)$$

где  $C_{вх}$  – входная динамическая емкость мощной лампы и, исходя из этой ориентировочной величины, строить ДХ. Строго говоря, в этом случае ДХ является уже не прямой, а эллипсом и точный расчет напряжений

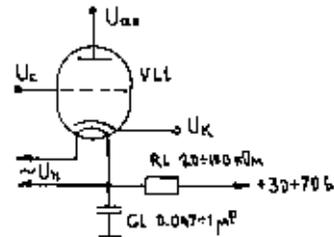


Рис. 3в. Цепь питания накала ламп с катодом косвенного накала при усилении сигналов значительной амплитуды (>2V).

и токов в этом случае более сложен и подробно разобран в [1-3].

Много вопросов вызывает и определение оптимального положения рабочей точки лампы. С одной стороны, нежелательно выбирать смещение слишком большим, ибо в этом случае лампа будет работать в нелинейной области характеристик; а с другой – недопустимо, чтобы амплитуда сигнала превышала величину смещения, т.к. появляющийся в этом случае сеточный ток, сильно исказит форму входного сигнала. В то же время, линейность лампы возрастает по мере роста анодного тока или приближения напряжения смещения к ОВ. За исключением особых случаев, когда требуется искусственно увеличить нелинейность каскада, например, для компенсации искажений выходной лампы, я могу рекомендовать как можно меньшее смещение, но так, чтобы сеточный ток не возникал ни при каких рабочих условиях.

Несколько слов о путях снижения фона в каскадах, накал которых питается переменным током. Существует ряд схем (Рис. 3а, б), предназначенных для уменьшения фона. Схема на Рис. 3а используется для работы с лампами прямого накала (УО186, 300В, 2А3. SV-572 и др.). В этом случае перемещением движка резистора (обязательно проволочного, высокого качества, ибо через него замыкается цепь сигнала на землю) добиваются наименьшего значения фона на выходе каскада.

Схему на Рис. 3б рекомендуется применять для входных каскадов, а на Рис. 3в для драйверных. При этом можно добиться напряжения фона, приведенного к сетке лампы всего 5-12 мкВ,

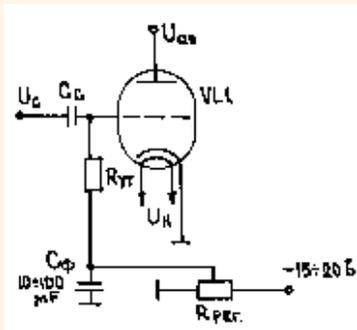


Рис. 4. Подача фиксированного смещения на сетку лампы.

что вполне достаточно для большинства схем усилителей, (кроме RIAA-корректоров и микрофонных каскадов).

И, наконец, к вопросу о смещении ламп. Существуют два способа организации смещения на сетку: фиксированное смещение, когда отрицательное напряжение заводится на сетку от отдельного источника (Рис. 4), и автоматическое, за счет падения напряжения от протекающего тока в цепи анод-катод на резисторе в цепи катода (Рис. 2). Как известно, чаще всего применяют второй способ. Он всем хорош, кроме двух моментов:

а) По сути дела, сопротивление в катоде организует местную ООС по току, снижающую усиление каскада и увеличивающую его выходное сопротивление. Иногда это бывает полезно,

но далеко не во всех случаях. Кроме того, как и в любом устройстве с ОС могут (подчеркиваю – могут, но не должны) возникнуть проблемы с устойчивостью и изменением спектра вносимых каскадом искажений. Как бы широкополосна эта ОСС не была, воздействие на высшие гармоники у нее меньше, чем на низшие. Особенно это заметно в каскадах на лампах с высоким внутренним сопротивлением.

б) Обычно, для снятия части проблем (снижение усиления и возрастание входного сопротивления) бедный катодный резистор шунтируют большой емкостью. Все было бы хорошо, если бы ни одна маленькая неприятность – через эту емкость протекает вся переменная составляющая тока сигнала и таким образом уйма отрицательных свойств конденсаторов преспокойно воздействует на звуковой сигнал. В том числе и поэтому господа Н. Kondo и Н. Riechert в своих конструкциях (Onyaku, Niogo и т.д.) не шунтируют катодные резисторы входных ламп.

А вот способ фиксированного смещения, хоть и менее распространен (из-за неудобства, вызванного дополнительным источником отрицательного напряжения) этих недостатков не имеет. Кроме того, он позволяет в очень широких пределах менять режим работы лампы, т.е. перемещать рабочую точку по всей длине ДХ. Единственный

недосток фиксированного смещения (разумеется, кроме дополнительного источника) заключается в применении дополнительного конденсатора в цепи сетки лампы. Но ведь гораздо легче подыскать хороший конденсатор малой емкости, чем такой же по качеству – большой и чаще всего электролитический.

Это очень схематичная и краткая картина работы реостатного каскада не претендует на полноту и академичность, но и то немалое, что было сказано, убедит вас, что даже такое простое устройство несет в себе тысячи подводных камней и проблем, пренебрежение и незнание которых ведут в темные тупики аудио-ада.

В последующих статьях мы расскажем о проектировании выходных каскадов, их расчете и эскизном конструктивном расчете выходных и межкаскадных трансформаторов. Успешной вам работы.

#### Литература

1. Войшвилло Г.В. Усилители низкой частоты на электронных лампах. М., Связьиздат, 1963
2. Марк М.Г. Усилители высокой и низкой частоты. Госэнергоиздат, 1932
3. Ламповые усилители, т.1, т.2, пер. с англ. М., Советское Радио, 1950, 1951
4. Берг А.И. Основы радиотехнических расчетов, ч.1, ч.2, Л., Изд. ВМА, 1928

## ДЕЛЬНЫЕ ВЕЩИ

### (ЗАДЕРЖКА АНОДНОГО ПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДВУХ ВКЛ/ВЫКЛ)

Чтобы не снижать ресурса ламп, желательно подавать анодное питание с временной задержкой, пока катоды ламп не прогреются до рабочей температуры.

Применение электровакуумных кенотронов, благодаря их собственному замедленному прогреву (5Ц3С, 5Ц8С, 5Ц9С, 5Ц4С и т.д.), удовлетворяет такому требованию. Когда же используются п/проводниковые выпрямители и особенно, когда предварительный прогрев необходим по жизни, подойдут термисторы, реле времени, тепловые реле.

В усилителях с непосредственной связью между каскадами, таких, к примеру, как Loftin-White, без задержанной подачи анодного напряжения, просто не обойтись. Так как рабочие напряжения в таких схемах жестко связаны меж-

ду собой (напряжение анода первого каскада является сеточным потенциалом выходной лампы), повреждение ламп очень даже возможно. Вы же не хотите спалить 300В или 2А3 при первом же включении?!

Предлагается простой, но эффективный способ путем использования отдельных трансформаторов накала и анодного напряжения. Включите любой тумблер сети, выждите минуту и включите второй.

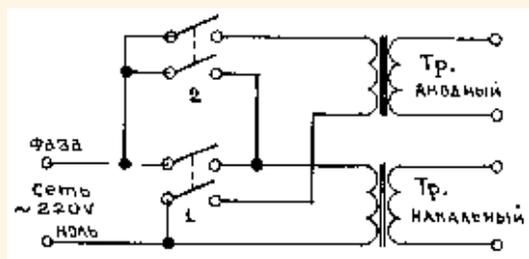
В любом случае, первым включится нахальный транс, перепутать невозможно! И уж, конечно, вы не станете отключать на кал во время прослушивания.

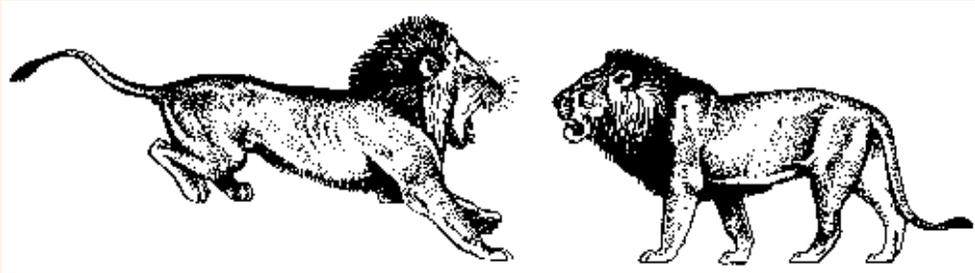
Схема на рисунке обладает абсолютной надежностью

(что может быть проще?), если вы будете тумблер 1 включать первым, а выключать последним. Впрочем, очередность включения необязательна.

Итак, все, что требуется, это пара двухполюсных тумблеров и готовность включать их последовательно.

P.S. Осталось сказать, что нижний конец по схеме должен быть «нулевым». Ради безопасности.





## SINGLE-ENDED VS PUSH-PULL. Part 1

Scoff Franklad, *Stereophile*, 12/96

Являясь музыкантом по призванию и образованию, в колледже Скотт Франкланд увлекался философией, чтобы в конце концов полностью переключиться на электронику и прикладную математику. С 1983 г. он занимается разработкой техники для Moor, Frankland Associates (MFA) и для Wavestream Kinetics. В марте 1996-го он получил патент на свой триодный усилитель мощности. Является независимым автором во многих аудиоизданиях со статьями технического и философского характера.

На обложке январского выпуска *Stereophile* за 1994 г. показаны двухтактный Krell и однотактный Cary. Надпись гласит: «Если один из этих усилителей ПРАВИЛЬНЫЙ... другой должен быть НЕПРАВИЛЬНЫМ». Данная статья является попыткой разрешить эту загадку, а заодно ответить на риторику Дж. Аткинсона в декабрьском/95 *Stereophile* (стр. 17), когда он задался вопросом – звук однотактников хорош из-за слышимых или измеряемых проблем, либо вопреки им.

Что есть звучание однотактников (SE)? Чем он соблазнителен для столь многих опытных слушателей? Есть ли ему хоть какая-то альтернатива? Эти вопросы появились в High-End'e несколько лет назад. В этой трехчастевой статье я стану обсуждать механизм появления искажений нечетного порядка, уделяя особое внимание следующему: 1) Всегда ли они неприятны? 2) Каким образом они маскируются при однотактном усилении? 3) Как они возникают в двухтактном? 4) Что можно с этим поделать?

Здесь не обойтись только указанными вопросами, тем не менее, каждому из них будет дана обязательная оценка. Хотя пассивные элементы могут «созидать» или «разрушать» звук по некоторому конструкторскому замыслу<sup>1</sup> (Refs. 1, 2 о влиянии на качество пассивных элементов, включая сюда различные лампы от разных изготовителей), с целью упрощения дискуссии, эта тема не будет обсуждаться.

### ЗАМЕЧАНИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ

Хорошо известно, что искажения становятся менее терпимы по мере роста их порядка (3, 4), даже очень небольшая величина продуктов искажений высших порядков хорошо различима (5). Однако, когда спектр становится комплексным, влияние их на звук становится плохо предсказуемым. Спектр искажений для обывателя выглядит подобно туманным испарениям. Тем не менее, возможно разглядеть характерные особенности спектров и сделать наглядные выводы.

В контексте данной статьи я пытаюсь измерениями не подменить прослушивание, но дать оценку и расширить диапазон измерений, имеющих корреляцию со слуховым опытом. Допускаю, что эти измерения более полезны для разработчиков, но и аудиофилы и ревьюеры смогут отыскать полезные корреляции, если осмелятся взглянуть на них. Перед тем, как двинуться в дорогу, неплохо бы окинуть взглядом перспективу данного вопроса.

### ТРИОДЫ И ТЕЛЕФОННЫЕ ЛИНИИ

Изобретение триода, как электронной лампы, принято считать точкой отсчета современной электроники<sup>2</sup>. Подобно кристаллу микросхемы в наше время, триод пришил усилие армии физиков, химиков, материаловедов во всем мире. Новые патенты, споры за приоритеты и лицензионные соглашения все тянутся с начала века до наших дней.

Историческая ценность триода не может быть излишне завышена. Вот как А. Харлоу описывает триод в своей книге «Old Wires and New Waves»: «Для непосвященных он мало что значит, но этот миниатюрный баллончик был на самом деле «крошкой-гигантом» во всей истории и возможно, квинтэссенцией разума человеческого. Он придал невиданные мощности антеннам, а с усилением голоса человека радиотелефония стала законченным продуктом. Добавляя к одной лампе еще одну, затем еще одну, усиление росло в громадной степени – миллионы, миллиарды раз».

Этот факт не прошел мимо Ли Де Фореста, который в 1912 г. изобрел первый в мире многокаскадный усилитель (7). Выражаясь технически, это был трехкаскадный однотактный усилитель напряжения. Усилитель едва дышал, однако, благодаря присутствию газа в баллонах. Как и большинство ученых того времени, Де Форест полагал, что молекулы газа способствуют усилению. Позднее стало понятно, что это справедливо лишь при низких анодных напряжениях. При высоких, положительные ионы препятствуют нормальной работе лампы<sup>3</sup>.

1. То же самое можно сказать об источнике питания. Усилитель подобен монете с тремя сторонами, одна из которых будет рассматриваться в этой статье: схемная топология.

2. Ли Де Форест запатентовал триод в 1907 году. Он назвал свое изобретение как «Устройство для усиления слабых электрических токов» (US pat. # 841, 387). В 1908 г. он получил патент за усовершенствованный триод (US pat. # 879, 532). Последний имел название – «Пространственная телеграфия» и касался беспроводной передачи сигналов.

3. В 1913 г. Langmuir опубликовал монографию (88), где утверждается существование чистого электронного разряда. Аргументы его опираются на более фундаментальные открытия британского физика С. W. Richardson'a.

В тот же год Де Форест представил свой усилитель фирме The American Telephone & Telegraph Company. Люди от телефонии заинтересовались этой новинкой, но совершенно не знали, что с ней делать. Из Чикагского университета был приглашен Harold Arnold, чтобы осознать смысл всего этого. Из теоретических работ, проведенных совместно с нобелевским лауреатом RoberfoM Millikan'ом Arnold сделал предположение, что электронный разряд способен создать электрический ток только при отсутствии ионов газа (неизвестное «голубое свечение»). Химик-исследователь Irving Langmuir из General Electric Company (GE) был близок к догадкам Arnold'a, предполагая чистую термоионную эмиссию; однако, вплоть до 1912 г. (появления высоковакуумного насоса) ни один не мог подтвердить это на деле.

Вооруженный лишь собственными предположениями, Arnold создал лампу с высоким вакуумом на Western Electric – производственном отделении AT&T. Его упорство было вознаграждено – в 1915 г. состоялся выпуск триода 101B. Это был прорыв, ибо средний ресурс лампы был 4000 часов – в 10 раз больше, чем у любого предшественника<sup>4</sup>. С этого момента WE начала установку ламповых усилителей, работающих как «ретрансляторы» на трансконтинентальных телефонных линиях. Это было первым опытом использования электронных усилителей в коммерческих целях (8).

В Штатах большинство пионерских разработок ламповых технологий связано с фирмами либо WE, либо GE. Наиболее сложно было откачать воздух из баллона, когда вся начинка уже была установлена, а затем «запечатать» созданный вакуум. Второй задачей было создание прочного массивного катода с высокой эмиссией. Третьей проблемой стал анализ общих характеристик триодов, чтобы целенаправленно вести разработки для различных целей<sup>5</sup>. После решения первых трех можно было приступить к оценке факторов, влияющих на срок жизни лампы.

Эволюция усилителей шла параллельно разработкам новых ламп. Но она происходила только исходя из задач WE – передача голоса, либо иных сигналов на значительные расстояния, сначала по кабелю, затем по воздуху. Необходимо сказать, что усилители проектировались с минимальными искажениями, насколько возможно, чтобы чисто усиливать голосовые сигналы и затем передавать их внятно по длинным линиям.

Следует отметить, в этой связи, сколько новшеств появилось в audio благодаря исследованиям в коммуникациях, осуществленных AT&T. К примеру, двухтактный трансформатор был изобретен в 1912 г. спустя только пять лет после изобретения триода (9). Удивительно, что это случилось в тот же год, когда Де Форест изобрел одноконтный усилитель! Двухтактная схема была предложена E.H. Colpits'eM, главой отдела разработок на WE. Для меня остается мистикой, почему WE, имея изобретение двухтактного усилителя и владея правами на триод Де Фореста, не приступила сразу же к реализации двухтактного принципа с целью уменьшения

искажений в телефонных трансляторах. Ясное дело, что эти трансляторы были одноконтными. Будет неправдой, однако, заключить, что инженеры WE находили одноконтники более качественными по сути. Наоборот, специалисты фирмы бились за уменьшение искажений все двадцатые годы и еще в тридцатые.

Человеком, способным решить проблемы искажений, стал H.S.Black. Начав работать на WE в 1921 г., он принялся за разработку средств, с помощью которых, несколько звуковых каналов (голосовых, как правило) можно было подать на усилитель, а на выходе получить их несмешанными и чисто усиленными. К тому моменту стало понятно, что искажения, создаваемые каждым усилителем, размещаемым на равных интервалах по длинной линии для компенсации потерь, вносимых милями медного провода, на выходе «накапливались». Вдобавок присутствовала взаимная модуляция каналов между собой. Black выяснил, что подачей инвертированного выходного сигнала на вход, можно добиться уменьшения искажений (10). Тогда, рассчитывая усилитель с «избыточным усилением», можно добиться снижения искажений посредством «обратной связи», оставив при этом требуемое усиление полезного сигнала на выходе. Это обманчивое своей простотой решение пришло ему в голову во время переправы через Гудзон.

Спустя много лет, в 1957 году, Харальд Блэк был награжден Золотой медалью Американского Института инженеров (AIEE). Вот что сказал в этой связи M.J. Kelly, президент Bell Labs: «Наряду с изобретением аудиона Де Фореста, работа Блэка является самой значительной в электронике и связи за последние 50 лет... Без стабильного усиления, свободного от искажений, достигнутого благодаря изобретениям Блэка, современные многоканальные коммуникации на континенте и через океан не были бы возможны (11)».

## ПЕРВЫЕ УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

В 1924 г. появилась статья с расчетом оптимальной нагрузки триода с целью получения максимальной мощности (12). В1925 г. уже появилась обобщающая теория электронного усиления мощности (13). Она была написана ни кем иным, как Эдвардом Келлогом (Ed. Kellogg – вместе с Rice'ом изобрел динамик электродинамического типа с подвижной катушкой, остающийся и по сей день самым популярным). В статье Kellogg предположил, что 5% искажений являются предельно допустимыми в звуковых усилителях. Он показал при этом, что данная величина приемлема только в том случае, если кривизна характеристики передачи является «непрерывной и однородной, даже если сама характеристика резко обрывается на концах». Под этим подразумевалось, что продукты искажений должны быть низкого порядка, т.е. второго, третьего, четвертого и вероятно пятого.

4. Так как большинство ламп, разработанных WE, было предназначено для специальных цепей, таких как трансокеанские телефонные ретрансляторы, то и выполнены они были по высочайшим кондициям качества и надежности. Частенько в них применялись экзотические материалы – платина и иридий для нитей накала. Изготовленные из них катоды прямого накала покрывались многослойной пленкой из оксидов бария и стронция, наносившихся поочередно. Подобно лучшим самурайским мечам, нить накала нагревалась до 1000° после очередного слоя. И так, 16 слоев из оксидов, что получило название стандартного катода WE. Лампы с такими катодами позднее обнаруживались вполне пригодными после 20000 часов работы в лабораторных условиях.

5. Работа по формализации функциональных соотношений между сеткой, катодом и анодом была выполнена Ван Дер Биглем (H.J. Van der Bijl – второе лицо в лаборатории физических исследований в WE). Он стал отцом теории ламп (94). Его книга «Теория электронных ламп и их применение» (Mc Graw Hill, New York, 1920) являлась первым главным опубликованным трудом по электровакуумным приборам.

В Британском еженедельнике *Wireless World* (14) появился исчерпывающий анализ работы двухтактного усилителя. Примерно в то же время фирма Thordarson предложила свои усилительные конструкции (КlTy) на рынок Штатов. В журнале *Radio* и подобных ему реклама гордо гласила: «Это даст шанс вашему радио воспроизвести реальную музыку. Построй усилитель мощности Thordarson». Компания предлагала и однотактные и двухтактные усилители. Потребность в усилителях с большой мощностью и высоким КПД обнаружилась в кинотеатрах еще в самом начале 30-х (15). В результате двухтактные усилители с трансформаторной связью получили признание в PA (Public Adress – озвучание больших площадок, вещание на широкую аудиторию). Они работали в классе-B, с целью получения максимальной мощности на выходе (16). Сразу же были выяснены проблемы с качеством в этом режиме и подобный подход больше не возникает в hi-fi кругах (17, 18).

Весьма заметным продуктом в тот период явился однотактный усилитель WE Model 91-A. Рассчитанный на озвучание малых кинотеатров, он использовал на выходе один триод ЭООВ, дававший 3,5 ватта. Для больших театров был предназначен двухтактный Model 86-A. Пара 300А на выходе давала 15 ватт.

Так обстояло дело до эры hi-fi, чьи проблески уходят в ранние 30-е.

## THE HIGH-FIDELITY УСИЛИТЕЛЬ

В 1934 году в *Wireless World* (19) появилась статья, давшая начало новой эре. Ее автор W.T. Cocking предположил, что 5% искажений слишком много для качественного усилителя. Он заявил, что целью воспроизведения является создание в домашних условиях того звука, который мог быть услышан в студии.

Этой декларацией отмечено концептуальное рождение эры high-fidelity, насколько верно я могу отыскать его корни. Считать Cocking'a предвестником следует не потому только, что он был влиятелен и авторитетен, но и оттого, что его усилитель постепенно эволюционируя, привел к знаменитому усилителю Уильямсона (D.T.N. Williamson).

Подход Cocking'a заостряет три момента: уменьшение частотных искажений, амплитудных искажений и, наконец, – фазовых искажений. Частотный диапазон был расширен до 10 кГц посредством емкостной (гальванической) связи между каскадами, а не межкаскадными трансформаторами, как было принято в то время (20). Это также вело к уменьшению фазовых искажений в верхнем диапазоне, улучшая, таким образом, отклик на скоростные сигналы с крутыми фронтами.

После этого он сравнил триоды с пентодами и пришел к выводу о предпочтительности триода за его лучшую способность демпфировать колебания подвижной системы на резонансе. Далее последовало сравнение SE и PP включений и сделан вывод, что последний (PP) объективно создает меньше искажений второго порядка. По поводу искажений Cocking заявил: «Отсутствие амплитудных искажений оказалось наиболее заметным при проведении тестов (прослушиваний), а повышенная ясность и чистота выявили тот факт, что хотя искажения, вносимые обычной техникой усиления и не велики, они имеют неблагоприятное воздействие.

В итоге: отсюда должно быть ясно, что идеальным выходным каскадом для существующего типа громкоговорителей является пара триодов в двухтактном включении»<sup>6</sup>.

Этот концептуальный разбор получил хождение по всей Британии вплоть до Австралии. Cocking упорно «добивал» начатое дело, завершив его серией статей в *Wireless World* 1. В самом деле, эти работы оказали в 30-е годы такое же влияние на умы публики, как впоследствии статьи Уильямсона, опубликованные в 40-х. «The *Wireless World* Push-Pull Quality Amplifier» – качественный двухтактный усилитель WW. Он стал как бы семенным фондом, неким законодателем, на который оглядывались последующие 20 лет.

## РОЖДЕНИЕ УСИЛИТЕЛЯ WILLIAMSON'A

В августовском номере за 1938 г. (22) в редакционной статье WW был дан способ адаптирования усилителя Cocking'a для использования в связном приемопередатчике (22). Доработка содержала фазоинвертор с разделенной нагрузкой по входу с тем, чтобы принять обычный сигнал (усилитель Cocking'a имел балансный вход). В январе 1946-го появилась статья – продолжение довоенной, где в схему была введена обратная связь (23). Год спустя D.T.N. Williamson опубликовал свою статью «Конструирование высококачественного усилителя»<sup>7</sup>.

Он не только добавил инвертор (впрочем, уже известный), но и ввел дополнительный каскад усиления по напряжению. По его замыслу каскад должен был компенсировать потерю усиления из-за введения обратной связи, оставляя чувствительность по входу неизменной. Уильямсон был сосредоточен главным образом на «эффективном усилении», т.е. максимальном продлении полосы вверх, так как раннее падение усиления могло подействовать на «точное воспроизведение скоростных, транзитных сигналов». Дополнительный каскад имел непосредственную связь с инвертором по входу, что давало некоторый плюс по уменьшению фазового сдвига на крайних низких частотах.

В своей статье он перекликается с идеями Cocking'a, суммируя требования при конструировании высококачественного усилителя: «...Тогда выходит, что расчет усилителя для воспроизведения звука, дающего высшее качество, должен быть основан на применении триодов в двухтактном включении с использованием отрицательной обратной связи».

Он уделил особое внимание следующим выдающимся постулатам:

1) Выходной импеданс усилителя должен быть «много меньше», чем у громкоговорителя. «Чтобы избежать высокого резонансного выброса, жесткость подвеса в качественных головках должна быть малой и, очевидно, потери (энергии) в таком подвесе не должны быть велики. Таким образом, электромагнитное демпфирование является важным моментом в управлении колебаниями диффузора\*. Уильямсон полагал, что коэффициент демпфирования усилителя при работе с динамическими громкоговорителями должен быть порядка 20-30.

2) Отрицательная обратная связь должна быть оптимизирована в районе 20 дБ.

3) С целью минимального влияния фазового сдвига на

6. На тот момент «существовавший тип громкоговорителя» была головка электродинамического типа с подвижной катушкой.

7. В последних статьях из этой серии освещались поиски Cocking'a лучшего инвертора (21).

8. Первоначально появился как «Внутренний отчет № Q253» M.O. Valve Company за 1944 год.

краях слышимого диапазона, частотная характеристика усиления должна быть не уже 3,3 Гц-60 Гц по уровню -3 дБ.

4) Фазовый набег не должен превышать 208 во всем диапазоне, чтобы тем самым не ухудшать переходные характеристики и эффективность обратной связи.

5) Достаточный запас по мощности, чтобы выдерживать высокие динамические выбросы на музыкальной программе.

6) Выходной трансформатор должен быть рассчитан под определенные требования, задаваемые линией нагрузки.

Вот так, длинный эволюционный путь, начатый в 1934 г. Cocking'ом, вышел в точку кульминации в 1947-м. Родовая особенность усилителя Уильямсона во всех его инкарнациях – триоды в двухтактном включении<sup>9</sup>. Им было отдано предпочтение, так как, не глядя на снижение выходной мощности, производимые ими искажения были менее заметны. Предположения, сделанные автором в том же 47-м, получили поддержку Харри Олсона (25) (Harry F. Olson – руководитель лаборатории электроакустических исследований фирмы RCA).

## ВОЗВРАТ К ПЕНТОДУ

На волне успеха, продолжавшегося уже 13 лет (с момента появления усилителя Cocking'a), усилитель Уильямсона въехал в американский рынок. Сам автор ввел окончательные доработки в обратную связь, с которой он испытал затруднения при добавлении еще одного каскада с низким усилением до инвертора. В своей статье-продолжении он показал, как добиться устойчивости усилителя посредством введения фазовой компенсации (коррекции) по выходу первого каскада (26)<sup>10</sup>. В 1949-м его схема становится мировым прототипом усилителя с обратной связью. В своих статьях Уильямсон часто указывал на тесную взаимосвязь между линейностью фазовой характеристики и переходной. Эта тема усиленно разрабатывалась дизайнерами усилителей с обратной связью (27, 28, 29)<sup>11</sup>.

За спиной громадного интереса к усилителю Уильямсона (30, 31) стало расти новое поколение пентодных усилителей, бросая вызов двухтактно-триодным традициям. Движение в сторону применения пентодов, поначалу считавшихся пригодными для РА, получило новые стимулы после того, как были найдены методы, позволявшие зазвучать пентодам подобно триодам.

Как хорошо известно, ахиллесовой пятой триодов является их высокая входная емкость. Она определяет спад характеристики на высоких частотах. Тетрод имеет вторую сетку, назначение которой уменьшить величину проходной емкости. Пентод содержит еще один элемент, работающий для усиления напряжения, и в конечном случае, – выходной

мощности. Это может быть либо третья сетка, либо лучеобразующие пластины. В последнем случае лампа называется «лучевым тетродом» или «kinkless tetrode» – то есть тетрод без излома характеристики (имеется в виду отсутствие жесткого динаatronного эффекта).

Отрицательной стороной многосеточных ламп стал тот факт, что продукты искажений имеют диссонансный характер восприятия в сравнении с триодами. Диссонанс возникает из-за того, что характеристика передачи имеет «резкий перелом» по обе стороны (используя терминологию Kellogg'a). Перед разработчиками встала проблема подавления этих неблагозвучных составляющих спектра искажений. В особенности отличились три компании в достижении этой цели:

1) В 1945 г. глава фирмы Acoustical Manufacturing (с продукцией под маркой Quad) Peter J. Walker (в русской транскрипции – Питер Уолкер) нашел метод значительного подавления искажений пентода путем включения небольшого числа витков в цепь катода выходной лампы (Рис. 1). Это позволило распределить нагрузку, приведенную в первичную обмотку, между анодом и катодом лампы, в соответствии с числом витков в каждой части. Как только нагрузка подключена ко вторичке, так эти обмотки включаются в параллель. Это уменьшает внутреннее сопротивление каскада, тем самым, расширяя диапазон (32, 33). Более широкая полоса затем транслируется в меньшие фазовые сдвиги, что в свою очередь обеспечивает более эффективное действие ОС на высоких частотах (вследствие того, что сигнал обратной связи остается даже на высоких частотах близким к идеальному фазовому углу – 180°).

Более того, здесь осуществлена местная ОС благодаря импедансу катодной обмотки по переменному току. Такой вид обратной связи имеет тот же эффект, что и общая петля ОС, но с одним огромным преимуществом: здесь всего лишь один высокочастотный полюс, формирующий фазовый набег<sup>12</sup>. Таким образом, в усилителе Quad II искажения высших порядков, связанные с работой пентодов, заметно подавлены и при этом не ценой выходной мощности, что имело место с триодами<sup>13</sup>.

2) В 1949 г. Frank McIntosh и Gordon Gow в своем усилителе 50W-1 предприняли еще один шаг в развитие концепции разделенной нагрузки – посредством выходного каскада с «единичной связью» (unity-coupled). По их замыслу, теперь катодная обмотка имеет витков столько же, сколько имеет анодная (Рис. 2), что приводит к более сильной локальной обратной связи<sup>14</sup>.

Сверх того, анодная и катодная обмотки выполнены бифилярной намоткой. Тогда это действительно получается

9. Не в пример Cocking, усилитель Уильямсона применял тетроды КТев, включенные триодами. Сам Уильямсон в тот момент работал инженером на M.O. Valve Company (Marconi Osram Valve Company – производитель легендарных тетродов серии Gold Lion KT, предназначенных для использования в звуковых усилителях).

10. Каскады с низким  $\mu$  требуют, как правило, большего смещения и, следовательно, имеют больший headroom (запас по входному сигналу до ограничения), чем каскады с высоким. Это решающий момент исключения переходных искажений с использованием ОС.

11. Однако с годами большинство инженеров утратило из виду столь важный момент – лампа с малым  $\mu$  по ходу, если применяется ОС. Понимание Уильямсоном правильного функционирования усилителей с ОС стало очевидным лишь спустя годы.

12. Фазовый сдвиг в этом случае появляется из-за емкости сетка-катод (междуэлектродная ламповая емкость). В общей петле усиления было обычно шесть и более таких полюсов. Фазовый набег приобретал кумулятивный характер (каждый полюс дает набег в 90°, зависящий от частоты).

13. Единственное требование: амплитуда драйвера должна быть увеличена, чтобы скомпенсировать потери, вносимые местной ОС. Т.к. чувствительность пентодов примерно вдвое больше, чем у триода, то «оставшаяся половина избыточного усиления» могла быть использована для локальной ОС.

14. Макинтош и Гау нашли способ компенсации потерь из-за введения разделенной обмотки, когда усиление выходного каскада равно 1. Этим способом был «драйверный каскад с вольтодобавкой». Положительная ОС подавалась на аноды драйвера, тем самым, увеличивая динамику раскочки (34, 35). Благодаря Метла Несторовича (MHe Nestorovic) – разработчика Me Intosh MC-3500 за предоставленную информацию по этому вопросу.

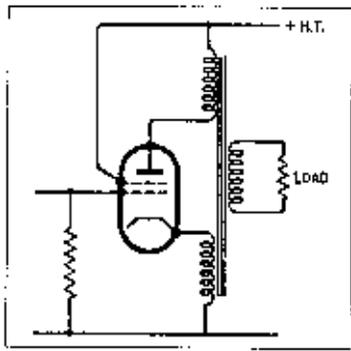


Рис. 1. Верхнее плечо выходного каскада QUAD. Частичное включение катоды в первичную обмотку (Уильямсон и Уолкер).

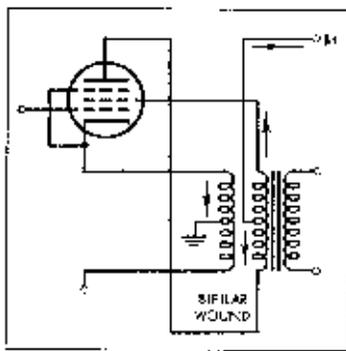


Рис. 2. Одно плечо выходного каскада Me Intosh (по Кроухерсту).

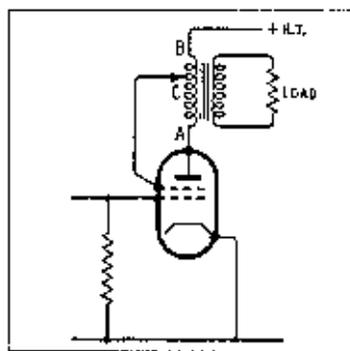


Рис. 3. Половина ультралинейного (UL) выходного каскада (Хафлер и Керос).

«единичная связь» между двумя обмотками. Индуктивность рассеяния в таком трансформаторе уменьшена втрое, полоса соответственно расширилась, а фазовый сдвиг тем самым уменьшился (34). Так как ток сигнала через каждую половину обмотки протекает полный период (т.е. от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , а не от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  как в классе-В), искажения типа «ступенька» отсутствуют, как это происходит в классе-А и, по той же причине – здесь нет резкой отсечки тока при переходе от одной полуобмотки к другой в точке их встречи (18, 35).

Редакция журнала Audio Engineering поздравила Фрэнка Макинтоша с «первым основательным изменением за годы существования концепции «распределенной нагрузки» (34).

3) В 1951 г. David Hafler и Herbert Keroes подошли к проблеме применения пентода под иным углом: они вернули часть переменного анодного напряжения на вторую сетку (Рис. 3). Эта петля местной ОС стала известна под названием «ультралинейного» включения. Оно стало основой для усилителя Acro Ultra Linear. Хотя Керос, являвшийся специалистом по трансформаторам, знал, что действие экранной сетки нелинейно при подаче на нее прямого сигнала, равно как и при подаче сигнала обратной связи (36,37)<sup>15</sup>, он нашел, что существует точка отвода в анодной обмотке, когда действие ОС линейно (33,38,39). Этот узкий просвет в рабочих характеристиках и был искомым, чтобы обеспечить «ультралинейность»<sup>16</sup>. По его собственному выражению: «Мы добились нового типа лампы без конструирования и создания самой лампы. Это не триод и не тетрод, но его улучшенная линейность выше того и другого, оправдывая свое название «ультралинейной» (39).

F. Langford-Smith<sup>17</sup> в своей оценке (33) аргументировано подтвердил решение, найденное Хафлером, в то же время как Уильямсон и Уолкер отнеслись к ней с пренебрежением. Уолкер заявил, что его схема может делать все то же, что делает ультралинейная схема и даже больше. Лангфорд-Смит не согласился. Cocking наблюдал за развитием конфликта и в результате математического анализа устроил разнос двум У за подобное принижение идеи Хафлера (36). (На тот момент Cocking был главным редактором весьма влиятельного в Британии журнала Wireless Engineer).

Пока различные центры влияния были заняты выяснением деталей, Hafler и Keroes начали публиковать статьи, имевшие целью улучшение усилителя Уильямсона – перевод его в ультралинейное включение (31,40,41)<sup>18</sup>. Это было все, что требовалось, так как производители и аудиофилы были заинтересованы в победе лучшей схемы: ультралинейный усилитель с полнейшей сертификацией со стороны мировой электронной прессы привлекал легионы последователей и противостояние триод/пентод эффективно разрешилось. Ультралинейное включение (UL) было последовательно принято более чем 20-ю различными производителями в Штатах (41), включая Marantz, Harman/Kardon, Fisher, Scott, Eico и Dynaco.

Одной из важнейших причин популярности UL стала экономика. Технология UL была дешевле в исполнении и переделках, чем технология Quad или MAC (Me Intosh), давая большую мощность и меньшие искажения, чем сравнимые с ней триоды тех дней. Больше, чем все другие схемы, такое решение выходного каскада определило рождение золотой эры high-fidelity. Сам по себе знак «litre-Linear» стал общим местом в технике звукоусиления, а не обозначением определенного усилителя, применяющего подобную схему. Другой вопрос, оправдывал ли он свой экзальтированный статус.

## СДВИГ В СТОРОНУ СУБЪЕКТИВНОГО

Одной из наиболее убедительных причин громадной популярности UL был отказ от специального питания экранной сетки. Второй по значимости причиной явилось то, что UL схема стала альтернативой между триодным и пентодным выходным каскадом, не помилив, но разведя соперников по разным углам. В самом деле, схема QUAD с ее перевернутым вверх ногами ультралинейным включением обеспечивала те же достоинства официальной схемы. П. Уолкер пытался отстоять свою правоту (32), но был окончательно повержен, так как у него не было такого завораживающего и мистического элемента, как нелинейная обратная связь, оправдывающая себя в узком промежутке.

15. Сноска отсутствует в оригинале.

16. Еще в 30-е годы Алан Блумплайн (Alan S/blumtln – основоположник теории и практики стереозаписи на ф. Bell Labs) указал на существование такой области, хотя и не уточнил ее границы (British pat. # 496, 883, jan 5 1939). Патент Хафлера и Кероса, несомненно, был важным дополнением к изначальному изобретению Блумплайна (равно как патент Флеминга по диодным свойствам термоионной эмиссии стал важным дополнением к появившемуся до этого открытию Эдисона).

17. Лангфорд Смит многие годы был редактором австралийского журнала Radtotmics.

18. Главное улучшение состояло в увеличении мощности в два раза.

Действительно, в своем обзоре этих двух технологий (Quad и Hafler) Лангфорд-Смит вычислил, что подача нелинейной обратной связи в UL включении уменьшает искажения не пропорционально усилению! Этот феномен буквально пронесется перед носом классической теории обратной связи, оставляя в недоумении ее адептов. Общее восприятие рынка и аудиофилов было таково, что усилитель Асго содержал нечто, отсутствовавшее и у Quad II и у McIntosh.

При окончательном анализе McIntosh имел лучшие измеримые параметры, чем Асго и Quad II. Но Асго, не будучи технически равным McIntosh, апеллировал своей ценой к потребителю, не искушенному в технических тонкостях. Обыватель же, со всей тягой к непостижимому и мистическому, голосовал своим \$ за Асго.

Сами же разработчики апеллировали не столько к голове и уму покупателя, сколько к ощущениям аудиофилов. В статье Audio Engineering (39) они писали: «Превосходные объективные показатели необходимы, но недостаточны для качественного звука. Это означает, что тест на прослушивание более важен, он в конце концов, остается наиболее убедительным». Таким образом, усилители Асго продавались на аудиорынке за их звучание, а не за характеристики (31, 41), встав на пути опасной тенденции – слепо доверять техническим результатам, как мерилу качества.

## ПОЛНЫЙ СУБЪЕКТИВИЗМ

Такое отклонение от общепринятой позиции отражало новое, едва родившееся отношение к определению качества. Статьи, дававшие оценки по техническим показателям, стали вызывать недоверие. Этот разрыв стал более заметен, когда аудиофилы стали обсуждать графики и цифры новых транзисторных усилителей, показатели которых были лучше, чем у старых ламповых и, следовательно, звук должен быть лучше.

Однако любой аудиофил припомнит, что ранние полупроводниковые усилители звучали подобно карманному приемнику, употребляющему стероиды.

Проблема в том, что транзисторы до сих пор имеют плохо изученные параметры, которые вызывают недовольство самих создателей транзисторной техники. Прямейшим путем попадания на рынок качественного audio казалось проектирование схем по образу и подобию ламповых. Но при таком подходе были обнаружены переходные интермодуляционные искажения (TIM) (42, 43) и поэтому существовавший зазор в качестве между лампами и транзисторами стал настоящей дырой. TIM искажения стали главным фактором «закрытия школы, где учат, что спецификации врать не могут», так как слушатель всегда доказывал, что он прав.

Вот тогда и случилась занимательная штука - многие слушатели вовсе прекратили доверять характеристикам. Это обусловило рождение нового класса а<sup>4</sup>юписателей: экспертов-слушателей. Основатель журнала Stereophile J. Gordon Holt, к примеру, на протяжении 60-х оказал большее влияние на вкусы аудиофилов, чем любая из компаний, производивших аийютехнику. В процессе экспроприации audio из безраздельного подчинения инженерам, Холт вывел определение того, как чувствуют музыку аудиофилы<sup>19</sup>. В 70-е Harry Pearson затмил влияние Холта, введя парадигму «аб-

солютного звука», т.е. звука живой музыки, как в концертном зале, не подвергнутой усилению. Отсюда и название его журнала – Absolute Sound.

Конечно, если довести эту парадигму/образец до логического предела, как это сделал бы Платон, то у каждого понятия или предмета должен существовать свой идеальный прототип – идеальная скрипка, идеальный концертный зал и прочее. Однако это предполагает и наличие идеальных ушей, способных слышать все это! В этом случае пророчества Hafler'a и Keroes'a сбылись: эти «новые субъективисты» создали особую методику влияния на аудиофилов – влияние, которое напрямую адресовано к эстетическим ощущениям любителей музыки.

«Новые субъективисты» создали немало поправок в технических спецификациях, которыми буквально завалили производители среднеклассного audio с самого начала транзисторной революции. В технике high-end подобные коррекции также присутствовали, хоть и в меньшей мере: в век Холта и Пирса субъективные оценки работы компонентов стали перевешивать профессиональный взгляд на вещи, при оценке различий. Что в результате? Забытые технологии порой появляются вновь, вооружившись новыми возможностями; новые технологии, полные надежд и обещаний, порой исчезают незамеченными.

Так как флаг искусства в audio водружен над аудиоинженерией, мне видится полезным во все времена искать точки соприкосновения одного с другим. К примеру, античные греки не делали различий между подходом творческим и научным, техническим. Их объединило одно слово – *techné*. Использование этого термина предполагало неразрывную интеграцию искусства и техники. Да, греки полагали, как и другие цивилизации, что архитектура являет образец почти абсолютного альянса творчества и науки. Но можно ли сказать то же самое про audio наших дней? Быть может полезно заново пересмотреть античные взгляды.

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ ОДНОТАКТНОЙ ЛЕГЕНДЫ

Благодаря огромному влиянию Cocking'a и Уильямсона, одноктактные усилители игнорировались аудиофилами до тех пор, пока в Японии не начались эксперименты с ними в середине 70-х. Японцы, и в особенности Нобу Шишидо (Nobu Shishido) – ключевая фигура в одноктактном движении, заслуживают уважения за то, что они принесли собственные достижения в технике audio к алтарю SE.

В самом деле, японцы выказывают большой пиетет перед иконой аийюистории Запада, нежели сами американцы. То, что привело японцев к одноктактикам, американцам показалось анахронизмом – любовь к своим и английским старым рупорным системам. Согласно японским энтузиастам, в комбинации одноктактных усилителей и рупорных систем их привлекли «тональность» и «атака». Существует почти библейская история о том, как Икеда (Ikeda – один из видных японских идеологов одноктактного движения) открыл для себя Western Electric 91-A<sup>20</sup>. Этот 3,5 ваттный усилитель со старой системой Lowther обладал ангельским голосом в сравнении с транзисторными усилителями самой последней марки.

19. Хотя невежды и бестолочи получают большое удовольствие, отыскав у Холта противоречия, смотри, к примеру, Stereophile Vol.9, N 4.

К середине 60-х японские аудиофилы, кажется, перепробовали все известные однотактные схемы и типы ламп<sup>21</sup>. В этом временном промежутке, столь активном для японцев, для остального мира тянулась длинная пауза безвременья. Однотактное движение в Японии имело жестко субъективную реакцию на общепринятую школу оценки качества с ее неизбывным лозунгом – «Цифры и характеристики не врут». В это же время подобная реакция име-

лась у публики, объединившейся вокруг того, что метко окрестил Гари Пирсон – High-End Audio. И в каждом случае силы коммерческого подхода к звуку готовы оттягать каждый дюйм сверх того, что могло быть проверено современными стандартами верности звучания. (Та же ситуация хвастовства и самоудовлетворенности промышленных монстров от audio, с чем боролись в свое время Cocking и Williamson).

*20. Байка гласит о том, что Икеда с друзьями были одинаково шокированы и двухтактным WE86. Однотактный WE91 часть кинотеатральной системы SOOA. Он отдавал максимум 4 Вт на триоде 300A (позднее 300B). Системы 500A использовались в малых залах. В больших кинотеатрах применялись системы 1086 с усилителями WE86 и WE87. В них стояли 300B и 845 триоды соответственно в двухтактном включении. (Спасибо J. Roberts у из Sound Practices и P. Mundy из WE за предоставленную информацию).*

*21. Как явствует из журналов для самоделщиков – MJ Stereo Technic и Radio Jyutsu.*

#### REFERENCES

- [1] Walter G. Jung and Richard Marsh, «Picking Capacitors,» Audio, 64/3, 1980: February, pp.52-62; March, pp.50-62.
- [2] Martin Colloms, «A Passive Role?,» Hi-Fi News & Record Review, October 1985.
- [3] H.F. Olson, Elements of Acoustical Engineering, second ed., D. Van Nostrand Co., New York, 1947.
- [4] D.E.L. Shorter, «The Influence of High-Order Products in Non-Linear Distortion,» Electrical Engineering, April 1950, pp.152-153.
- [5] Fritz Winckel, Musk, Sound, and Sensation, Dover Publications New York, 1967, pp.141-148.
- [6] F. Langford-Smith, ed., Radiotron Designer's Handbook, fourth ed., Amalgamated Wireless Valve Co. Pty., Sydney, Australia 1953, pp.606-631.
- [7] W. Rupert MacLaurin and R. Joyce Harman, Invention and Innovation in the Radio Industry, MacMillan Co., New York 1949 p.77.
- [8] M.D. Fagen, ed., op at, pp.256-264.
- [9] M.D. Fagen, ed., A History of Engineering and Science in the Bell System, the Early Years (1875-1925), Bell Telephone Laboratories 1975, p.364.
- [10] H.S. Black, «Stabilized Feedback Amplifiers,» BSTJ, January 1934, pp.1-18; also published in Electrical Engineering, 53, 1934.
- [11] E.F. O'Neill, ed., A History of Engineering and Science in the Bell System, Transmission Technology (1925-1975), AT&T Bell Laboratories, 1985, p.61.
- [12] W.J. Brown, Proc. Phys. Soc. Lon.[>], 36:3, April 1, 1924, p218.
- [13] E.W. Kellogg, «Design of Non-Distorting Power Amplifiers,» Trans. AIEE, February 1925, pp.302-315.
- [14] N.W. McLachlan, «The Theory of Push-Pull,» Wireless World, June 13, 1928, pp.629-634.
- [15] Lincoln Thompson, «A New Power Amplifier with a Positive Grid-Bias,» Electronics, June 1930, pp.139-140; 162.
- [16] L.E. Barton, «High Audio Power from Relatively Small Tubes,» Proc. IRE, 19.7, July 1931, pp.1131-1149.
- [17] F.R.W. Straflbrd, «Join-Up Distortion in Class B Amplifiers,» Wireless Engineer, October 1935, p.539.
- [18] A. Pen-Tung Sah, «Quasi Transients in Class B Audio-Frequency Push-Pull Amplifiers,» Proc. IRE, 24:11, November 1936, pp.1522-1535.
- [19] W.T. Cocking, «High Quality Amplification,» Wireless World, May 4, 1934, pp.302-304; «Push-Pull Quality Amplifier,» May 11, 1934, pp.320-323; cont. May 18, 1934, pp.336-339.
- [20] Editorial, «A Good Three-Stage Power Amplifier,» Radio, February 1928, p.34.
- [21] «Push-Pull Input Systems,» Wireless World, September 21, 1934, pp.245-247; «Phase-Splitting in Push-Pull Amplifiers,» Wireless World, April 13, 1939, pp.340-344; and esp., die definitive «Push-Pull Input Circuits,» Wireless World, 1948: January, pp.7-10; February, pp.62-66; March, pp.85-87; April, pp.126-130; May, pp.183-186.

- [22] Editorial: «Communication Receiver,» Wireless World, August 18, 1938, pp.135-137.
- [23] Editorial: «Quality Amplifiers,» Wireless World, January 1946, pp.2-6.
- [24] D.T.N. Williamson, «Design for a High Quality Amplifier,» Wireless World, April 1947 (Part 1), pp.118-121; May 1947 (Part 2), pp.161-163.
- [25] H.F. Olson, Elements of Acoustical Engineering, second ed., D. Van Nostrand Co, New York, 1947.
- [26] D.T.N. Williamson, «High-Quality Amplifier: New Version,» Wireless World, August 1949, pp.282-287.
- [27] J.E. Flood, «Negative-Feedback Amplifiers, Conditions for Critical Damping,» Wireless Engineer, July 1950, pp.201-209.
- [28] J.E. Flood, «Negative Feedback Amplifiers Overloading Under Pulse Conditions,» Wireless Engineer, August 1952, pp.203-211.
- [29] Thomas Roddam, «Calculating Transient Response,» Wireless World, August 1952, pp292-295.
- [30] Herbert I. Keroes, «Building the "Williamson" Amplifier,» Radio & TV News, December 1950, pp.52-53, cont. p.76.
- [31] David Hafler and Herbert I. Keroes, «Improving the Williamson Amplifier,» Radio and TV News, February 1953, pp.43-45; cont. pp.98, 100.
- [32] D.T.N. Williamson and Peter J. Walker, «Amplifiers and Superlatives,» Wireless World, September 1952, pp.357-361.
- [33] F. Langford-Smith and A.R. Chesterman, «Ultra Linear Amplifiers,» Radiotronics, 20:5/6/7, May/June/July 1955.
- [34] Frank McIntosh and Gordon Gow, «Description and Analysis of a New 50-Watt Amplifier Circuit,» Audio Engineering, December 1949, pp.9-11, 35-40.
- [35] N.H. Crowhurst, «Realistic Audio Engineering Philosophy,» Audio, October 1959, pp.52-60, cont. pp.113-114.
- [36] W.T. Cocking, «Ultra-Linear Amplifiers» (editorial), Wireless Engineer, 32.8, August 1955, pp.199-200.
- [37] Editors, «Tetrodes with Screen Feedback,» Wireless World, January 1956.
- [38] US patent #2,710312; June 7, 1955 (filed May 20, 1952).
- [39] David Hafler and Herbert I. Keroes, «An Ultra-Linear Amplifier,» Audio Engineering, November 1951, pp.15-17.
- [40] David Hafler and Herbert I. Keroes, «Ultra-Linear Operation of the Williamson Amplifier,» Audio Engineering, June 1952.
- [41] Herbert I. Keroes, «Adapting the "Ultra-Linear" Williamson to 6550 Operation,» Radio & TV News, November 1955, pp.52-54, cont. p.136.
- [42] D.G. Daugherty and RA. Greiner, «Some Design Objectives for Audio Power Amplifiers,» IEEE Trans. Audio Electroacoustics, AU-14.1, March 1966, pp.43-48.
- [43] Marti Ojala, «Transient Distortion in Transistorized Power Amplifiers,» IEEE Trans. Audio Electroacoustics, AU-18.3, September 1970, pp. 234-239.

## ЧАСТЬ II

Теперь пришло время рассмотреть различные философии при проектировании ламповых устройств и некоторые феномены нелинейной работы их.

### В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

Фирма Audio Research Corp. (ARC) оказалась готовой возродить усилитель на пентодах, главным образом потому, что люди подзабыли о проблеме противостояния триода с пентодом. Выяснение отношений оказалось в кильватере ушедшей вперед п/проводниковой техники. В 1970 году ARC стала конкурировать не с другими ламповыми продуктами, а с современными, новыми транзисторными усилителями.

Только к середине 80-х возникла новая волна спора между двухтактными усилителями на триодах и пентодах в ультралинейном включении. Противостояние касалось исключительно только РР схем; так что не будем обсуждать этот момент и скажем лишь одно – триоды вернулись, а наряду с ними вся орава усилителей с переключением триод/UL пентод.

Вторая волна поднялась в начале 90-х, уже с знакомым нам конфликтом – двухтактные триоды против однотактных. Поскольку он так и не разрешен, им мы и займемся. Темы дебатов опять крутятся вокруг фазоинверторов, продуктов искажений, глубины ОС и вдруг всплывшего эффекта под названием «первый ватт». Я еще вернусь к этим вопросам позднее, после того, как утрамбую теоретический фундамент для них.

На протяжении последних 25 лет утвердилась тенденция фокусировать внимание на анализе формы сигнала, как средстве обучения схмотехнике. Такой подход приемлем потому, что исходит из предположения гармонических составляющих звучания музыкальных инструментов. Вероятно, это и было посланием Харри Олсона (H. Olson) в его знаменитой монографии «Музыка, Физика и Инженерия», на обложке которой были изображены колеблющиеся струны (См. 44). Или быть может это синусоиды? С точки зрения Олсона – никакой разницы.

### ГАРМОНИЧЕСКИЙ СОСТАВ

В своем экспертном ревью об усилителе Cary CAD-805, Дик Олшер (Dick Olsher – DO) пишет: «Нечетные гармоники (3-я, 5-я, 7-я и т.д.) не являются консонантными с музыкальными звуками инструментов и, следовательно, довольно трудно маскируются даже на очень низких уровнях» (45) Так как консонантные интервалы являются одним из концептуальных понятий данной статьи, следует дать им понятное определение, прежде чем двигаться дальше.

Ощущение созвучности (связанности) и наоборот, разнотона и несогласованности возникает тогда, когда два или больше чистых тонов звучат одновременно. Вдобавок к этому каждая пара тонов (или интервалов) имеет свой

особенный характер и он (этот характер) эстетически действует на слушателя (46). Пифагор (около 550 лет до н.э.) полагал, что понятие консонанса или диссонанса, создаваемых каждым интервалом, определено числовым отношением между ними (тонами). Современная акустика полностью подтвердила его открытие (47, 48).

Природный или натуральный звукоряд (Рис. 4) основан на естественном расположении узлов на натянутой звучащей струне (Рис. 5). Западная система музыкальной гармонии основана именно на природном звукоряде. Частоты, которые издает тронутая струна, относятся друг к другу как 1 : 2 : 3 : 4 : 5 и т.д. Любое из этих отношений определяет расположение тонов в натуральном звукоряде. По Олсону, интервалы в унисон (1 : 1) и в октаву (1 : 2) наиболее созвучны, в соответствии с

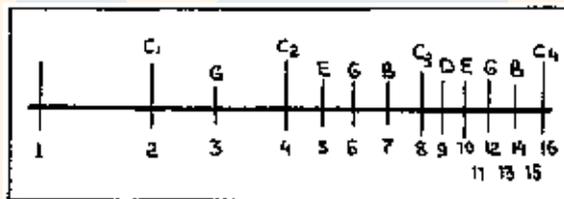


Рис.4. Происхождение натурального звукоряда из естественной (природной) последовательности гармоник колеблющейся натянутой струны (Авт. Ladner)

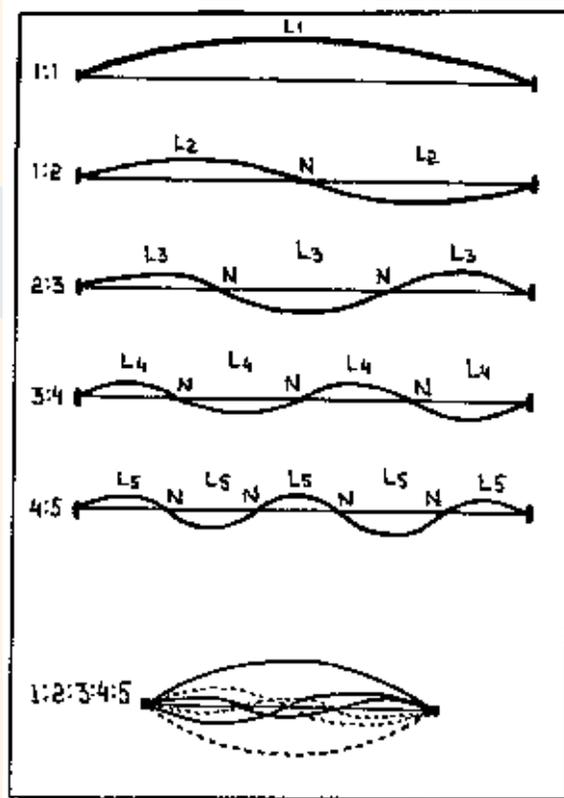


Рис. 5. Расположение узлов и пучностей на натянутой струне. Количество пучностей соответствует порядку гармоники, (по Олсону)

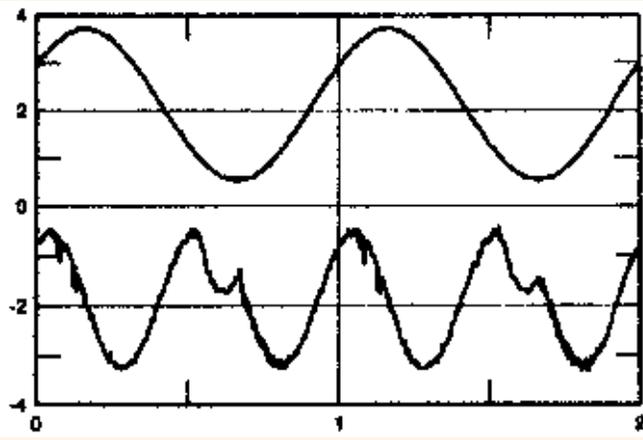


Рис. 6. Усилитель ф. Cadu CAD-805. Вверху – выходной сигнал частотой 1 кГц. Внизу – продукты искажений, за вычетом чистого сигнала основной частоты.

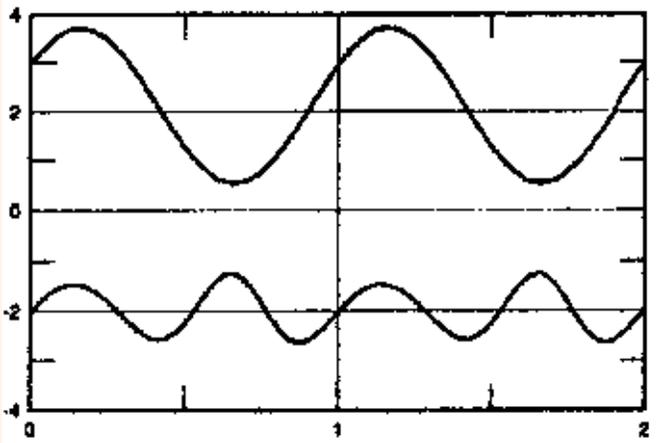


Рис. 7. Усилитель ф. Jadis SE 300B. Выходной сигнал и продукты искажений.

установленным критерием консонанса: «гладкость, чистота и слитность» (48). Чистая квинта (2 : 3) является следу-

ющим созвучным интервалом. А вот музыкальные интервалы-кварта (3 : 4) и большая терция (4 : 5) уже носят легкий оттенок диссонанса. Отметьте числовую прогрессию интервалов.

Интервалы более сложных отношений, таких как большая септима (8 : 15), представляются чисто диссонансными, так как порождены несочетаемыми звуками (47). С другой стороны, унисон и октава слишком чисты и очевидны, чтобы ласкать слух. Ладнером (Ladner) в (49) было показано, что чистая квинта и большая терция добавляют каждая свой «характер», отсутствующий в звучании унисона или октавы. Именно этот характер, столь интересный для слуха, становится прогрессивно неблагозвучным по мере усложнения интервала.

Заметьте, что каждый интервал содержит и четные и нечетные гармоники. Восприятие же четности или нечетности само по себе не имеет выраженный характер. Чтобы это стало очевидно, посмотрите на линию L1 Рис. 5. Это ведь основная гармоника и сама по себе она нечетная. Решающим фактором созвучности является простота отношений частот.

## СИММЕТРИЯ СИГНАЛА

Симметрия сигнала дает нам ключ в поисках души у «однотактного звука». Чтобы уяснить себе важность темы, обратимся к вопросу, каким образом гармонические искажения воздействуют на тембр звучания.

При тестировании уже упомянутого CAD-805 T.J. Norton обратил внимание на продукт искажений Рис. 6 и особенно на «зарубки», возникающие через период: «Эти зарубки соответствуют отрицательной полуволне сигнала и обязаны некоторой особенностью работы схемы, возможно применению выходной лампы в однотактном включении». Как T.J.N. выяснил ранее, что подобные искажения возникают, когда усилитель CAD-805 работает на 2-х Омную нагрузку с 4-х Омного отвода трансформатора.

Засечки появляются через раз, что стараниями Norton'a можно увидеть из осциллограмм (сравните строгое соответствие засечки с нижней полуволной выходного сигнала, верхняя синусоида). Отметьте также «зубцы» на нижней кривой, что соответствует верхней полуволне, когда лампа открывается.

Давайте глянем сначала на большую засечку. Так как она появляется только на одной половине сигнала (отрицательной), то следовательно, искажения выходного сигнала не симметричны относительно оси. Это указывает на присутствие продуктов четного порядка (50). Очертания и амплитуда засечки говорят, что это четвертая гармоника. Она выглядит будто чистая синусоида помножена со второй гармоникой! На Рис. 7 показан подобный эффект при менее

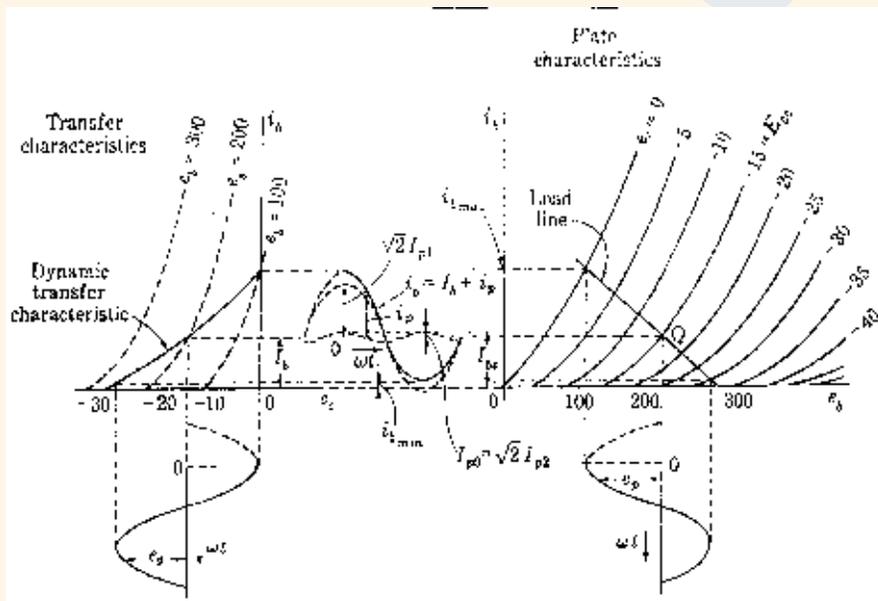


Рис. 8. Для SE триода положительная ветвь линии нагрузки (от ECC = -15V до eC = 0V) длиннее, чем отрицательная (от ECC = -15V до eC = -30V) (Аем. Gray)

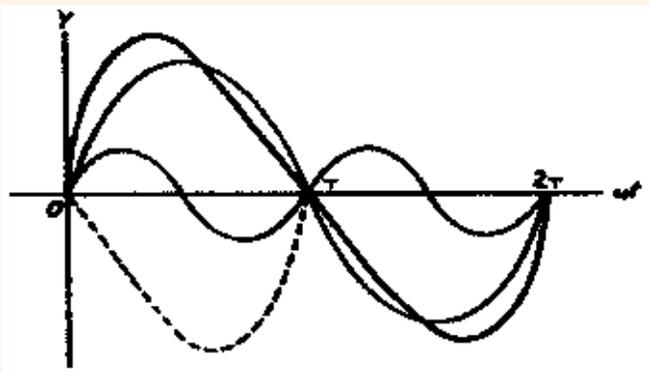


Рис. 9. Асимметричная форма сигнала (толстая линия), полученная сложением первой и второй гармоники. (Авт. Richmond)

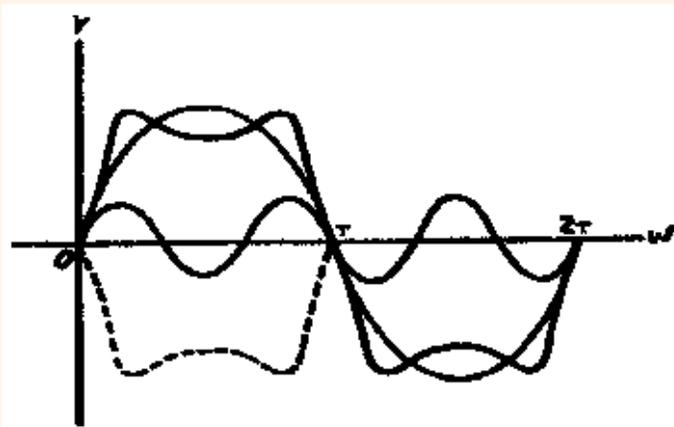


Рис. 10. Симметричная форма сигнала (толстая линия), полученная сложением первой и третьей гармоник. (Авт. Richmond)

жестких условиях. Здесь мы видим, что продукты искажений имеют сглаженный выброс также на отрицательной полуволне.

Анодный ток (синусоида на Рис. 8) качается относительно рабочей точки  $Q$ . При положительной полуволне по входу, сигнал идет вверх по линии нагрузки и протекает больший анодный ток через лампу. Наоборот, при отрицательной полуволне сигнал следует вниз по нагрузке и ток уменьшается (где  $e_g$  – мгновенное значение входного сигнала,  $e_p$  – выходного,  $i_p$  – мгновенное значение анодного тока). В Сагу CAD-805 четные искажения появляются на отрицательной полуволне, так как в SE существует выраженная кривизна анодных характеристик вблизи отсечки анодного тока. (По мере роста анодного тока, характеристика близка к прямой линии). Так как кривизна характеристик влияет только на отрицательную полуволну, то и выходной сигнал должен быть асимметричен и, следовательно, искажения будут четного порядка.

Рис. 19 и 10 иллюстрируют существенную разницу между искажениями четных и нечетных порядков. На Рис. 9 изображен результат суммирования чистого синуса со второй гармоникой, а на Рис. 10 – с третьей гармоникой. Во втором случае очевидно, что 3-я гармоника изменяет основной сигнал таким образом, что, если мы перевернем

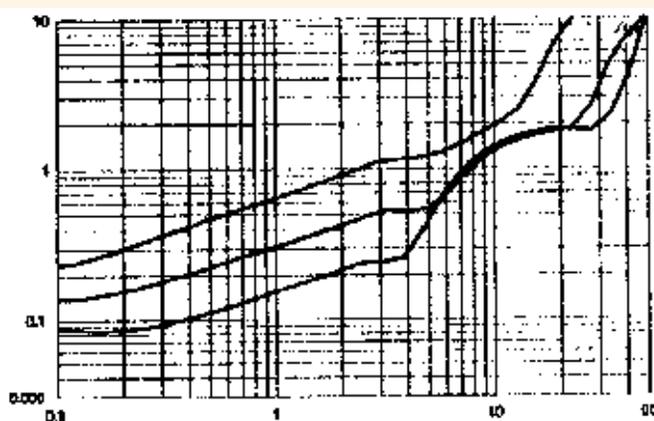


Рис. 11. Усилитель CAD-805, зависимость гармонических искажений от мощности.

верхнюю половину относительно оси на  $180^\circ$ , то она окажется зеркальным подобием нижней. Следовательно, нечетные искажения симметричны. В тех же условиях, то есть при повороте на  $180^\circ$ , четные искажения вызывают асимметрию.

Когда импеданс нагрузки падает, линия нагрузки испытывает наклон (вроде вращения по часовой стрелке относительно рабочей точки). В этом случае искажения увеличиваются, так как линия нагрузки нижним своим концом упирается в место, где анодные характеристики толпятся (51, 52). Что и подтверждается поведением кривых искажений на Рис. 11. (Верхняя – 2 Омная нагрузка, нижняя – 8 Омная, середина – 4 Ома).

Если разработчик задал нагрузочной линии сильный наклон (как часто делается, чтобы форсировать мощность при данном импедансе нагрузки), усилитель станет «нервно» реагировать на падения импеданса. (Это происходит в моменты, когда импеданс громкоговорителя проваливается на определенных частотах). Не скажу, что Сагу спроектирован именно подобным образом, очевидно, что не так, и характер искажений на 4-х Омах очень близок тому, что на 8 Омах нагрузки.

На положительной полуволне (см. Рис. 6) видны мелкие засечки. С чисто иллюстративной целью (без анализа), полагаю, что это вызвано искажениями, а не шумом. Так как они асимметричны, то налицо опять четные искажения, а в силу их остроты – искажения высоких порядков, хотя и

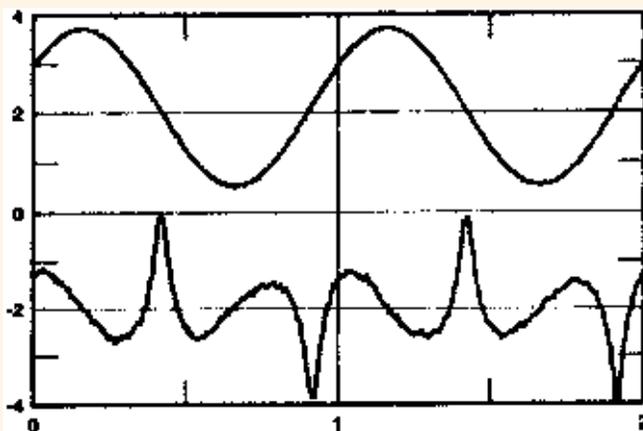


Рис. 12. Усилитель Forsell Statement. Выходной сигнал и продукты искажений.

ничтожны по амплитуде. И, наконец, на графике заметны отклонения как верхней, так и нижней половин сигнала. Это говорит о присутствии нечетных искажений.

Рис. 12 демонстрирует более наглядную форму нечетных искажений. Очевидно, что искажения влияли на обе половины сигнала. Острые выбросы говорят за присутствие искажений высоких порядков.

## РИСУНОК СПЕКТРА ИСКАЖЕНИЙ

Спектр искажений своеобразен для каждого усилителя и может быть подобен египетской клинописи. Оба они совершенно непостижимы, пока не был найден камень Розетты, открывший таинство начертаний. И мы приступим к поиску такого камня.

На Рис. 13 показан типичный спектр SE усилителя. Ясно видим гладкое спадание по амплитуде продуктов искажений (так что  $a_2 > a_3 > a_4 > a_n \dots$ ). Если передаточная характеристика проанализирована графически (53), то подобный же вид будет иметь и огибающая спектра. Если мы

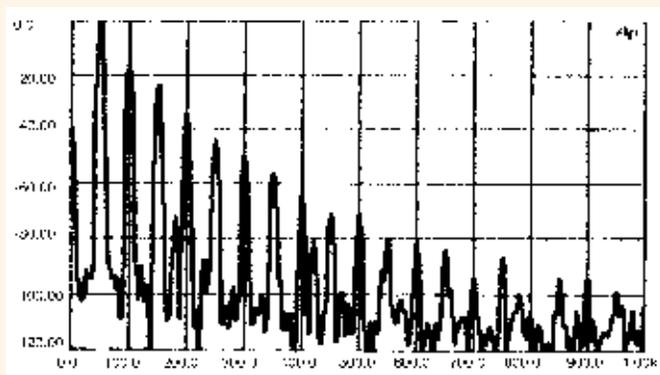


Рис. 13. Jadis SE 300B, спектр гармоник при мощности 1,6 Вт на 4 Ом.

по известной технологии (о ней нетрудно догадаться из Рис. 8) построим передаточную характеристику, то при данных сеточных и анодных кривых, она будет всегда слегка искривлена (см. Рис. 8), приводя тем самым к диспропорции между входным и выходным сигналами. Таким образом,

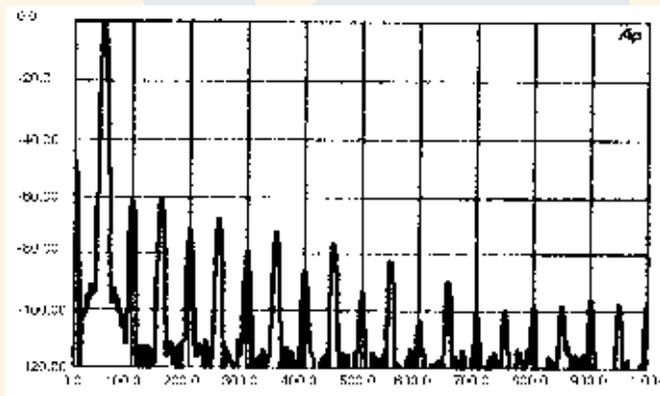


Рис. 14. Krell KSA-300S, спектр гармоник при мощности 400 Вт на 4 Ом.

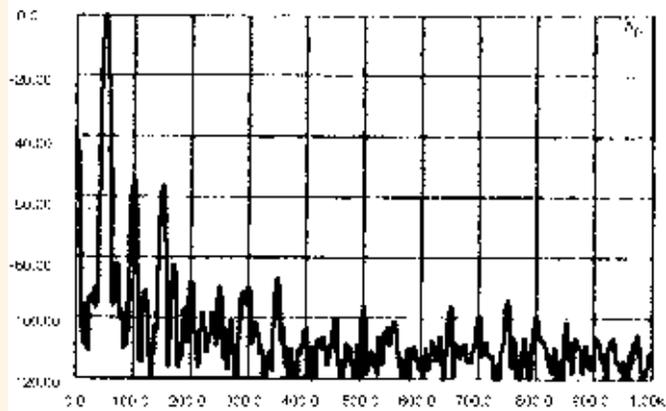


Рис. 15. YBA2 HS, спектр гармоник при мощности 40 Вт на 4 Ом.

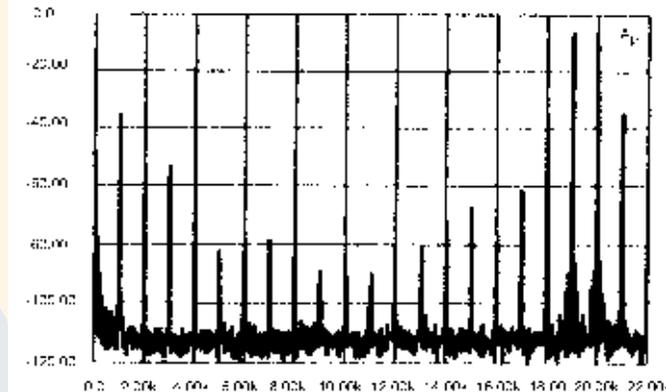


Рис. 16. CAD-805, IM спектр при 6,5 Вт/8 Ом.

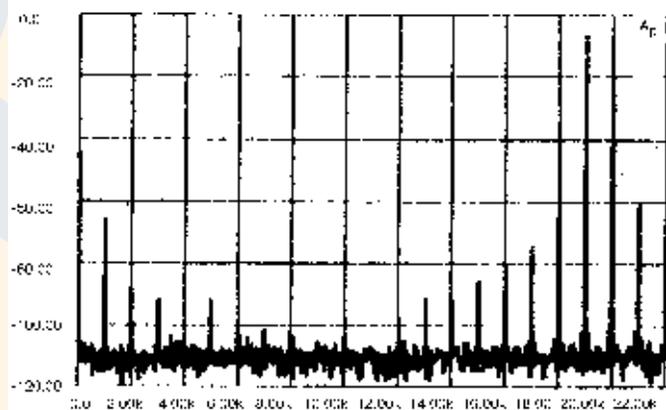


Рис. 17. Krell KSA-300S, IM спектр при 331 Вт/4 Ом.

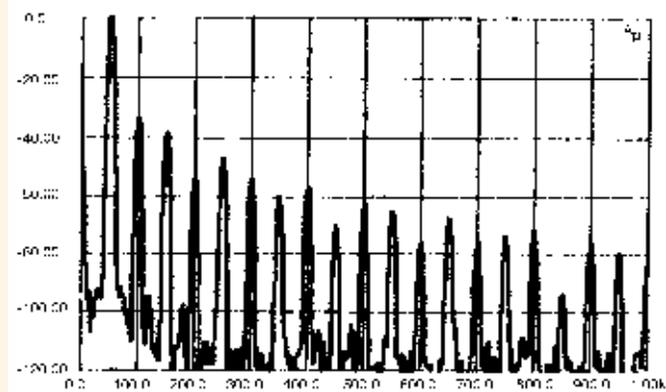


Рис. 18. CAD-805, спектр гармоник при мощности 24 Вт на 4 Ом.

чтобы получить линейную характеристику передачи, характеристики лампы также должны быть линейны, параллельны и отстоять друг от друга на одинаковом расстоянии.

В отличие от спектра SE усилителей, спектр усилителей PP представляет собой подобие гребенчатого фильтра, где идет подавление продуктов четных. Однако, на практике суммарный спектр состоит из двух независимых последовательностей – одна из нечетных гармоник, другая из четных. На Рис. 14 представлен типичный образец спектра PP усилителя с эффектом гребенчатого фильтра. Теоретически, подавление нечетных гармоник в двухтактной схеме возможно путем применения полностью идентичных элементов с верхнем и нижнем плечах (54).

Спектр на Рис. 15 имеет почти одинаковые по величине гармоники 2-го и 3-го порядка. При более тщательном подгоне половин выходного каскада, возможно снижение второй гармоники, но тогда 3-я гармоника, менее созвучная, станет доминировать. (В этом тоже состоит искусство настройки – Ред.). До тех пор, пока 3-я гармоника не подавлена полностью, есть смысл оставлять и 2-ю, так как она дает положительный маскирующий эффект, тем самым «затеняя» продукты искажений более высокого порядка (55, 56).

Наиболее важный момент – подавление высших гармоник. Они ощутимы главным образом не из-за того, что создают диссонирующие интервалы с основным тоном, но с ростом их порядка (гармоник) катастрофически, с

более быстрой скоростью растут интермодуляции (57). Когда две или более гармоники взаимодействуют между собой, появляются суммарные, либо разностные тоны, что собственно и есть продукты интермодуляции (IM) (58, 59, 60). К примеру, 18-я гармоника будет «взаимномодулировать» со всякой, существующей в интервале от 2-й (включительно) до 17-й. То же самое произойдет с 17-й, с 16-й и т.п.

Амплитуды IM продуктов пропорциональны амплитудам взаимодействующих между собой гармоник. Этот факт проиллюстрирован на Рис. 16, 17, одновременно можно сравнить и спектры обмеряемых устройств. Однотактный Сагу CAD-805 имеет более «грязный» IM спектр, поскольку его гармонический спектр более обогащен (Рис. 18).

Звучит ли Krell более «чисто», чем Сагу, как это показывают измерения? **Продукты интермодуляций, как правило, никак не соотносятся с основным тоном.** Распределение их в спектре псевдослучайно, подобно шуму, это нечто среднее между розовым шумом и шумом дождя. Эффект ясно слышен на LP Warner Bros. BSK 3109 – Seals and Croft's Greatest Hits. Послушайте вспышку аплодисментов в начале «I'll Play for You». Они «болтаются» по громкости, подобно промодулированному шуму. Что это – редкие хлопки, или прекращение дождя?

Подобные разновидности шумов весьма эффективно используются психоакустиком, например, James T. Johnston из AT&T. В своих экспериментах по восприятию человеком различных слуховых иллюзий, ученые вводят шум, чтобы маскировать музыкальные звуки. Было выяснено, к примеру, что определенные разновидности аддитивного шума могут сделать голоса в хоре более выпуклыми или выделить скрипки в секции смычковых!

С другой стороны, некоторые шумы могут уничтожить пространство сцены и до неузнаваемости разрушить разборчивость речи, сказанной с экрана. Эти эффекты имеют место в зависимости от того, какой тип шумов замешан в звуковой сигнал.

Очевидно, что спектр искажений, изображенный на Рис. 18, не имеет точной корреляции с субъективным восприятием DO, слушавшего CAD-805. Как же нам быть при подобном несоответствии? Из Рис. 19 можно сделать вывод, что на низких уровнях мощности, триоды имеют спектр гораздо чище, чем пентоды. На полуватте триод 2A3 имеет только вторую гармонику, тогда как у пентода 6F6 гармонический хвост тянется аж до 9-й гармоники!

«Маломощный спектр», таким образом, разъясняет суть явления,

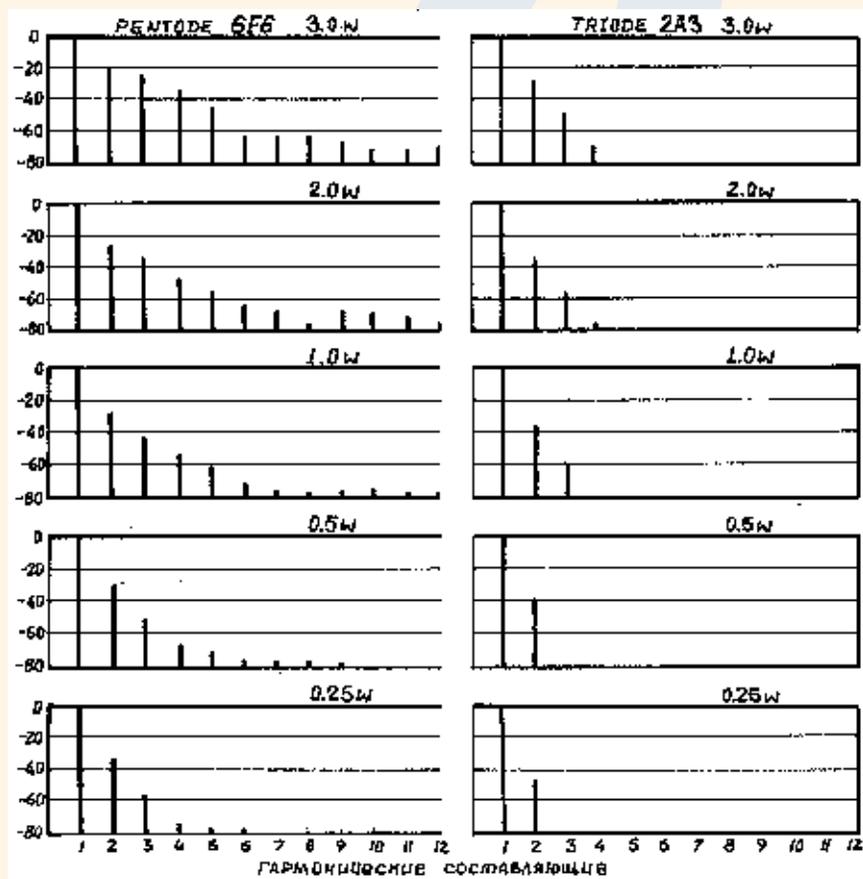


Рис. 19. Гармонические составляющие пентода 6F6 и триода 2A3 для пяти различных уровней мощности (Авт. Олсон)

называемого «первый ваттом». В этой связи более важно рассматривать моменты перехода от низкого уровня к более высокому, с точки зрения обогащения спектра, когда динамик с достаточно высокой чувствительностью не станет «вытягивать» лишние, искаженные ватты из усилителя.

Из того же Рис. 19 видно, что с повышением отдаваемой мощности, растет хвост из третьей и четвертой гармоник, а измерения на Рис. 18 лишний раз это подтверждают. Если категорично это интерпретировать, то следует заявить, что одноктактики при высоких мощностях должны иметь очень диссонансный голос. Но действительность опровергает такое предположение. Как с этим быть?

## ОБЩАЯ СОЗВУЧНОСТЬ

Простое отношение второй гармоники к основной, вроде бы не должно нарушать общей картины созвучия (т.к. отношение 1 : 2 является простейшим из всех интервалов, кроме собственно унисона). Тем не менее, гармонические искажения, хотя бы и второго порядка, добавляют постороннюю энергию к обертонам музыкальных инструментов. К примеру, спектр на Рис. 13 всеми своими гармониками должен «прилипнуть» к спектру на Рис. 20 (отметьте их подобие). Такое вот уникальное соответствие явно усилит спектр флейты. А если так, то все язычковые инструменты должны приобрести «флейтовый» голос. Опять же спектр Рис. 14 должен усилить спектр кларнета на Рис. 21 и в звучание флейты проникнет его тембр. Известно, что подобные эффекты также

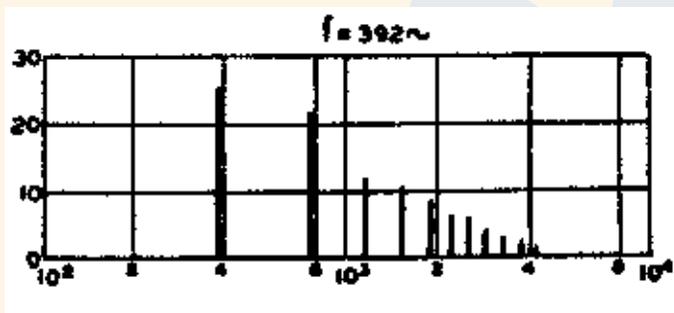


Рис. 20. Спектр флейты с основным тоном на частоте 392 Гц. Отметьте сильную вторую гармонику на 784 Гц, в так же плавно спадающую последовательность гармоник. (Авт. Олсон)

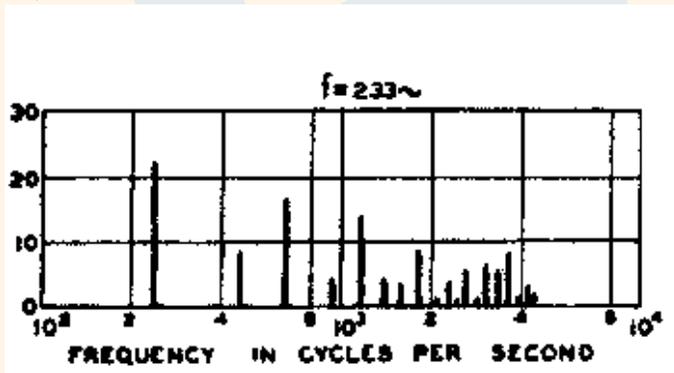


Рис. 21. Спектр кларнета с основным тоном на частоте 233 Гц. Отметьте слабую амплитуду второй гармоники на 466 Гц, а также доминирующие нечетные гармоники вплоть до 5-й (Авт. Олсон)

приложимы и к балансным схемам, которые, как правило, двухтактные<sup>22</sup> (61). Однако, не забудьте, что суммарные гармонические искажения балансных схем гораздо ниже, чем у одноктактных. И это может сделать их менее заметными в тракте, с точки зрения вносимых искажений, а может и не сделать. Это определит характер музыки или речи.

Понятное дело, что для оценки искажений требуется какой-то универсальный и лучший метод. И их все время предлагали (62, 63, 64), но ни один из них не выдержал проверки на прочность.<sup>23</sup> Проблема достоверности этих методов заключается в том, что существует понятие, по определению Олсона, как blending – слитность, гармония (48). Тембр определенного инструмента содержит столь много гармонических составляющих, что мы не способны произвести простую оценку его (инструмента) индивидуальности. На Рис. 22 показаны наиболее важные интервалы, которые существуют между первыми восемью гармониками. И то, как мы воспринимаем звучание инструмента, есть результат слияния гармонических интервалов, ему присущих. То, что мы называем «голосом» инструмента.

Если, скажем, два чистых тона, звучащих одновременно, вызывают зубную боль, то добавлением третьего возможно добиться абсолютного созвучия или, по крайней мере, сглаживания. Вот этот тройной (четвертной и т.д.) звук и выражает собой суммарный эффект гармонизации. О.Е.Л. Shorter еще в 50-х заметил: «Искажения должны рассматриваться не как просто величины отдельных гармоник, а как законченная последовательность их, или суммарная форма волны, в которую они складываются (65)».

1	= основной или унисон (1 : 1)
2	= 1-я октава (1 : 2)
3	= чистая квинта (2 : 3)
4	= 2-я октава (2 : 4), чистая кварта (3 : 4)
5	= большая секста (3 : 5), большая терция (4 : 5)
6	= чистая квинта (4 : 6), малая терция (5 : 6)
7	= гармонически малая секста (4 : 7)
8	= 3-я октава (4 : 8), малая секста (5 : 8), чистая кварта (6 : 8)

Рис. 22. Таблица стандартных интервалов для первых восьми гармоник.

Эффект гармонизации может быть легко продемонстрирован с гитарой.<sup>24</sup> К примеру, взяв F (ниже открытой E) вместе с E, даст определенное несозвучие. Но если тут же добавить A, то мы услышим явное сглаживание первого диссонанса.

<sup>22</sup> Хорошие аргументы в пользу балансного включения в работе «К вопросу о сигналах, усиливаемых в одноктактном режиме» – там же.

<sup>23</sup> Все это было сведено в «Справочник разработчика р/сис-тем» – Radiotron (62)

<sup>24</sup> Автор приносит благодарность Марку Гарвину (M. Garvin) за предлагаемый им простой, но весьма показательный тест. Идея не нова и, вероятно, восходит ко временам Гельмгольца (46).

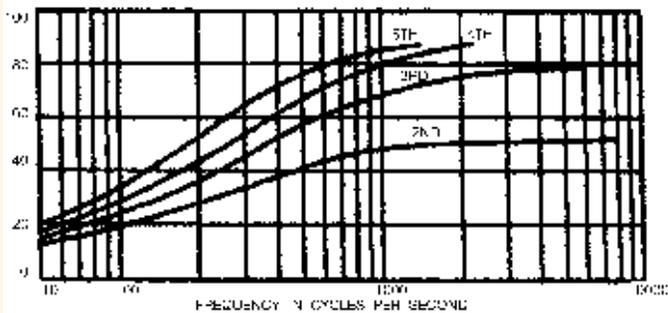


Рис. 23. Кривые показывают, как низкочастотные звуки порождают интерауральные гармоники на малых порогах слышимости (Авт. Олсон)

Интервал от **F** (фа) одной октавы до **E** (ми) другой октавы есть большая септима (8 : 15). Добавляя же ноту **A** (ля), мы получаем два новых интервала: большую терцию (4 : 5) и чистую квинту (2 : 3). Два вновь образованных созвучных интервала «развалили» один диссонансный, создав, таким образом, приятное трезвучие. Определяющим, критическим параметром конечного созвучия, стало не маскирование, а слитность, гармоничность. Маскирование имеет место в том случае, когда маскирующий тон достаточно велик, чтобы

в оригинальном сигнале гармоники (Рис. 24). Впрочем, так это и происходит в усилителях или других устройствах, где связь in/out не абсолютно линейна. Очевидно, наш мозг адаптирован к подобному плавно спадающему спектру гармоник. Сравните спектр однотактника (Рис. 13) со спектром на Рис. 24.

Такое, почти точное соответствие спектров, никак не может оправдать присутствие искажений в системе воспроизведения. Интерауральные тоны сами по себе не являются желательными, так как возникают при защите органа слуха. Интерферируя с входным сигналом, они могут изменять пространственную локализацию, и будут маскировать внешние гармоники до тех пор, пока те не превысят их. В момент такого динамического перевеса звучащий образ смещается в пространстве!

В то же время гармонизация не зависит от уровня сигнала. Как можно видеть из Рис. 5, что вибрации частей струны будут интерферировать с другими. А их частные амплитуды и фазы сложатся таким образом, который и определит суммарное, сложное колебание. Оно и даст уникальную форму сигнала (и характерную окраску), столь присущую инструменту. Это правило действует для музыкальных инструментов, звучащих отдельно или в ансамбле.

**Из всего сказанного следует, что количество гармонических продуктов не является определяющим (критическим) фактором музыкальности усилителя. Наибольшее значение имеет общая созвучность внутренних интервалов между гармониками.**

*(На этом можно и остановиться. Вторая часть статьи С. Франкланда не закончена. Так как объем ее велик, мы не стали испытывать ваше пристальное внимание к тексту в этой книжке, но дадим окончание всей (1/2 второй + третья) статьи в следующем номере. – Ред.)*

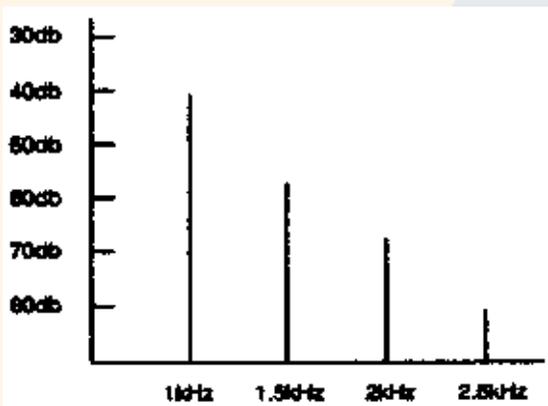


Рис. 24. По оси Y отмечены уровни в дБ, на которых тон в 500 Гц начинает создавать интерауральные гармоники (построен из Рис. 23)

«заглушить» наш слуховой механизм (48, 56). К примеру, если постоянно повышать громкость чистого тона в 1 кГц, то наше ухо, в дополнение к килотгерцу, создаст затухающую серию гармоник (так, что 2 кГц > 3 кГц > 4 кГц...). Тогда любой чистый тон с частотой какой либо гармоники должен превышать ее по уровню, чтобы быть услышанным отдельно нашим ухом (Рис. 23).

Согласно труду Parker'a и Sybil's, гармоники возникают из-за того, что обратная связь от высшего нервного центра как бы сдерживает амплитуду колебаний среднего уха, способную оглушить наш орган слуха. Тогда, в момент защиты ухом самого себя, входная амплитуда давления испытывает компрессию на среднем ухе. Как результат, форма сигнала изменяется и возникают несуществующие



# КАКАЯ ЛАМПА НАМ НУЖНА

А. Белканов



Полистав старые справочники, начиная от Дроздова и Гурфин-кея\* и кончая последним выпуском Кацнельсона/Ларионова\*\*, а также отраслевые тома Радио-прома, я искренне сделал было ошибочный вывод – ламп хоть пруд пруди. Однако, поставив себе задачу отыскать среди них чисто звуковые, довольно быстро убедился, что таких ничтожное количество и выпускались они во времена оные. Речь пока идет о лампах советского происхождения.

Для сигнальных цепей это: 6Ж32П (EF86), 6Н8С (6SL7), 6Н9С (6SN7), с большой натяжкой можно считать таковой 6Н23П-ЕВ (6922, 6DJ8). по задумке телевизионной, в промежутке стоят 6Н7С (6N7), 6Н6П (12BH7) – тоже для TV.

Для выходных каскадов: УО-180, УО-186 (одноанодные), 2С4С/6С4С и, наконец, – 6П14П (6BQ5, EL84), 6П27С (EL34). Последнюю вообще мало кто видел, она у меня в единственном экземпляре – музейный экспонат. Промышленность наша ламповая успешно одолевает выпуск новых/ старых КТ66, КТ77 (она же EL34). КТ88, 6550, 5881 (она же 6ПЗС-Е и 6L6WGC), 6922, 12AX7... Но как много из них, в своей первоначальной ипостаси, предназначенных именно для звука?

Лучевые тетроды патологически «больны». Чтобы убедиться в этом, проведите линию нагрузки и в координатах  $U_c-I_a$  постройте передаточную характеристику. Ее S-образность говорит за присутствие сильной 3-й гармоники в усилении, разумеется при боль-

ших амплитудах. И как вы не ставьте тетрод в SE или PP, его «родимое пятно» не отмыть. Впрочем, это не мешает фирмам Jadis, ARC, Conrad Johnson и всезнайке Скотту Франкланду (Wavestream Kinetics) использовать их и добиваться неплохого звука. Я отрицательно реагирую лишь на применение ими большого числа ламп, включенных параллельно. В двухтактном выходном каскаде, задача совместимости 4-х, 6-ти и 8-ми и т.д. баллонов усложняется почти в экспоненциальной прогрессии, не говоря уже о звуковой сигнатуре, вносимой каждой лампой отдельно.

Значит, нужны новые лампы, с большей мощностью рассеяния на аноде, чем доступные 6550 (36 Вт в аноде). Появление саратовской 300В вызвало вздохи облегчения у аудиофильствующей публики. Это, во-первых, 40 Вт мощности анода, то есть возможность получить около 10 Вт звука в SE включении и 20 (!) в PP. Во-вторых, необъяснимо популярный прямой накал катода. Что-то в этом определенно есть, не зря воинствующие аудио-филы *отдают свое сердце прямому накалу*.

Что же есть еще? Из российских ламп еще есть ГМ70, ГК71 – триод и пентод с прямым накалом. Из буржуйских (скорее китайских, т.к. ни WE и RCA днем с огнем не сыщешь) подходят мощные триоды 211-й и 845-й, но это для самых отъявленных.

В последнее время на российском рынке все-таки появились лампы, ини-

цированные американской фирмой «Svetlana Electron Devices» – SV572-3, -10, SV811-3, -10, 812 (о 572 см. в номере).

И, наконец, тщательно скрываемая от гражданских – RB300-3CX. Она является неоспоримым лидером по мощности на аноде -300 Вт, равно как и по допустимым значениям анодного напряжения 2,5 кУ. Без особых усилий мы вытянули из нее 15 Вт при 3% искажений. Возможно получение 50 Вт в однотактном включении, но тогда выходной трансформатор начнет жить отдельной, собственной жизнью (не только из-за размеров и веса, но и многочисленных проблем, связанных с электромагнитным излучением).

Впрочем, это не последнее слово. Разработанные А. Вайшем прямонакальные триоды VV30 и VV52B, хотя и в малых количествах, но таки расплозились по свету и отзывы о них самые благодущные. Причем эти лампы были сделаны исключительно для звуковых выходных каскадов по современным требованиям Hi-End. Остается сожалеть, что установлены они будут только в самых «заоблачных» аппаратах, т.к. стоимость пары VV30 около \$1000, а VV52B и того больше. Характеристики первой мы приводим ниже.

Достаточно определеннее обстоит дело со слабосильными лампами. Не гордая западная публика давно предпочитает лампу 6922 производства «Made in Saratov», то есть «Рефлектор», в миру «Sovtek». Лампа – вообще хоть куда. Саратовские специа-

\* «Справочник по западно-европейским приемным лампам» к.и. Дроздов, «Сов. Радио» М. 1948. «Приемно-усилительные электронные лампы» Б.Б. Гурфинкель. Госэнергоиздат. М-Л. 1949.

\*\* «Отечественные приемно-усилительные, генераторные, модуляторные и ...» Б.В. Кацнельсон, А.С. Ларионов. Энергоиздат. М. 198...

\*\*\* Спасибо Артуру Фрунджану за хорошую просветительскую статью в журнале Class A. Кто хочет иметь оригинал статьи David'a O'Rourke – in Search of the Perfect Tube, обращайтесь в журнал.

листы умудрились подавить микрофонный эффект, а благодаря своим уникальным параметрам:

$\mu = 33$ .  $S = 12,5 \text{ mA/V}$ , она может быть использована практически во всех сигнальных цепях, начиная от головки MC (moving coil). Конструкция у нее симметричная\*\*\*, то есть приходится ожидать от нее вполне приличного звука. В отношении формальной линейности передачи с ней могут поспорить только ECC80, 6SN7. По измерениям Рика Берглунда (Glass Audio 6/95), ECC88/ 6DJ8 производства Mullard, RCA, Philips имеют против нашей линейность раза в полтора худшую. Омрачить народную любовь к ней может только косвенный накал с оксидным покрытием катода.

Тот же «Рефлектор» выпускает 12AX7 с набором индексов, после названия. Вся продукция прямиком идет за рубеж, очень ее там любят. По линейности она сравнима с 6922, но имеет несомненное преимущество – напряжение на аноде может достигать 300 В, значит возможно развивать значительные амплитуды сигнала. Правда, при этом лампа не способна отдать в нагрузку никакого тока и, из-за своего высокого  $R_i$  и столь же огромного требуемого  $R_a$ , каскад на этой лампе имеет ранний срез по ВЧ, в районе 28-30 кГц. Из-за того же  $R_i = 62-70 \text{ кОм}$  и шумы у нее не малые. Однако, если есть возможность отобрать экзemplяры по шумам (имеется в виду применение в корректоре RIAA), то звучание ее может определенно понравиться. На мой взгляд, лампе явно не хватает детальности в верхних регистрах.

Весьма мною ценимые 6СЗП и 6С4П (с индексами ЕВ и ДР), также имеют своей родиной «Рефлектор» (см. о них в номере), но цены на них у завода просто запредельные – \$3-6 за шт. А в штуке всего один триод.

Об известных октальных 6Н8С, 6Н9С, 6С2С, 6Н7С говорить нет нужды – они все «неправильно» сделаны, хотя 6Н9С и 6Н7С это касается в меньшей степени. Ранние 6SN7 Brimar и 6SL7 Sylvania – недоступны, но с точки зрения симметрии электродной системы безупречны. На российском же рынке устойчивым

реноме обладают древние «свет-лаповские» лампы, из молодого поколения – только саратовские (после 70 г. и современные). Новые 6Н8С Новосибирского завода имеют много нареканий по надежности (вакуум, эмиссия, качество сборки).

Вряд ли октальные дождутся своего ренессанса, поэтому придется довольствоваться старыми лампами исключительно советской выделки.

Если вы собрались грамотно согласовать каскад усиления с выходной лампой, не обойтись без 6Н6С в качестве драйвера. Реально добиться от нее усиления в 10-12 и есть подозрение, что ее динамическая передаточная характеристика (в координатах Uc-Ia) хорошо сложится с такой же у 300В. Хотя лампа изначально была «по-заимствована» у RCA 12BH7, работавшей в схеме кадровой развертки. Ну и пусть! Мне у нее явно несимпатичен «жирный», «мутный» звук, хотя многим он как раз подходит.

Сдается, что в плане сигнальных и драйверных ламп нам мало, что светит. Специально для звука разрабатывать их невыгодно: ресурс у них больше, чем у мощных, а поэтому и заменяются они реже. Недовольства на имеющиеся в наличии, потребитель вроде не высказывает. Может оно и к лучшему, от добра добра не ищут.

Так что же выбрать в конце концов? На этот уж очень неконкретный вопрос готовится статья для следующей книжки «Вестника», где будут детально разобраны преимущества и недостатки каждой из 6М70, 845, SV572, RB300-3CX и W30. Не исключено, что к моменту выпуска № 3, мы сможем сравнить трехсотки от «Рефлектора» и «Светланы».

В завершение, хочется быть услышанным всеми российскими производителями. Вот мое слово:

– Господа разработчики и производители! Не пренебрегайте контактами и сотрудничеством с нами, самодельщиками и любителями музыки. Лампа, созданная для звукоусиления должна изрядно отличаться от других электровакуумных приборов.

Здесь, дома, в России есть все

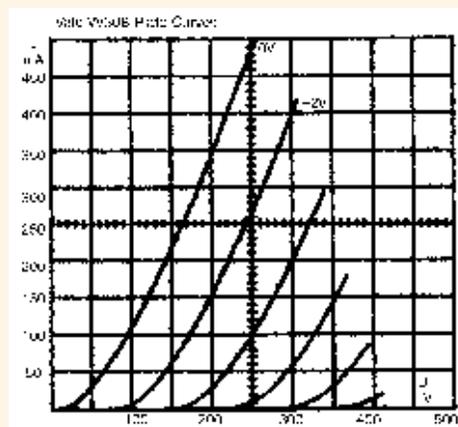
возможности для проведения оценок звучания прототипов. Для этого не надо отсылать еще сырые образцы на Запад, чтобы затем получать субъективные мнения поанглийски и долго ломать голову над тем, как перевести аудиофильскую тарбарщину на строгий технический язык. Даже при внешней оценке конструкции лампы и технологии ее производства, видно, сколь мало себе представляют разработчики, как создаваемая ими лампа будет работать в звуке. При формально хороших параметрах, остается немало проблем, связанных с выводами электродов на цоколь, с перемычками и сварными соединениями, многослойными покрытиями ножек и качеством закрепления электродной системы внутри баллона. Нетрадиционные измерения должны выявить недостатки и, наоборот, лучшие качества российских приборов.

Вспомните, как родились программы Golden Dragon в Китае и Gold Aero в Чехии и Югославии. Именно при участии британских и американских любителей и экспертов. В России же есть свои.

Если Вы обратите свое внимание на наши чаяния, то совместные усилия помогут стать Вашему продукту более качественным, а значит и более конкурентноспособным на мировом рынке.

Мы хотим одновременно с Вами, чтобы российская лампа стала одной из лучших, если не первой. Все предпосылки для этого есть.

Не забывайте о наследии египтян и древних греков, следовавших сути термина TECHNÉ, означавшего неразрывную связь инженерии и творчества.



Для усиления мощности электрических колебаний низкой частоты в большинстве радиоприемников и усилителей применяются лучевые тетроды типов 6ПЗС и 6П6С. Кроме этих ламп, имеются также лучевые тетроды и других типов. Лучевой тетрод типа 6П1П является окончательным в серии сетевых пальчиковых ламп. Для генераторов строчной развертки телевизоров предназначен лучевой тетрод типа 6П7С, Двойные тетроды типов ГУ-29 и ГУ-32, применяемые в двухтактных ступенях маломощных КВ и УКВ передатчиков, также являются лучевыми лампами.

Лучевые тетроды появились 17\* лет тому назад в результате дальнейшего конструктивного развития пентодов. Они отличаются от пентодов двумя присущими им признаками: 1) расслоением электронного потока на

секторообразные лучи (по числу промежутков между витками управляющей сетки) и 2) подавлением динаatronного эффекта при помощи большого пространственного заряда, образующегося между экранной сеткой и анодом.

Рис. 1 дает общее представление о форме и взаимном расположении электродов лучевого тетрода. Характерной особенностью ламп этого типа является наличие в них дополнительного, так называемого лучеобразующего электрода и определенное взаимное расположение витков сеток.

Лучеобразующий электрод состоит из двух желобообразных пластин 1, расположенных между экранной сеткой 4 и анодом 5 и присоединенных внутри лампы к ее катоду 2.

Управляющая и экранная сетки намотаны в одну и ту же сторону с одинаковым шагом и смонтированы в лампе так, что проекция каждого полу витка второй сетки на поверхность катода совпадает с проекцией соответствующего полу витка первой сетки. Другими словами, витки второй сетки находятся как бы в «тени» витков первой сетки, причем под «тенью» в данном случае имеются в виду промежутки между лучами электронов, изображенными светлыми полосами на рис. 1.

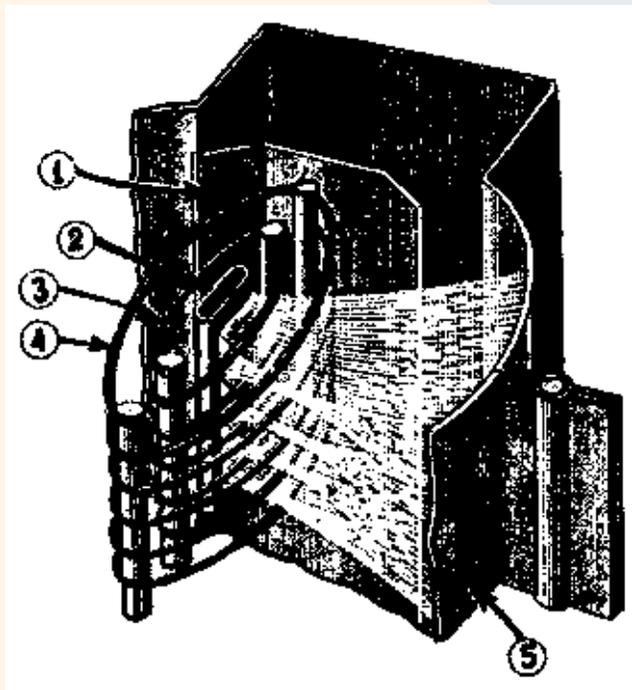


Рис. 1. Расположение электродов лучевого тетрода 6ПЗС: 1 — лучеобразующий электрод; 2 — катод; 3 — управляющая сетка; 4 — экранная сетка; 5 — анод

## ПОДАВЛЕНИЕ ДИНАТРОННОГО ЭФФЕКТА

Как известно, в усилителях мощности при активной анодной нагрузке в моменты наибольших положительных значений напряжения на управляющей сетке окончательной лампы получаются одновременно наибольший анодный ток и наименьшее напряжение на ее аноде. Для того чтобы окончательный каскад имел достаточно высокий КПД по анодной цепи при минимальном напряжении на аноде (называемом остаточным), равно примерно 20% напряжения на экранной сетке, лампа должна пропускать импульс тока, не менее чем в два раза превышающий допустимую величину постоянной слагаемой анодного тока.

На рис. 2 представлено семейство характеристик обычного тетрода, при конструировании которого не принято специальных мер к подавлению динаatronного эффекта. Этот тетрод не может обеспечить эффективного преобразования подводимой энергии постоянного тока в энергию колебаний НЧ. Объясняется это тем, что при такой лампе вследствие возможности возникновения динаatronного эффекта нельзя допускать сравнительно большие переменные напряжения на нагрузке.

Сущность динаatronного эффекта, вызывающего деформацию характе-

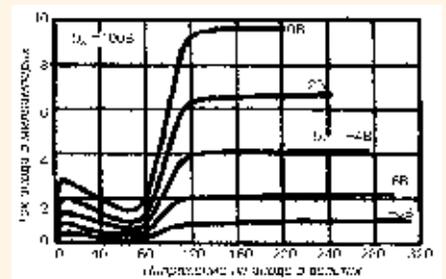


Рис. 2. Характеристика обычного тетрода

\* В 1937 г. Отто Шад на RCA разработал лучевой тетрод и назвал его 6L6.

ристики тетрода, состоит в следующем. Эмитированные катодом первичные электроны во время вхождения в толщу металла анода выбивают из него другие электроны, называемые вторичными или динатронами. В том случае, когда динатронящий электрод имеет сравнительно с другими электродами лампы наивысший потенциал, вторичные электроны попадают в тормозящее электрическое поле в возвращаются обратно. Если же имеет место обратное соотношение напряжения, например, когда напряжение на экранной сетке равно 100 в, а на аноде 80 в или меньше (рис. 2), то большинство вторичных электронов анода притягивается второй сеткой, что и приводит к снижению анодного тока и увеличению тока экранной сетки.

Одним из методов устранения вредного последствия динатронного эффекта в пентодах (перелета вторичных электронов, выбитых из анода, на экранную сетку) является помещение между анодом и экранной сеткой третьей сетки. Третья сетка, имеющая нулевой потенциал, создает вблизи анода достаточно сильное тормозящее поле и тогда, когда напряжение на аноде намного меньше напряжения на экранной сетке.

В отличие от пентодов понижение потенциала в пространстве между экранной сеткой и анодом в лучевых тетрадах достигается с помощью отрицательного заряда массы первичных электронов, находящихся на пути к аноду. Очевидно, что чем больше анодный ток, тем значительнее отрицательный пространственный заряд электронов, находящихся в данный момент между экранной сеткой и анодом, тем сильнее тормозящее поле вблизи анода, вызываемое этим пространственным зарядом.

Выше было указано, что при работе лампы на активную нагрузку наименьшее напряжение на аноде лампы получается, когда анодный ток достигает наибольшего значения. Это является чрезвычайно благоприятной особенностью, так как дает возможность подавлять динатронный эффект в упомянутых

выше наиболее тяжелых для лампы условиях.

Отрицательный пространственный заряд нужной величины получают в лучевых тетрадах очень простым способом: увеличивают расстояние между второй сеткой и анодом так, чтобы в образованном ими пространстве находилось необходимое количество электронов. При этом количество электронов возрастает не только вследствие увеличения длины пути, но и главным образом из-за снижения скорости их полета.

Как видно из рис. 1, исходящий из катода поток электронов разделяется прежде всего на две части траверсами управляющей сетки, имеющей отрицательный потенциал, и раслаивается ее витками на секторы до числа промежутков между этими витками. Такое начальное формирование электронного потока в двух взаимно перпен-

дикулярных плоскостях имеет место и в большинстве электронных ламп других типов. Однако в них оно не служит определенной цели, в связи с чем формирование электронных лучей на этом прекращается. Так, например, в обычных пентодах витки управляющей и экранной сеток навиты с разным шагом и в большинстве случаев в разные стороны, в результате чего отдельные слои электронного потока беспорядочно разбиваются витками экранной сетки. В лучевых же тетрадах получившиеся электронные лучи формируются и дальше и используются как для подавления динатронного эффекта, так и для снижения тока экранной сетки.

Рассматривая рис. 1, можно заметить, что электроны, вылетев за витки экранной сетки, попадают под действие электрического поля не только анода, но и двух желобообразных стоек лучеобразующего электрода, нахо-

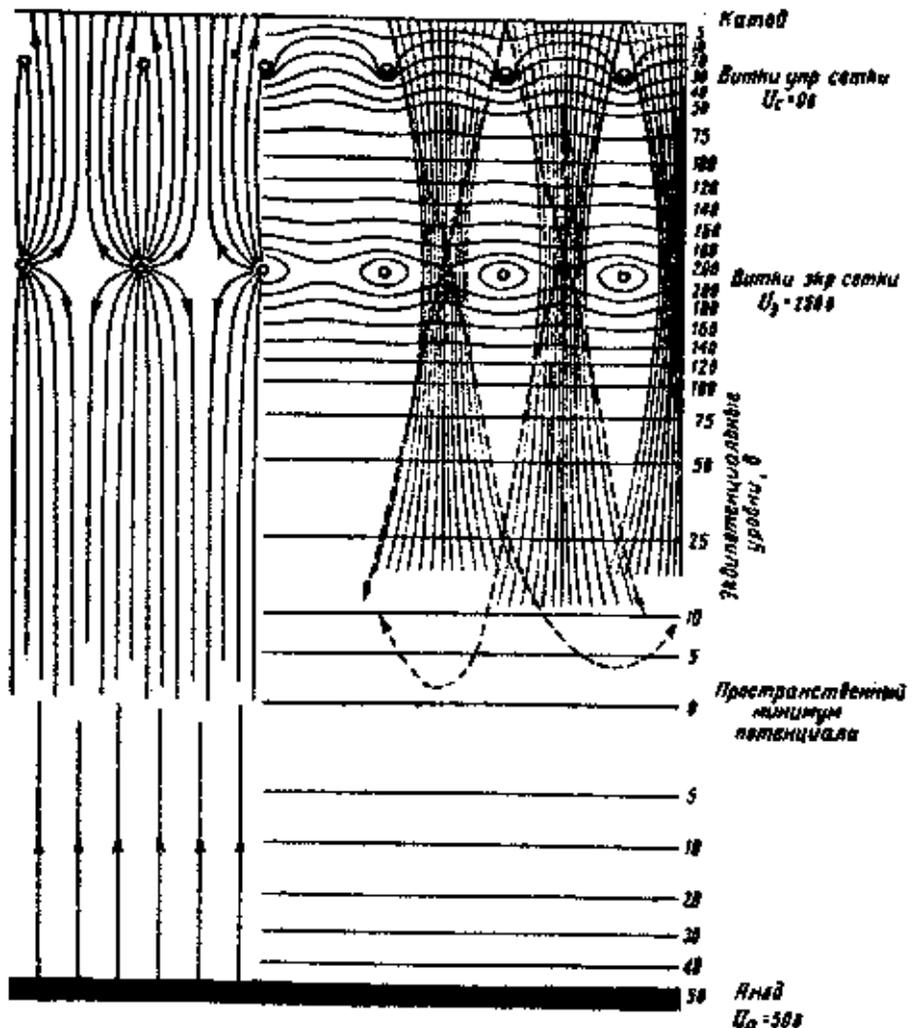


Рис. 3. Поперечное сечение электрического поля лучевого тетрода

дыщегося под потенциалом катода. Благодаря этому устраняется возможность деформирования лучей в поперечной плоскости, что имело бы следствием значительное искривление траекторий некоторых электродов и попадание их на траверсы экранной сетки, находящейся под высоким положительным напряжением. Размеры и положение стоек лучеобразующего электрода подобраны так, что края их непосредственно смыкаются с поверхностью минимального потенциала. Благодаря этому электрическое поле в рабочей части пространства одинаково для различных ветвей электронных лучей.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА КАТОДА

При обычном использовании пентодов и лучевых тетродов в усилителях мощности получаемый от лампы полезный эффект создается анодным током. Ток экранной сетки не выполняет никакой полезной работы и даже является вредным, потому что увеличивает как потребление энергии, так и выделение тепла внутри лампы. Поэтому эффективность работы окончательного пентода или лучевого тетрода в заметной степени определяется распределением тока катода между цепями анода и этой сетки. Формирование потока электронов в секторообразные лучи существенно изменяет токораспределение в лампе, увеличивая ток анода и уменьшая ток экранной сетки.

Формирование лучей в продольной плоскости, в которой лежит ось катода и которая перпендикулярна плоскости траверс, показано на рис. 3. Остаточное напряжение на аноде взято равным 50 в. Такое напряжение получается обычно при оптимальной величине сопротивления активной нагрузки в моменты, когда максимальная амплитуда усиливаемого напряжения сводит смещение на управляющей сетке к нулю (имеется в виду работа без токов первой сетки). Именно в этих условиях, когда ток катода достигает максимального значения, необходимо пропустить поток электродов через витки второй сетки с наименьшими потерями.

В левой части рис. 3 электрическое поле показано при помощи электрических силовых линий, исходящих от положительных зарядов, расположенных на экранной сетке и аноде. Заканчиваются силовые линии на отрицательных зарядах, которые находятся на катоде, управляющей сетке или в пространстве между экранной сеткой и анодом. В правой части рис. 3 это же электрическое поле изображено при помощи эквипотенциальных линий, т. е. линий, соединяющих точки равного потенциала. Каждая такая линия имеет свое численное значение потенциала. Расположение эквипотенциальных линий показывает распределение потенциала в пространстве.

Как только эмитированные катодом электроны преодолевают расположенный в непосредственной близости от катода минимум потенциала, они попадают под действие сил электрического поля, изображенного на рис. 3. Движение электронов получает такое направление, что почти все они устремляются в промежутки между витками экранной сетки. Благодаря этому ток экранной сетки очень мал и создается главным образом частью тех электронов, которые не смогли преодолеть минимум потенциала между этой сеткой и анодом и повернули обратно. В среднем в лучевых тетрадах ток экранной сетки в статическом режиме составляет примерно 8-10 процентов анодного тока. Для сравнения можно указать, что

в аналогичных по назначению пентодах для усиления мощности ток экранной сетки составляет примерно 20 процентов анодного тока.

В случае полного использования лучевого тетрода в усилителе мощности на экранную сетку подается все напряжение источника анодного питания. Таким образом, напряжение на названной сетке равно анодному или даже на несколько вольт выше его из-за падения напряжения на первичной обмотке выходного трансформатора. Тем не менее, как это видно из приведенного на рис. 4 семейства типичных для лучевого тетрода характеристик, динактронный эффект хорошо подавлен в довольно широкой области возможного расположения динамической характеристики. Это важно в связи с тем, что динамическая характеристика практически представляет собой не прямую линию, а эллипс, наклон большой полуоси которого определяется величиной активного сопротивления нагрузки.

Ранее было показано, что динактронный эффект подавляется при помощи пространственного заряда, создаваемого большим анодным током. При малом анодном токе пространственный заряд мал и не в состоянии подавить динактронный эффект в том случае, если напряжение на аноде заметно меньше напряжения на второй сетке. Это очень хорошо видно по форме той части кривых (рис. 4),

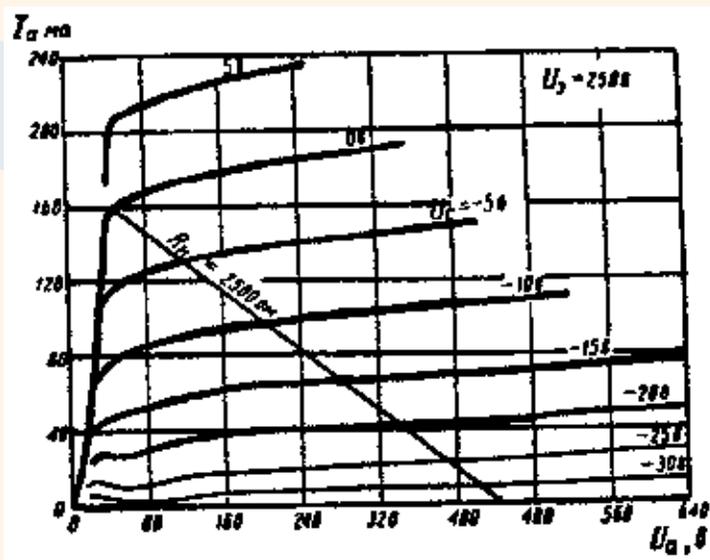


Рис. 4. Характеристика лучевого тетрода

которые расположены в области малых анодных токов и малых анодных напряжений. Однако проявление динаatronного эффекта в этих условиях не представляет никакой опасности, так как при работе лампы малые анодные напряжения получаются не при малых, а при больших анодных токах (на сетку подана амплитуда положительного полупериода), а малые анодные токи (на сетке действует амплитуда отрицательного полупериода) сочетаются с большими напряжениями на аноде, при которых динаatronы не могут покинуть анод.

Лучевые тетроды благодаря своим хорошим параметрам и характеристи-

кам почти полностью вытеснили из сетевой радиоприемной аппаратуры оконечные пентоды. Применение отрицательной обратной связи придает лучевым тетродам свойства оконечных триодов, что позволяет снизить частотные и нелинейные искажения в несколько раз. К сожалению, производство лучевых тетродов из-за повышенных требований в отношении точности изготовления и монтажа их сеток несколько труднее, чем аналогичных по мощности нелучевых пентодов. Эти трудности производства возрастают по мере уменьшения размеров электродов, вследствие чего становится весьма затруднительным изготовлять

маломощные лучевые тетроды, в особенности прямого накала, например, подобные пентоду 2П1П. Тем не менее в лампе 2П1П, так же как и в некоторых подогревных лампах (например, 6ЖЗП), применен метод подавления динаatronного эффекта анода при помощи пространственного заряда (однако он не снижает тока экранной сетки). Можно полагать, что непрерывное развитие техники производства электронных ламп позволит сконструировать и маломощные лучевые тетроды, в том числе и для экономичных приемников народного потребления.

«Радио» № 1/54

Клемм нынче развелось уйма. Решил и я отличиться, когда понял, что хороших не купить, а плохих и за рубль нельзя покупать. Мои клеммы пригодны и на выходе усилителя и по входу колонок. Материал: латунь, медь (обрабатывается плохо!). Зажимный болт снаружи можно сделать из стали, из той же латуни; из серебра делать не выгодно, так как в передаче сигнала болт не участвует. Алюминий катего-

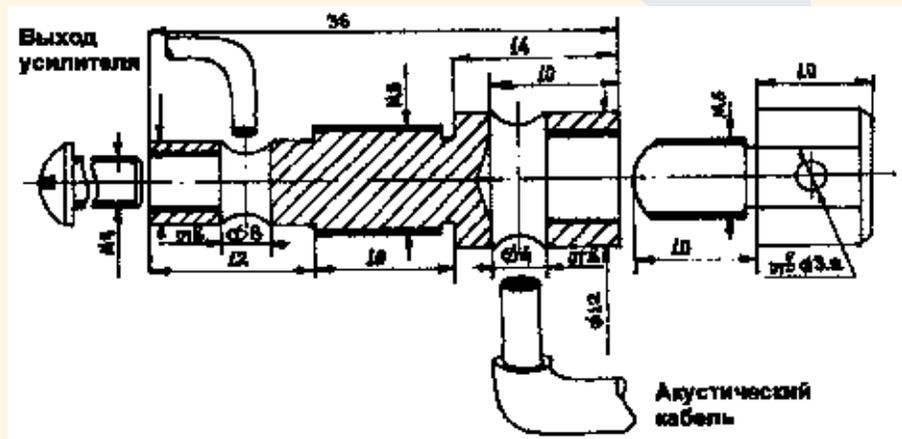
1. Не покрывайте ни никелем, ни хромом. Во-первых, сзади прибора клеммы не видно, во-вторых, сигналу от этого лучше не станет. Умнее будет освежать место контакта ластиком.

2. Если снарядили все-таки (зачем?) кабель вилочкой, то место соединения пропаивать не следует, лучше крепко обожмите и укройте кремнийорганическим кембриком или термоусадочным полиэтиленовым чулком. Пайка - глупая косметика, только «запачкает» сигнал, а при прогреве большой массы вилочки/лопатки, рискуете спалить изоляцию кабеля на 30-40 мм, кому это надо?

3. Каждую пару клемм установите

клемм должно быть 50-60 мм, иначе при существующем стандарте в фирменной технике можно сломать все: пальцы, клеммы, обломать вилочки и оборвать кабель и, наконец, сделать замыкание.

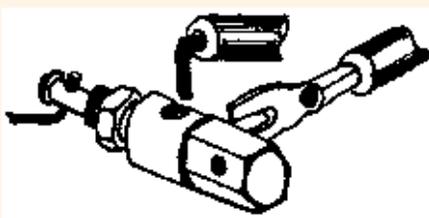
5. Если уж совсем на качестве соединений «завернулись», сделайте сквозное отверстие (по оси), в него проташите провод от усилителя/колонок и выведите его через то место, куда входит конец акустического кабеля. Оба провода и зажмите болтом.



рически не возможен, так как создает гальваническую пару с медью и к тому же его «закусывает». Внутренний винт - М4, из цинкованного крепежа, он в сигнале тоже не замешан. Болт можно сделать из 6-ти гранника 10, 12, 14..., из кругляка с накатной. Если без накатки, то просверлите дырку  $\varnothing 3,2$ , просуньте гвоздь и действуйте им как рычагом. Несколько советов:

на хороший изолятор: оргстекло, листовая полистирол, стеклотекстолит, керамику. Только после этого крепите изолятор на заднюю панель ящика. Применять шайбы-изоляторы в отверстиях панели не советую провернется при зажиме, а потом будет «коротыш». Под гайку М8 поставьте «контру» - от проворота.

4. Расстояние между центрами



6. Не делайте отверстий под «бананы». Во-первых, все «бананы» плохи, во-вторых, кому нужны лишние контактные переходы (или переходные контакты), а в-третьих, «бананы» официально запрещены к применению в Европе по соображениям безопасности - дети умудряются их выдернуть из колонок/усилителя и сунуть в сетевую розетку.

7. Не делайте Five way binding post - универсальную клемму на все случаи жизни. Нужна вам вечная игла для примуса?

8. Я хотел, как лучше.

Питерский электротехник Петров В.И.

# CLASSIC DESIGNS

## THE ONKEN ENCLOSURE

Sound Practices, Summer 1993

*Мне удалось послушать «малый Онкен» в Москве гораздо позднее получения на руки SP со статьей об этих легендарных колонках. Вместо Altec работали наши 4А-32 с магнитами ЮНДК 35ТБА (в народе – Альнико). Сказать, что был убит – мало, как только достану (куплю) бакелизированную фанеру, 20 мм толщины, затем строительство таких же, пусть выгоняют из дому.*

«Онкен» – имя, не употребляемое повседневно среди западных аудиофилов. Для тех же, кто знает, о чем идет речь, это имя стоит в ряду рафинированных произведений современного audio. Несмотря на их малую распространенность и огромную цену, головки и ящики Онкен среди немногих, имеющих статус культовых во всем мире.

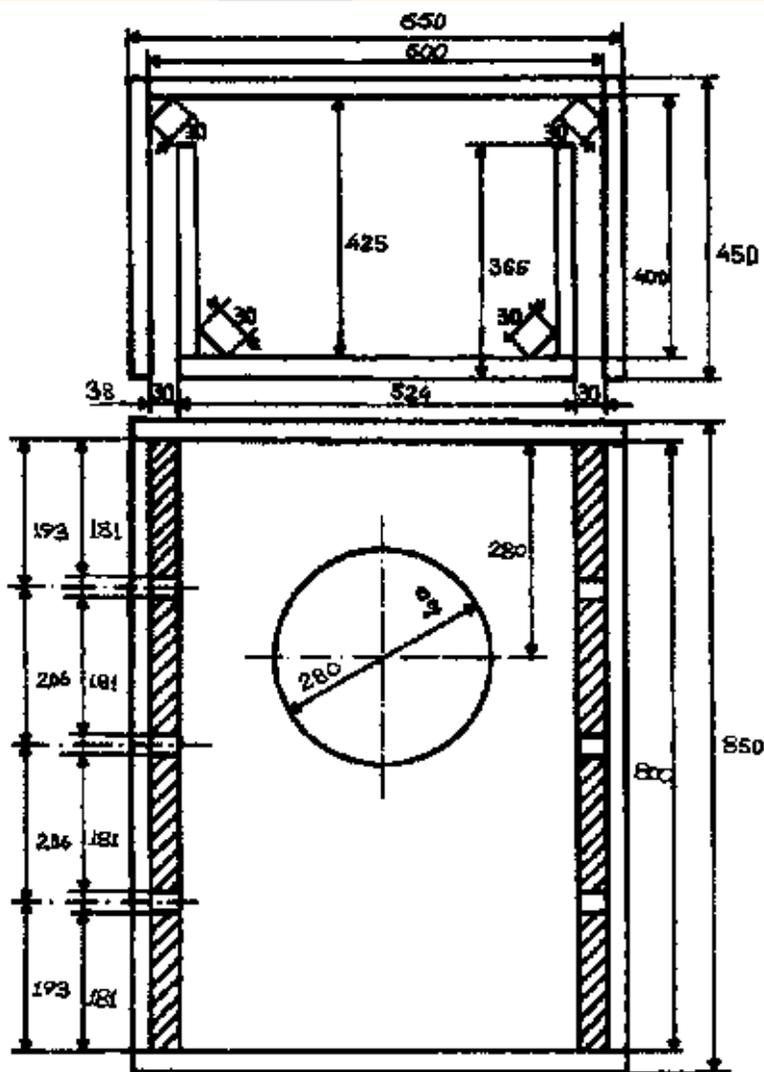
Основатель компании Eijiro Koizumi ввел прекрасно сработанные динамики на рынок Японии в начале семидесятых. И оформление и головки были разработаны в консультации с профессором акустики Токийского Университета, весьма почитаемого японскими аудиофилами. И в отличие от многих изделий японской экзотики, практически не ведомой никому дальше островов, Онкен обладает счастливой судьбой и международной известностью.

Молодой франко-японский инженер и журналист Жан Хирага (Jean Hiraga) стал проводником этой популярности. Он писал для французского аудиожурнала Revue du Son и в 1977 году организовал журнал для любителей поделаться своими руками L'Audiophile.

Хирага жил и работал в Японии, как раз во время блистательного явления Онкен и задачей его стало наведение моста между аудиокультурами Японии и Франции.

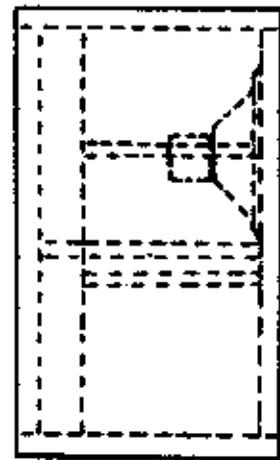
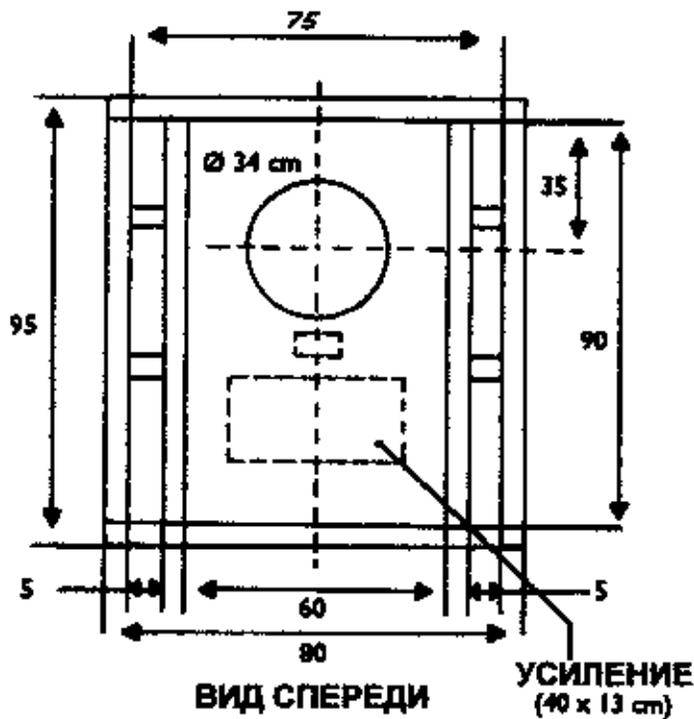
В одном из первых номеров L'Audiophile опубликовал оформление НЧ громкоговорителя Onken, в свою очередь заимствованное от Jensen 1938 года. Этот журнальный материал явился ответом на вопросы читателей о том, что же применить совместно с высококачественным СЧ рупором. Для многих независимых экспериментаторов поиск подходящей СЧ системы оказался действительно непростой задачей и Хирага предложил французам решение. На основании многочисленных опытов прослушивания, L'Audiophile рекомендовал Altec 416-8B, как возможную замену чрезвычайно редкому

А.Б.

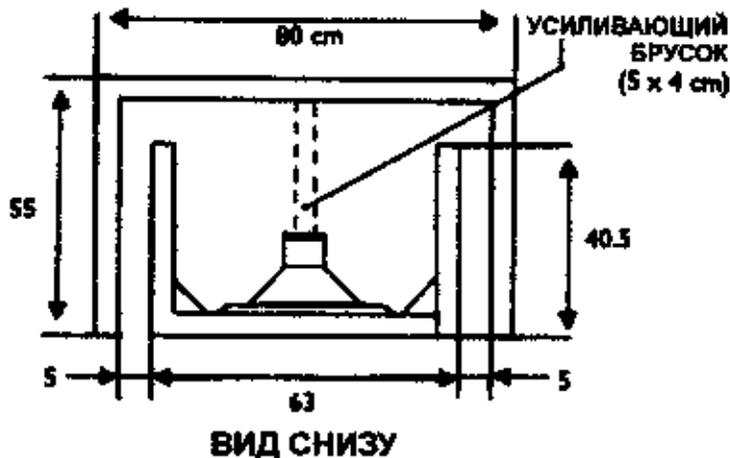


"PETITE ONKEN" для ALTEC 414-8B

\*Как пример 15-ти дюймовой головки, мы рискуем предложить наш советский 2А-12, а взамен 12-ти дюймовой – 4А-32. В самом деле, не покупать же Altec!



**ВИД СБОКУ**



и дорогому 150 (дюймовому) низкочастотнику в классическом ящике Onken\* (См. Рис.).

А уже в сентябре 82-го журнал публикует чертеж на ящик меньших размеров, спроектированный Koizumi еще в 1976-м. Это оформление становится очень популярным в Европе, равно как в свое время в Японии, главным образом, благодаря уменьшенным габаритам, большей свободе при установке в помещении и простоте настройки фазоинверсных каналов на резонанс. Ящик получил ласковое, типично французское имя – «Petit Onken» (вроде Малыш Onken по-русски), в Японии его называют «IP Ultra-Bass». В громкоговорителе французской версии, использована

12"-я головка Altec 414-8В. Измерения и прослушивания выявили хорошее подобие «малыша» с его старшим братом.

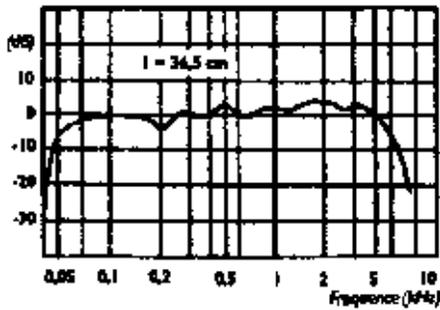
В 80-е известная фирма-производитель динамиков Focal рекомендовала оформление обоих Onken для некоторых своих низкочастотных головок, в частности для знаменитого 10С01. Собственный bassbox Focal с названием «Onkenmahul» отличался тем, что имел фазоинверсные отверстия по всем четырем сторонам, в отличие от классики, по одной стороне. Уникальная «яй-цеголовая» двухполосная система Focal'a «Egg» использовала ящик «Onkenmahul» для воспроизведения НЧ диапазона.

Благодаря публикациям чертежей

«Onken» в L'Audiophile продвинутые любители строят акустику для себя и по заказу платежеспособной аудиоэлиты. И, как водится в таких проектах, выбор материалов является очень критичным. Здесь, в самом деле, очень мало эквивалентов тому качеству, с которым сделан оригинальный Onken. В японской версии применяется дюймовая фанера с экзотической обработкой и тщательно отчесанной длинноволокнистой шерстью для демпфирования. В статье L'Audiophile рекомендуется применение фанеры, применяемой в судостроении, также толщиной в 1 дюйм и особое внимание к факту, что шерсть с длинным волосом – лучший выбор.

Если вы решились на создание Onken, то вопросы внешнего оформления – дело вашего выбора, Но думается, что все возможные приемы были испытаны японцами и французами. Посему, совет журнала – не выделяться попусту, выглядит очень уместным. Среди прочего, совет – устанавливайте динамик на внутренней стороне передней панели, не следуйте слепо обычной аудиофильской практике – крепить динамик снаружи.

Onken известен своим естественным, хорошо артикулированным и детальным басом. Хотя известно немало НЧ систем с более глубоким басом, а НЧ рупоры имеют больший напор и



энергию, акустика Onken побеждает деликатностью и изяществом звучания. В отношении преимущества от Jensen и странной мистики при столь очевидной, казалось бы, конструкции, можно ответить одно: акустика Onken являет собой отдельный класс среди современных громкоговорителей.

## ОТ РЕДАКЦИИ

Что здесь скажешь? «No comments», как выдохнули бы англичане, глядя на поверженного быка в корриде. Вот и мы «в тщеславном недоумении», как выразился бы русский писатель В. Ерофеев.

## АМПЛИТУДНОЕ – ЭФФЕКТИВНОЕ – СРЕДНЕЕ

(РАДИО ЛЮБИТЕЛЬ № 3 1927.)

На рис. 2 дан график напряжения  $E$ , силы тока  $I$  и мощности  $W$  переменного тока при некотором постоянном омическом сопротивлении  $R$ , в цепи. Хотя ток и напряжение во время второго полупериода имеют отрицательное значение, однако мощность все же и во время второго полупериода расходуется, поэтому она получается положительной (математически произведение двух отрицательных величин в данном случае –  $E$  и  $-I$  всегда дают величину положительную  $+W$ ). Для удобства подсчетов вводят величины: 1) эффективное напряжение  $E_{эф}$ , 2) эффективную силу переменного тока  $I_{эф}$  и 3) эффективную мощность  $W_{эф}$  и считают, что в цепи переменного тока с постоянным омическим сопротивлением они постоянны. Рассмотрим, что представляют собой эти величины.

Предположим, что мы через провод с сопротивлением  $R$  пропускаем (рис. 1) переменный ток с некоторыми амплитудными (максимальными) значениями напряжения  $E_m$  и тока  $I_m$ . Этот ток сможет нагреть этот проводник в течение  $T$  секунд на  $A$  градусов. Такую же работу (нагревание этого провода в течение  $T$  секунд на  $A$  градусов) может произвести и некоторый постоянный ток, некоторой вполне определенной силы при некотором вполне определенном напряжении. Математически можно доказать, что сила этого постоянного тока, как говорят, «эквивалентного» (равносильного) току переменному, будет составлять 0,707 амплитудного значения синусоидального переменного тока и напряжение этого переменного тока также

будет составлять 0,707 амплитудного значения напряжения синусоидального переменного тока. Математически  $E = 0,707 E_m$  или

$$E = E_m / 1,41 = E_m / \sqrt{2}$$

$$I = 0,707 I_m \text{ или}$$

$$I = I_m / 1,41 = I_m / \sqrt{2}$$

В данном случае эти величины  $E$  и  $I$  и будут называться **эффективными** или **действующими** величинами переменного тока и напряжения. Следовательно, эффективные значения переменного тока и напряжения можно определить как переменный ток и напряжение, равноценное по своему действию постоянному току и напряжению. На рис. 1 эффективное значение показано сплошной горизонтальной линией.

$\sqrt{2} = 1,41 = I_m / I$  называется коэффициентом амплитуды.

Кроме того, при расчетах приходится встречаться еще с термином «среднее значение» («среднее арифметическое») тока или напряжения. «Среднее значение» меньше «эффективного» и для синусоида

Отношение  $I_{эф}/I_{ср}$  или  $E_{эф}/E_{ср}$  называется **формфактором**. Формфактор при синусоидальном токе равен 1,11. Другими словами, эффективное значение синусоидального переменного тока в 1,11 раз больше среднего значения.

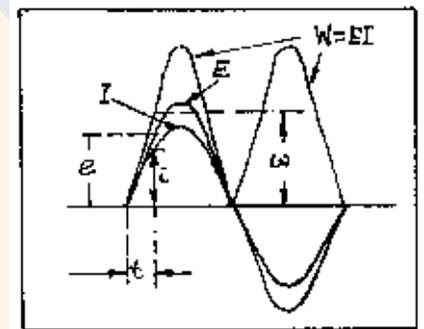


Рис. 2

Среднее значение тока (или напряжения) важно знать при пульсирующем (выпрямленном, но не сглаженном) токе. Для обычного переменного тока среднее значение равно нулю, так как ток все время меняет свое направление. Тепловые измерительные приборы показывают эффективное значение.

Электромагнитный измерительный прибор, включенный в цепь пульсирующего тока, показывает обычно «среднее» значение. Конденсатор пробивается амплитудой напряжения.

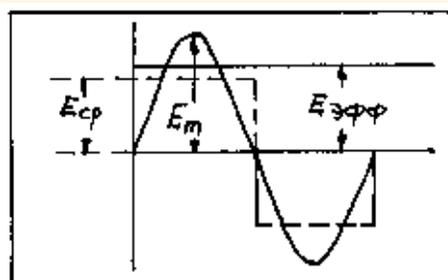


Рис. 1

МОДЕРНИЗАЦИЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ «ПРИБОЙ 50 УМ-204»

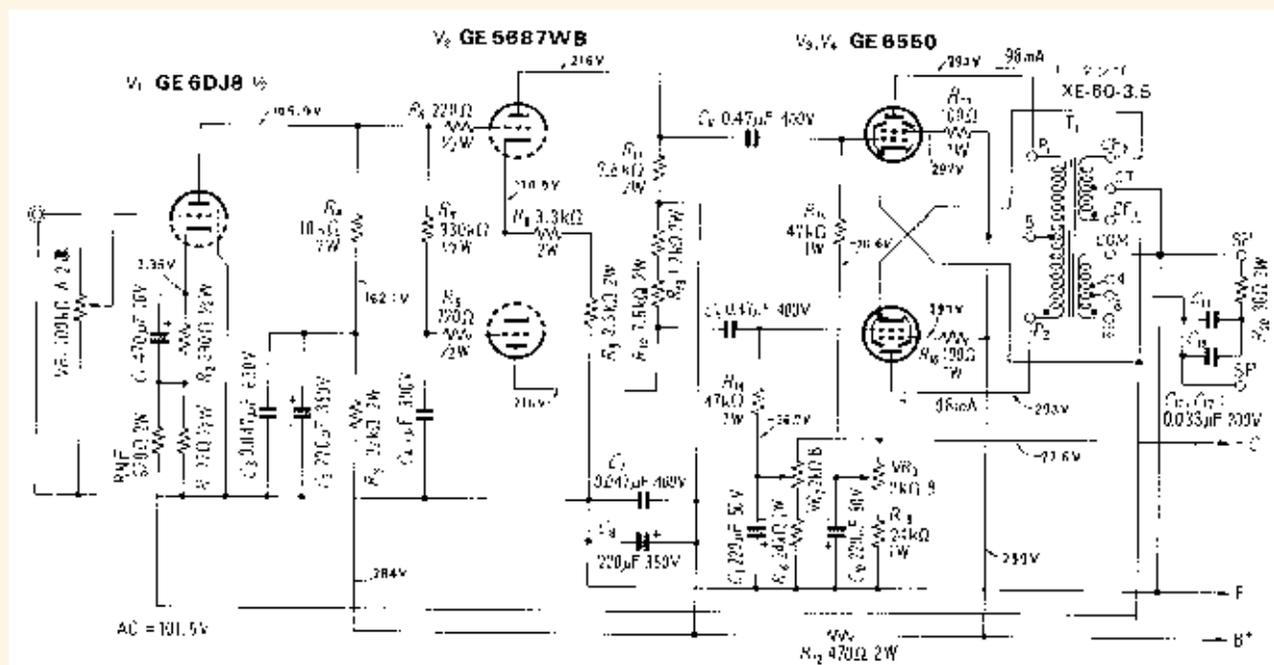
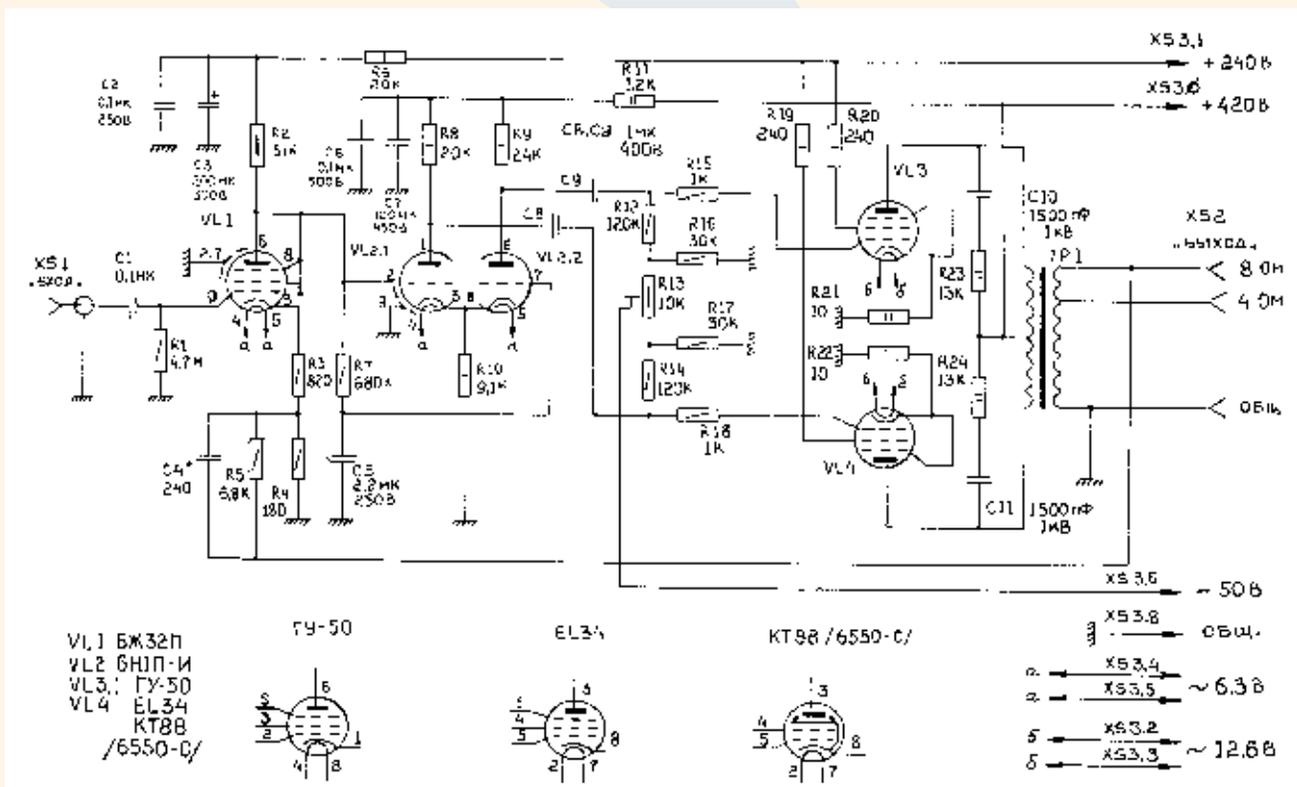


СХЕМА УСИЛИТЕЛЯ НА 650 2x30 w # MJ STEREO TECHNICS NID. 1988



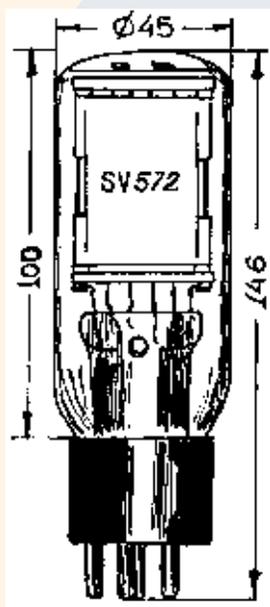
# LIFE IN VACUUM

SV572  
SV6550  
6C5C  
6C3П/6C4П



## МОЩНЫЙ ПРЯМОНАКАЛЬНЫЙ ТРИОД 572

По сумме всех признаков его следует считать новой лампой. Хотя, у него довольно много сходства с 211-м (WE) и 845-м (RSA) триодами по электродной системе, а цоколь подобен классическому четырехштырьковому а la' 300В и 2А3 (211-й и 845-й триоды также имеют 4 штыря-ножки, но панелька имеет название Jumbo, из-за больших размеров). Однако, не вздумайте устанавливать 572 взамен 300В! Накал 572-й требует 3,6-4,2А/6,3 В, то есть суммарная мощность на подогрев нити равна примерно 25 Ваттам. Нить накала имеет среднюю точку,



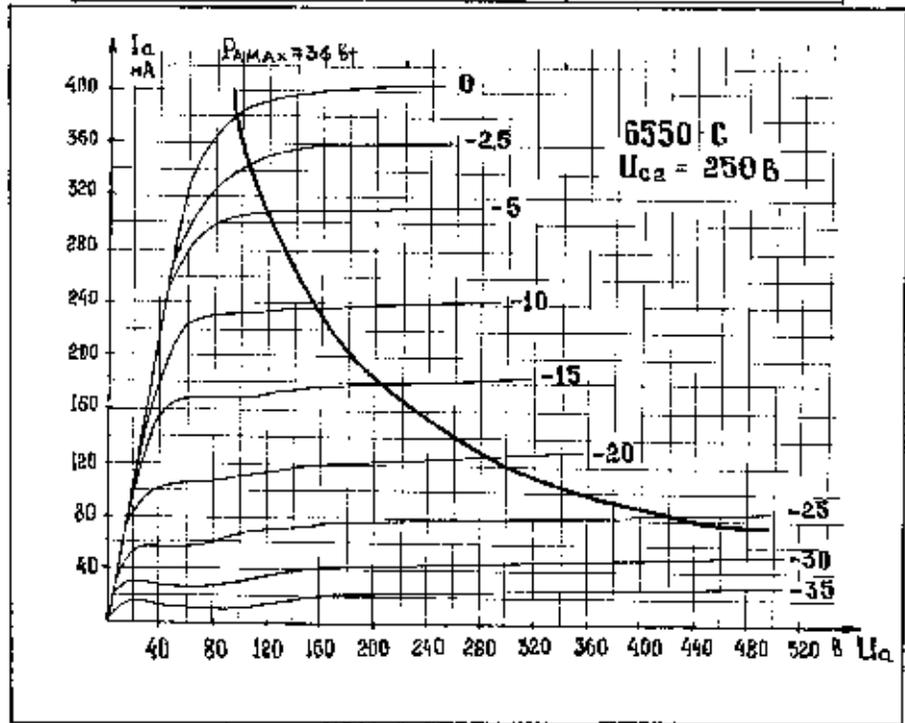
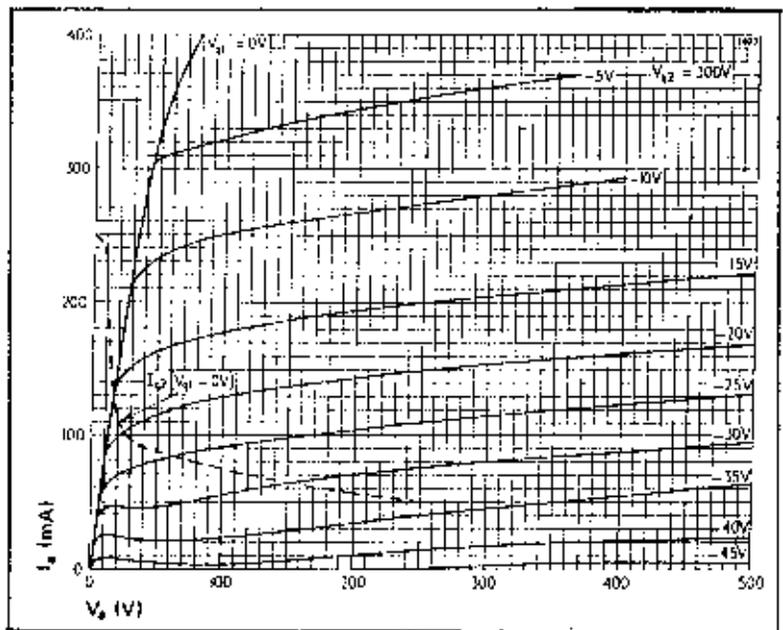
так что отпадает необходимость питать постоянным напряжением с таким большим током потребления. Это оправдано тем, что ее анод способен рассеять 160 Вт! В спектре ИК излучения материала анода (он из особой проводящей спеченной керамики) стекло баллона имеет максимальную термпрозрачность, что позволило сделать лампу очень мощной. Это в самом деле триод нового поколения. Нить накала традиционна для 20-х и начала 30-х. из тирированного вольфрама. В сравнении с оксидированным 300В, он имеет несколько меньшую эмиссию и при этом немалые преимущества с точки зрения звучания: более стабильная эмиссия и пониженное значение фликер-шума. Отчего-то производители усилителей и любители в частности, пренебрегают качественным рассмотрением материалов катода, чаще всего рассчитывая на счастливый случай найти волшебное сочетание ламп. Но то, что выходная лампа должна быть прямонакальной, уже стало «символом веры» в хорошее звучание. Прямой накал прямому накалу рознь! Неумение разобраться в этом и есть трагическая российская ортодоксальность.

Издана целая линейка 572-х: -3, -10, -30, -160. Это индексы, указывающие на усилительные способности лампы –  $\mu$ . Начиная с  $\mu=10$ , лампа резко «уходит вправо», оправдывая свое модуляторное

предназначение. С  $\mu=30$  еще можно работать, но чтобы выжать сколь-нибудь значительную мощность ( $>10$  Вт), придется работать с сеточными токами. Для этого нужен либо мощный драйвер, либо межкаскадный согласующий трансформатор. Если кто-то посчитает, что я сошел с ума, говоря о возможности появления Ic в работе звукового усилителя, так знайте, что я абсолютно здоров, у меня даже справка на этот счет припасена. Обожаемый большинством «Ongaku» работает с сеточными токами 211-го триода, а Guru японского однокатного движения Nobu Shishido к середине 80-х имел патент на применение HT – Interstage Inverting Transformer, инвертирующего межкаскадного трансформатора, призванного работать с током сетки выходной лампы.

По нашему разумению, 572-й триод может оказаться реальным премником славы легендарной «трехсотки» и по цене и, в конечном счете, по качеству. Хотя вопросы любви и не любви -индивидуальное дело каждого. На Рис. приведены характеристики SV572-3, а в таблице необходимые основные параметры. На баллоне стоит знак, похожий на Sovtransavto, так вот это Svetlana Electrone Devices. Лампа выпускается в России. За информацией обращаться: Spb (812) 553-27-23 Fax (812) 327-86-59. (Не забудьте спросить про панельку).

# ВЫХОДНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕТРОД 6V6550C



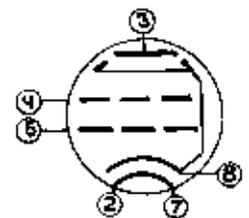
Вряд ли мы сильно ошибемся, заявив, что 6550 был впервые выпущен в 1954 г. фирмой Tung-Sol. А вот кто вышел раньше – британский

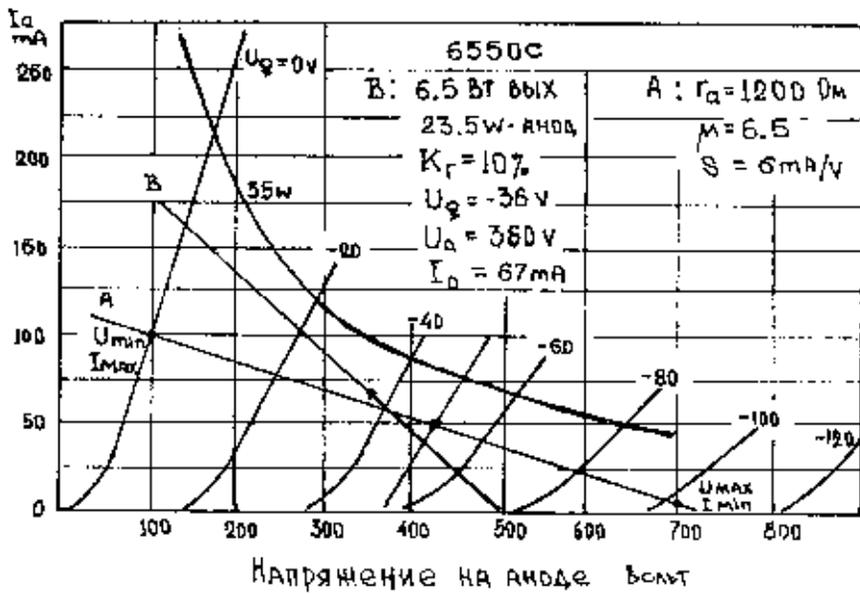
KT88(GE) или 6550, это вопрос для историков звуко-техники.

Параметры их идентичны, Различие только в форме баллонов и эле-

ментах закрепления электродной системы. Сетки оригинальных ламп были позолочены для улучшения теплоотдачи и снижения вторичной

6550C -лучевой тетрод (МАХ.ЗНАЧЕНИЯ)											
$U_f$ V	$I_f$ A	$U_a$ V	$U_{g2}$ V	$I_{ком}$ mA	$I_a$ mA	$I_{g2}$ mA	$P_a$ Вт	$P_{g2}$ Вт	$S$ mA/V	$C_{2-0}$ PF	$U_{g1}$ -V
6.3	1.6	600	400	175	160	18	35	6	9.5	1.1	300





эмиссии. Обязательное условие для любых 6550-х – металлический пояс на цоколе, так как тепло, приводимое от накала к цоколю, весьма ощутимо. По внешнему виду китайские KT88 почти неотличимы от британских M-OV. Обе они имеют сужение баллона вверху и у цоколя, но диаметр M-OV равен 53 мм, а у китайских – 52 мм.

Наша «светлановская» имеет цилиндрический баллон, похожий по размерам на старшего брата от Tung-Sol. Поверхность стекла выше всяких похвал – ровная, без ряби и пузырьков. Распорные пружины, удерживающие электродную систему (Э.С.) внутри баллона, установлены только сверху. Конструкторы определенно поработали над жесткостью всей Э.С.: когда стучишь пальцем по баллону у самого уха, то отзвук механических резонансов более короткий, чем у первых 6550А и В, выпущенных «Светланой» со знаком «Sovtek». Как следует из рекламного заявления, у лампы увеличена эмиссия и позолоченные сетки.

Если поставить рядом 6L6 (6ПЗС), 5881/6L6WGC (6ПЗС-Е) и 6550, станет очевидно, что каждая следующая представляет собой «раздутую» версию предыдущей, соответственно и больше мощность, рассеивав-

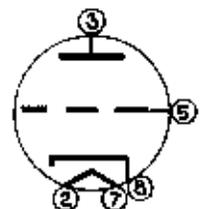
мая анодом. Мы, без риска сжечь лампу, заставили ее рассеять на аноде до 36 Вт. Первые 6L6 были нормированы на 20 Вт (мощность, невиданная для 36-го года!). На рисунках приведены анодные характеристики лампы, на Рис. 3 – триодное включение, сетка 2 соединена с анодом. Для сравнения приводим характеристику оригинальной KT88 Gold Lion фирмы M-OV (отметьте, что более высокие значения анодного тока KT88 обязаны большему напряжению на экранной сетке, 300 V против 250 V в нашем случае). Технические данные сведены в таблицу. Из известных фирм производителей, применяющих 6550 в своих усилителях: Audio Research, Conrad Johnson, Copland, Jadis, Lumley. В журнале вы найдете схему модифицированного «Прибоя», также имеющего на выходе 6550. За информацией обращаться:

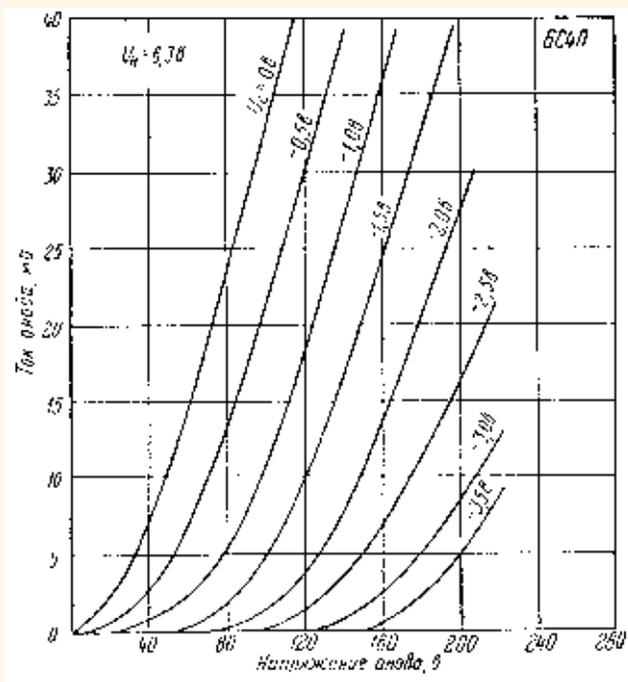
Spb (812)-553-27-23;

Fax: (812)-327-86-59.

Это пожилая лампа. В конце 30-х Sylvania предложила новый размер напряжения накала – 6,3 В и лампа вышла одной из первых в этот ряд. Фирма из Кентукки – KEN-RAD, вместе с очень редкой у нас – Cunningham, тоже производила 6С5 (первоначальное название, данное американцами), но уже после второй мировой войны. Вначале, из необходимости экранировать, лампу одевали в металл и она не отличалась от многих в «металлической серии». Когда же перешли на стеклянный баллон (начало 50-х), то лампа приобрела характерный вид, делающей ее похожей на современные сигнальные пентоды с наружным двойным (!) экраном. Что под ним? Правильный монотриод с косвенным накалом. То есть, конечно, не безупречно правильный, когда накал, сетка и анод являются концентрическими окружностями, но термин «equi-potential» (введен WE в 1929 году) реализован процентов на 80: сетка имеет форму эллипса, катод с анодом круглые. Также, как все приличные лампы, триод 6С5 имеет среднее усиление,  $\mu=20$ , а это означает, что анодные характеристики его имеют глубокий раскрыт при работе с отрицательными смещениями на сетке, вплоть до -24 В. Как правило, такие лампы очень линейны. Привлекательность лампы состоит в том, что благодаря низкому  $R_i$  (8 – 10 кОм), специальному легированию сетки, аноду, навитому, как сетка, лампа практически не шумит. Жесткое экранирование делает

6С5С-триод типвое включение					
U $_a$ V	U $_q$ V	$\mu$	S mA/V	R $_i$ Ом	I $_a$ mA
250	-8	20	2.0	10000	8.0





## 6СЗП/6С4П

Если говорить о звуковом применении этих ламп, то следует сразу отметить – они стоят очень даже особняком от всяких там 6Н8С, 6Н9С, 6Н2П, 12АХ7 и прочих... Лампы эти высокочастотные. Причем 6СЗП рассчитана на работу с заземленным катодом и у нее выводов от катода целых четыре на цоколе. А 6С4П – в схемах с заземленной (общей) сеткой, также имеющей четыре вывода. Для ВЧ использования это принципиально, когда нужно «дотянуться» монтажным проводом или выводом впрочем для ламп с высокой по минимально короткому пути. И поэтому емкости сса- сс' сак у них разные. Но параметры и характери-

стики у обоих триодов абсолютно одинаковы, т.е. по конструкции – это лампы-близнецы. На Западе очень уважают, например, 6GK5 (семиштырьковая, применяемая Conrad Johnson), 5842/417А и 3А167М/СV5112\* – высокочастотные монотриоды, с усилением порядка 43 и убийственной крутизной – 24 мА/В. Наши имеют  $\mu = 50$  и  $S = 20$ .

Производство таких ламп более напоминает ювелирное искусство, чем утилитарное выделывание радиоэлементов. Сетка не навивается на траверзы, а имеет вид рамки, на которую привариваются волоски не толще 0,05 мм с шагом 0,1-0,15, что, впрочем, для ламп с высокой крутизной и усилением одновременно, является обычной практикой.

ее пригодной для использования в первых каскадах, а способность отдавать 5-10 тА тока в нагрузку – в драйвере. Недаром в старых телевизорах она работает усилителем высокой частоты и гетеродином, а в киноустановках она стояла в начале усилительного тракта, сразу после фотоумножителя с пентодом. Анодные характеристики подобны 6С2С, кто не поленился, пусть попробует сравнить звучание обеих ламп. Неискоренимый «недостаток» лампы – всего один триод в баллоне, но как известно, что не в кайф одному, другому просто на руку. Триод не дефицитен, его просто забыли...

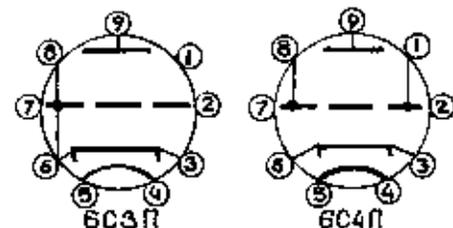
За информацией: Spb (812) 156-71-64 Анатолий.

Кроме главного недостатка – один триод в одном «флаконе», лампа требует особого внимания по следующим параметрам: а) сетка начинает «есть» ток при смещении сетки около -1,1 В; б) слабый микрофонный эффект, если молотить по лампе камнем. Однако, оба недостатка легко нейтрализуются при грамотной конструкции и верном расчете. Зато вещь немаловажная для звука – полная реализация принципа «equipotential». С обеих сторон катода установлены рамочные сетки, по ширине чуть больше плоского катода, далее, с той же шириной, пластины анода. Абсолютная параллельность временно, является обычной гарантирована двойными слюдяными держателями сверху и

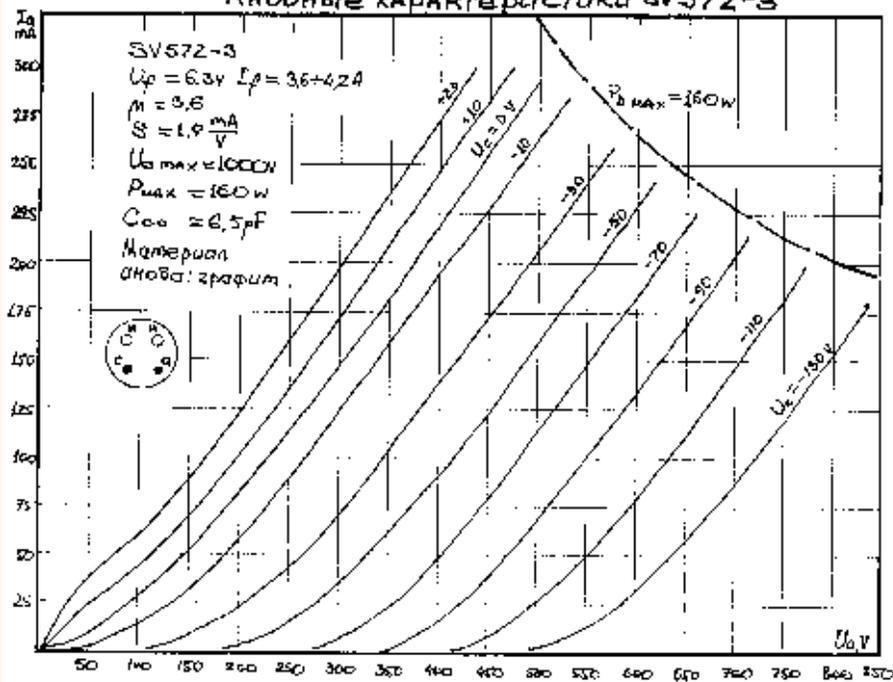
\* Лампой, конкурентной с 5842 и CV5112 во всех отношениях, является наша 6С15П-Е, 6С45П-Е. Российская лампа обладает еще более невероятными параметрами –  $\mu = 55$ ,  $S = 45$  мА/В.

### 6СЗП/6С4П триоды

Результат испыт.					Макс. значения			
$U_a$	$R_k$	$I_a$	$S$	$\mu$	$U_a$	$U_a$	$I_k$	$P_a$
V	$\Omega$	mA	mA/V		V	V	mA	Вт
150	100	16	19,5	50	160	330	20	3
					ЕВ	ДР		



## Анодные характеристики SV572-3



снизу. Чтобы возможность нарушения параллельности при сборке свести к минимуму, активная высота анода равна 5 мм. (Чем длиннее конструкция анода, тем сильнее проступят погрешности сборки, особенно при больших  $\mu$ ). Пусть после этого «сказочники» про большие аноды безглаголиво поджимают губы. В заключение скажем, что лампа прекрасно «женится» с 300В в двухкаскадном усилителе Giro Marzio и Cristiano Jelasi (см. в этом номере).

Лампы выпускаются с дополнительным обозначением ЕВ и ДР – повышенной надежности и долговечности.

Со всеми вопросами:  
 (812) 156-71-64 Анатолий  
 Tel: (812) 553-27-23;  
 Fax: (812) 327-86-59

## НАБЛЮДЕНИЯ

«Народная мудрость достойна быть откованной из чистой стали» – из собственных наблюдений

А. Белканов

В Stereophile за декабрь 1996 г. Боб Харли помещает афоризмы и просто остроумные выражения, которые есть суть народной оудиомудрости. К его труду я счел возможным добавить и свои наблюдения. Лестно, знаете ли, примазаться к чужой славе. Начнем с Харли.

– Если середина звучит плохо, все остальное не имеет значения.

– Всеякие улучшающие примочки имеют смысл лишь тогда, когда улучшается музыкальность воспроизведения.

– Мягкость, теплота и завалы частотного диапазона по краям менее ощутимы, чем острота, жесткость и яркость.

– Всегда больше радости добиться приличного звука от системы, доступной по деньгам, чем услышать хороший звук от дорогостоящей.

– Отсутствие деталей в звучании – еще не признак музыкальности.

– Наименее доверительная техническая характеристика – выходная мощность одиотоктных усилителей.

– За ней стоит чувствительность громкоговорителя.

– Если звучание усилителя на первом ватте мощности никуда не годится, зачем вам остальные 199?

– Самое мощное средство повлиять на качество – расположение акустики – ничего не стоит по деньгам.

– Самое простое действие в подлунном мире – неправильно воспроизвести виниловую пластинку.

– Чем меньше вы думаете о качестве звука, тем больше удовольствия испытываете от музыки.

– При выключенном свете система звучит лучше.

– Если аппарат звучит лучше, чем остальные, следует признать его лучшим.

– В большинстве случаев ваша система начинает бо-рах лить и звучать плохо, как раз перед приходом друзей.

– Слушание и опыт согласования компонентов значат больше в достижении хорошего звука, чем огромный счет в банке.

– Тщательно подобранная и верно установленная системе средней стоимости, как правило, звучит лучше более дорогой, но бездарно подобранной и неправильно установленной Справедливо и обратное утверждение.

– Никогда не завышайте оценки звучания системы, если она звучит плохо, так и скажите. (К производителям и продавцам это не относится).

– Приобретите лампы для замены раньше, чем «выгорят» родные.

– Если сигнал плох в начале тракта, ничто в этом тракте не сделает его лучше.

– Маленькие колонки скорее всего звучат лучше, чем большие за ту же цену.

– Если вы ощущаете вибрации ящика громкоговорителя, то он окрашивает звук.

– Измерения не способны предсказать качество звучания, но они являются индикатором того, насколько серьезно разработчики подошли к проблемам.

– Аудиофильство не должно стоять преградой в деле получения кайфа от музыки в любом месте и в любое время, хоть от абонентской радиоточки.

(продолжение на стр. 72.)

# ОПЫТЫ И МЕТАМОРФОЗЫ АУДИОДИЗАЙНА (ОПУС №...)



## 1. Об авторе и его задаче

Поскольку автор весьма широко известен в узких кругах, то в дополнительном представлении для них нет смысла. Широкие же круги, которым автор нов, могут сузиться, познакомившись с моими заметками и, может быть, послушав «голоса» моих реализованных разработок.

Заранее предупреждаю искушенного читателя, что автор ангажирован самим собою, а не «группой товарищей».

Моя сверхзадача – показать, что системы Hi end имеют разные ранги: высший же ранг может состоять исключительно из компонентов ручной работы и единичного исполнения. Здесь очень к месту вспомнить всем хорошо известного Горация, вопросившего: «К чему нам в быстротечной жизни дерзко домогаться столь много?». Те, кому это очевидно, могут не тратить часть быстротечной жизни на дальнейшее чтение моих заметок. Для остальных же уточню цель, метод, средства и форму, коими я пытаюсь «сузить широкие круги» до понимания (значит, прощения?) моей точки зрения, которая в этом случае легко впишется в любой «круг», сколь узок бы он ни был. Итак, начнём.

Цель – найти рациональный путь формирования наиболее точно передающей музыку аудио-системы, сэкономив много денег.

Метод – логическим анализом отделить Hi-Fi от Hi Enda: выделить различные ранги (уровни) систем Hi End.

Средства – виртуальное (кажущееся, представляемое) прочтение известного отрывка из стихотворения очень известного поэта в исполнении великого актера при активном участии фантазии читателей и их аудиосистем.

Форма – очень полемические заметки, иногда диалоги, без наукообразия с максимальной визуализацией звуковых и вкусовых образов в глазах, ушах и носах читателей. Приятных вам миражей!

## 2. Об аудиосистемах и их различиях

«Не будьте более мудрым, чем следует, но будьте мудрым в меру». Мне кажется, что полезно для римлян, то впрок и россиянам. Ведь никто не оспорит, надеюсь, апофтегму Апостола Павла из «Послания к римлянам».

Начнем наше прослушивание. Каким методом? Конечно, лучшим в мире, самым контрастным! (Подробнее смотрите в журнале для звуколюбов – «Звукошоп» №3, 1996.).

Какая система будет лучше? Та, где больше различий в звучании.

Метод изобрёл мистер Коготрут, крупный софист современности. Берется много незнакомых по содержанию дисков. Главное – это, чтобы костюмчик сидел, пардон, чтобы эта незнакомая музыка нам нравилась. Чувствуете дыхание веков из школы Протагора?

Возьмём, как рекомендует метод, совершенно незнакомый нам по содержанию, но очень нравящийся нам по музыке диск великолепной фирмы «Доунт Ноу Хау Рекорде» 1998 г. выпуска. В аннотации к диску сообщается, что известный актёр читает стихи поэта мирового масштаба. Аккомпанируют искусные мастера на струнных инструментах работы гениальных итальянцев. Слушаем систему №1.

Читает действительно хороший актёр, но маленький. Наверное, лилипут. И сопровождение музыкальное. Видимо, не лучшая, но хорошая система. Все маленькие звуковые события слиты воедино, без швов. Да, вот, послушайте сами: «небо голубое, солнце светит, снег лежит, ковровый блеск, лес чёрный и прозрачный, ели видны, зелень ели, блеск подо льдом река».

Слушаем систему №2. «Небо голубое. Солнце светит. Снег лежит ковром и блестит. Лес чёрный и прозрачный. Сквозь иней видна зелень ели. Блестит подо льдом река.» И актёр не маленький, а большой. Правда, инструменты эти струнные, похоже, гнусаво записаны. Недорабатывает ещё эта «Доунт Ноу Хау Рекорде». Зато какая раздельность и ясность текста, словно видишь перед собой звуковую декорацию. Ах, да, это плохо! Если различимых звуковых событий много, то это от плохого разрешения системы, а также потому, что система их сама «доигрывает», «доозвучивает».

Пожалуй, между двумя системами следует выбрать № 1. Только близко подходить не нужно, тогда увидите бульвар Капуцинов, или ещё что Вам привидится – пардон, прислышится из воедино слитого разрешения. Заинтересовал меня этот импрессионистский диск. Дай-ка, думаю, дома послушаю. А «сомнение поставляет мне не меньшее наслаждение, чем знание». Ведь Данте так писал, правда, перед лицом самого обыкновенного, а не Аудиоада.

Что же, в Ад, так уж в Аудиоад! Оставим всякую надежду тем, кто ещё не пустился в путь. Слушаем систему № 3.

«Под голубыми небесами  
Великолепными коврами  
Блестя на солнце, снег лежит,  
Прозрачный лес один чернеет;  
И ель сквозь иней зеленеет,  
И речка подо льдом блестит».

Читал великий Смоктуновский. Пахло снегом. И я услышал дыхание студии, и трепет микрофона при невидимом, но осязаемом, только его рукам свойственном движении. И я видел искристый снег, даже блёстки солнца в его кристаллах (ах, пардон, эти ненужные детали внесла несовершенная система № 3). А где же струнные? Их нет! О, я несчастный! (рву на голове волосы и посыпаю пеплом), Читаю ещё раз аннотацию, но внимательнее: « Вы как бы слышите аккомпанимент струнных... в богатейших оттенках интонаций его незабвенного голоса ...»

Ах, как б ...! Тогда волосы на место, пепел – вон. Погодите! А что же «скрипело» в системе №1 и № 2 ???

### 3. О компонентах аудиосистем

Давайте забудем, что «скрипело». Изучим, лучше на чем «скрипело», как рекомендуют популярные издания «лейбл-любов» – «Звуко-шоп» и «Стереолоб».

Итак, система №1 построена из компонентов лучшего в мире качества известной фирмы «Адю Ноты» При разработке аппаратуры использовались знания в области политологии, внешней экономики, а также философии. Знания по электронике не применялись, т.к. разработчик её не изучал. Именно благодаря такому особому менталитету мистер Когругт создал множество аудиораиских компонентов, параметры которых в земных условиях измерять следует полиграфом и философометром. Эксперты же должны пройти школу внешней экономики, а их уши должны быть достаточно большими и натренированными для подачи на них любимого итальянского утончённого, длинного, маслянистого, э... звукового блюда, которое бы нравилось, но было бы совершенно незнакомо.

Конечно система №2, сплошь состоящая из компонентов тоже лучшего в мире качества, но плодовой фирмы «А.УДИВЛЕСОЧке», уступает системе №1, поскольку разработчики из фирмы «А.УДИВЛЕСОЧке» изучали только электронику.

Что уж там говорить о системе №3, где всё ясно и понятно. Негде и фантазиям развернуться. Сплошная эклектика – что ни блок, то разные фирмы: «Мрак,Лев&Сон», «СуперменЛи», «Тиражи». И вообще «самопалы» – «Неофит», «Фанатик», «Медиум», «Maestro Grosso».

Дискомфорт для «лейбл-любов». И для читателей, если среди них тоже есть вялотекущие «лейбл-любы». Особо тяжёлая форма – это, конечно, «Лбом-о-Лейбл-Бамцы» (ЛЛБ). Для адаптации таких несчастных в общество квазинормальных звуколюбов придумано лекарство. Формула для лечения записывается в виде алгоритма:

цф 1 – читаем — ой — покупаем — хм? — продаём (теряем) — читаем — ах! — покупаем — ух! — продаём (теряем) — (см. начало с цф. 1)

Для получения лечебного эффекта в этот алгоритм сле-

дует вставить в нужном месте всего два слова: думаем, учимся. Это также просто, как играть на флейте, помните? «Перебирайте отверстия пальцами, вдуйте ртом воздух, и из неё польётся выразительнейшая музыка. Видите, вот клапаны». Как Вы, конечно, знаете, процесс обучения у Гамлета не получился. Неуч Гильденстерн завопил: «Но я не знаю, как ими пользоваться. У меня ничего не выйдет. Я не учился».

За полсотни лет до Шекспира неплохо сказал в стихах Ла Бозесси, приятель Монтеня:»... не всем таланты все дарованы бывают».

Однако, часто гильденстерны мнят себя *maestro grosso*, когда собирают свою аудиосистему из самых-самых звёздных рекомендуемых компонентов с бюджетным уклоном. Как просто перебирать пальцами клапаны, пардон, представлять ящики, а музыка всё не льётся, а просачивается...

### 4. Что есть Hi-Fi ?

– Divide et impera! (Разделяй и властвуй), – сказала с правильными ударениями и прононсом моя хайэндная кошка Мара, видя затруднения в решении мною проблемы – можно ли погладить собаку (Мушечку, например) и её хозяина против шерсти и не быть укушенным?

– Против шерсти можно хозяина., а собаку – только вдоль, – пояснила Мара смысл латыни, свернувшись неподалёку от меня, чтобы я чувствовал её готовность придти мне на помощь.

Когда, впервые открыв «Звукошоп» и увидев таблицы из букв и цифр, я подумал, что это криптограмма в неведомый всем центр, моя киса Мара, лениво потягиваясь, муркнула, что это всего лишь перечень компакт-дисков для солидности и научности.

Ну, думаю, если ты такая умная, то может скажешь кого переводит: «Стереолоб» «Звукошоп» или же «Звукошоп» «Стереолоба»? Киса посмотрела на меня так, будто я съел её любимую пикшу, и прошипела: «они -перипатетики...» Ох уж, эта её увлечённость античностью!

– Почему же «прогуливающиеся», Мара? – спросил я, быстренько заглянув в словарь инослов, стряхнув с него кошку. Она обиделась на такое небрежение к её гибкому телу и сакраментально продекламировала (я даю, конечно, в переводе): «и если можно быть учёным чужой учёностью, то мудрыми мы можем стать лишь собственной мудростью».

– Мара, я тебе свежей пикши сварю! – взмолился я.

– Ну, «прогуливается» «Звукошоп» от «Тайной галереи» мимо «Розового Центурия» вдоль «Красной устрицы» к «Отгадке» и обратно, -милостиво объяснила киса.

Помогла, называется. Опять на «Опытах» Монтеня лежала! Как на какой книге или журнале полежит, так и шпарит потом оттуда цитатами. Недавно на «Стереолобе» лежала, так пришлось компьютерного переводчика покупать. Не кошка, а разорение. Пикшу ест по 2\$ за кило.

– Не быть жадным – уже есть богатство, не быть расточительным – доход, – съязвила Мара, прочитав мои мысли, а потом безапелляционно добавила – Дай пикши!

– Щассс! Сначала скажи, на чём лежала в последний раз? – вознегодовал я, подавленный кошкиной премудростью.

– Чего проще. Парадоксы, Марк Туллий Цицерон, – мелодично промурлыкала Мара, нагло облизываясь в предвкушении обеда, и добавила:

– Когда я лежала на «Звукошопе», тебе не приходилось покупать переводчика. Это была чистая правда, тогда я обошёлся «берушами», что значительно дешевле. Правда и то, что Мара была бита веником, когда моё терпение истякло после её этакого вокзального объявления:

«Звучание не восхищает и не удручает... Усилитель не балует глубиной, ни разнообразием красок... Нижний регистр слегка придавлен... щипковым не хватает звонкости... Его могут предпочесть профессиональные музыканты...».

– Прежде, чем веником бить, надо бы цену знать, – топорща шерсть от неприятных воспоминаний, сказала Мара с укоризной.

– В обмен на этот усилитель можно 350 кг пикши купить, – подсчитал я, – года на три тебе хватит.

– А где такой обменный пункт? – как бы незаинтересовано спросила Мара.

– Тебе, киса, слава Богу, этого не нужно. А вот тем, кто уже этот усилитель купил....

– А можно я тебя тоже спрошу? Ты за это мою пикшу не съешь? – киса ласково потёрлась о мою руку щекой.

– Спрашивай, не съем, – добродушно погладил я умную голову кошки.

– А зачем этих «Звукошопов» так много? Вот лежу я на одном, на другом, на третьем, а разницы не унюхала! Ну, как ты мне пикшу варишь – то потолще, то потоньше. А всё равно – пикша.

– Ишь, какая прозорливая! Ты вчера пикшу ела? Да! А позавчера? Китикет! А если я буду тебе давать пикшу только, то ты про её великолепный (по сравнению с севрюгой) вкус будешь рассказывать в «Стереолоубе» или «Звукошопе»?...

Мара не дала мне договорить, встала на мои колени, положив передние лапы мне на плечи, нос к носу и стала быстро – быстро лопотать:

– Пикша изменит мир к лучшему! Пикша сделана с умом! Пикша – лучший друг кошек!

– Хватит, хватит! Я не сомневался, «то ты не глупее «стереолоубцев».

– А читатели?! – язвительно мякнула. Мара.

– Им же про большую пикшу рассказывают, разрезанную на части: пасть, например, – это транспорт, голова – это ДАС, тело – это усилитель, хвост – акустика. Понятно? – со знанием дела объяснил я.

– Ясно, но я хвост больше люблю и чтоб он был бо-ольшой. – облизнулась Мара, добавив: -Но, ведь большая пикша никогда не станет даже маленькой севрюгой!

– Т-с-с! Никому не говори, а то хвост оторвут!

– А знаешь, я ещё заметила, что часто обсуждают вроде бы большую пикшу, но куски в ней от разных пикш – и от маленьких тоже. И даже от других разных рыб. А потом эти

куски в иных сочетаниях обсуждают. И говорят, что каждый из вариантов хороший, а я носом чую, что некоторые уже с душком – простодушно сказала Мара.

– Нужно нюхать правильные куски. Ты что, не знаешь, что рыба должна быть только первой свежести, – менторски заметил я.

– Так и говорю, что с душком... – снова было засуетилась кошка.

– Не все читатели кошки, и не все кошки – читатели! Ясно тебе? – спросил я, туго накрутив хвост Мары на палец. Громко и с обидой мякнув, она устремилась на кухню, откуда пахло вареной пикшей последней свежести. Я пошёл следом за Марой, желая покормить изголодавшегося зверя. Вдруг из-за холодильника появилась хитрая морда и спросила:

– А почему нигде не пишут, что пикша – это не Hi End?

– А потому, что нигде не разделяют и севрюгу с осетром, белорыбницей, стерлядью, так что Hi End Hi Endy тоже рознь, – парировал я.

– А я слышала, что Hi End может быть дешёвым. – съехидничала кошка, – а севрюга дорогая.

– Уж не собачка, ли Мушечка тебе это подсказала? Давись своей пикшей. Я не мешаю тебе представлять её осетром. Будут деньги – куплю тебе севрюгу. Когда съешь севрюжатины, тогда и про Hi End рассуждать будешь.

Мара восторженно прыгнула на холодильник, и спросила, держа паузы:

– Разрежем бо-ольшую севрюгу на части! Одну из частей заменим на похожую часть, но от пикши. Что будет в целом? Hi-Fi или Hi End?

– Будет Hi-Fi с душком Hi Enda, – поразмыслив ответил я.

– А если кусок севрюги добавить в разрезанную пикшу? Что будет?

– Будет Hi-Fi без душка, – твёрдо ответил я. Тут киса задумалась, положив голову на лапы, и сказала:

– Так, значит, чем меньше кусок пикши мы добавляем в разрезанную севрюгу, тем больше душка от Hi Enda?

– Молодец, киса! Дух Hi Enda тем сильнее, чем от лучшей рыбы добавляется кусок, – сказал я, раскладывая для кисы пикшу на блюде, – но добавляется обязательно к севрюге!

– Тогда чего же в «Звукошопе» раскладывают: кусок минтая, кусок кильки, кусок мойвы, а пахнет, говорят, Hi EndoM, правда, дешёвым? Ведь если каждый из этих кусков порознь положить среди севрюги, то по величине запаха Hi Enda можно судить, какая рыба лучше! Так ведь понятнее всем.

– Ты честно заработала свою пикшу! Не говори только Мушечке, а то она перестанет есть рыбные салаты а ля Hi End и захочет лопать только севрюгу! – прошептал я мудрой кошке. Но прыткая киса решила оставить последнее слово за собой:

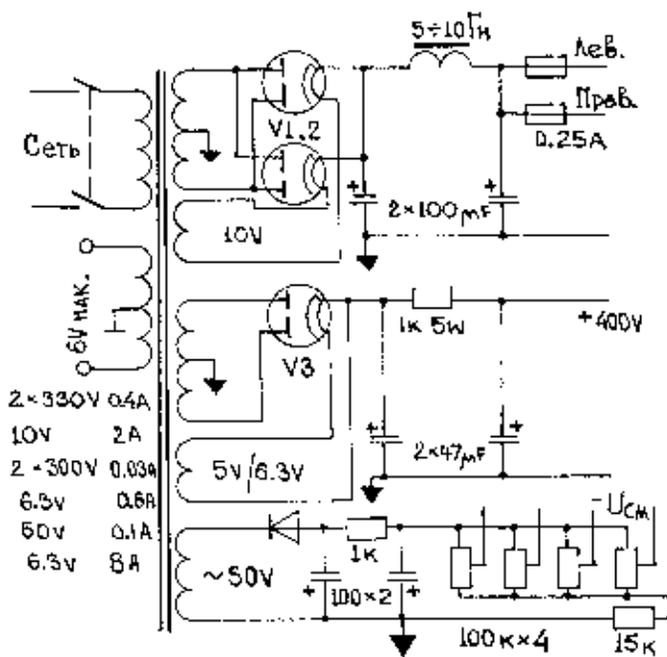
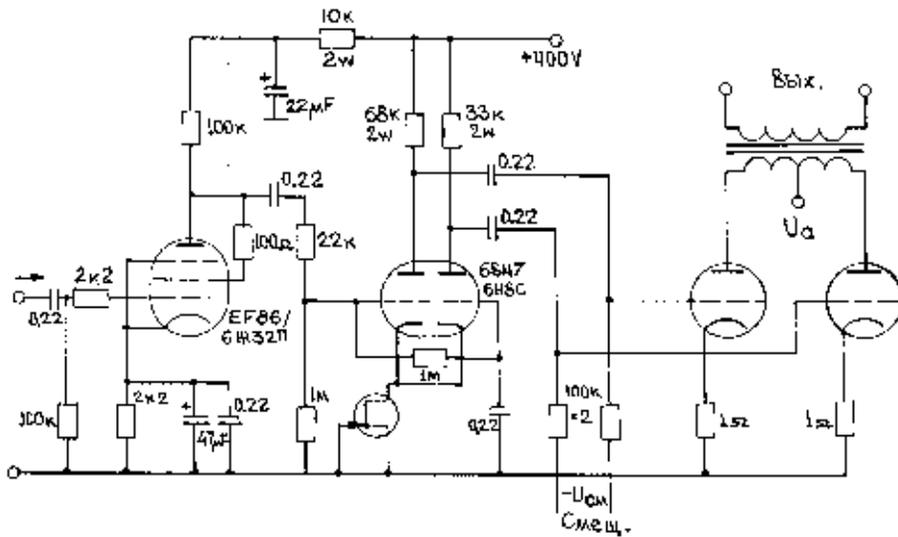
– Съест-то, она съест....

(продолжение следует)

Alter Ego

# THE ULTIMATE

Rickard Berglund. Sweden SP Winter 95 Наконец-то одержана победа в битве между PP и SE!



Тип	Вт	R <sub>г</sub>	РВК/Вт	U <sub>г</sub> /А	U <sub>с-В</sub>
2А3	250	6600	7	60	-45
300В	350	7600	14	80	-72
6С19П	250	13000	6	40	-100
6С33С	250	2800	18	150	-100
6336	250	3500	15	110	-120
6080	180	5200	7	70	-75
6L6*	400	13000	9	50	-38
KT88*	400	8000	15	80	-43
PL519	400	9000	18	80	-55

Увыпр	п/диоды	кенотрон	
180	140	250	2x160
190	350	270	2x210
400	310		2x290
			2x330

\* Здесь и далее в схеме указываются прямые замены или возможные эквиваленты на российские элементы.

Фильтр с конденсатором на входе в обоих случаях. Когда применяются п/п диоды, повышающие обмотки должны быть нормированы на ток вдвое больший, против того, что будет потребляться.

Многим нравится звучание однотактных усилителей за то, что состав гармонических искажений у них близок к натуральному ряду. Вторая гармоника доминирует над третьей, третья над четвертой и так далее. Главным недостатком в SE считается то, что выходной трансформатор, для получения хорошего баса, должен быть больших размеров и, следовательно, дешевым быть не может.

Усилитель ULTIMATE использует стандартный PP трансформатор, первичка которого соединена с парой выходных триодов, либо тетродов/пентодов в триодном включении. Сигнал раскачки по сеткам выходных ламп неодинаков. Здесь он для одного плеча вдвое больше, чем для другого. В этом случае выходной спектр очень близок спектру однотактного усилителя. Другое его достоинство в том, что он имеет очень «мягкое» ограничение, более красивое, чем у простого двухтактника.

Схема с питанием приведена на рисунках ниже. Полевой транзистор можно взять любой n-канальный с малым шумом и I<sub>дсс</sub>=8-10 мА. Резисторы в 1 Ом в катодах выходных ламп используются для измерения смещения. Если вы применяете прямонакальные триоды, установите резисторы в анодные цепи.

В таблице 1 указаны лампы, которые возможно применить в качестве выходных. Коэффициент демпфирования будет зависеть от лампы: KT88/6550 даст К<sub>д</sub>=4, 300В даст 5, а 63361 (подобная 6С33С) будет иметь К<sub>д</sub>=6. Чувствительность по входу также зависит от типа выбранной выходной лампы. По желанию, по входу можно установить регулятор громкости.

Схема блока питания рассчитана на применение KT88/6550 для двух каналов. Если вы используете 6336 или 6С33С, то такой блок должен быть для одного канала, либо при достаточной мощности трансформатора питания, замените кенотроны на полупроводниковые выпрямители. Я не привел никаких данных об искажениях, но на глаз они примерно равны 4% по второй и 1% по третьей при указанной мощности. В таблице 2 приведены значения напряжений на питающем трансформаторе для различных случаев.

*P.S. Резонно все-таки спросить, кто кого победил? У таких, прекрасно владеющих вопросом профессионалов, как Рик Берглунд, однозначных побед не бывает. Он выдвинул на соискание звания и премии «Wipper» одно из решений, делающее звучание PP подобным SE, просто «перекосив» драйвер. Существует немало способов угодобления двухтактника однотактному и, в дальнейшем у нас дойдут до этого руки. — Ред.*

Компания "Hobby Lab" Игоря Губина готова  
предложить самые различные варианты для  
аукционщиков. Выборы аппаратов для  
сп-средств аппаратов.  
Tel: (805) 200-63-11 Москва.

Если вам нужны серьезные кон-  
сультации по приобретению аппаратов  
Hi-End и просто инженерные советы,  
узнать, каким может и должен быть  
звук, как обработать помещение,  
обращайтесь к нам.  
Gala-salon, Москва. (095) 218-46-05.  
Григорий, Сергей.

Копии редакционных материалов, статей. Перевод  
интересующих статей. Расчет трансформаторов  
любых каскадов, настройка. Лично на заказ. Любые.  
Tel: (812) 510-57-08 Свб. Андроников  
Дмитрий.

Продаем вых. трансформаторы РР (авухтактные).  
30 Вт/8 Ом для 6ПЗС, 6ПЗС-Е, ЕЛ34, 6П14Пх2,  
6П6Сх2. Отводы для включения в УЛ. Сопротивление  
по первичке - 6 кОм/8 Ом. Сердечник ПЛ, стержневой  
конфигурации. Возможно включение 300В в СЕ.  
Трансформаторы анодные, накальные.  
Усилители на заказ. И без посредников!  
Tel: (812) 327-51-23 в раб. время до 20 час.  
Фирма Spb Sound - Санкт-Петербург.

ТОНКАЯ ХИМИЯ. УСИЛИТЕЛЬНО.  
ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ РЕАКЦИЯ

на  
Радиоламп  
Продажа  
Радиоламп  
Доброжелатель.

В номере 1 Вестника была допущена  
ошибка в схеме Ондаки. Первый каскад  
должен питаться от напряжения +200 V,  
второй - от +460V. Безобразия!  
Сергей из Питера

Куплю подержанный МОНГОЛЬФЬЕР в виде 300В  
Tel.: (812) 101-47-69 Полина

Любые трансформаторы: выходные, силовые, дроссели.  
Сопровождение по первичке по заказу.  
Блокные димптеры на EL34, 6П3С, 6П41С, 6С50.  
Концертные усилители, большие площадки: усилители  
2x500 Вт (чистых).  
Tel: (0572) 52-94-31. Ф. Георгий Олт. Харьков. Юрий.

Компания в Санкт-Петербурге способна выполнить мелкие/крупные заказы по поставке ламп. В любую точку мира.  
Tel: (812) 553-27-23  
Официальные отношения  
Fax: (812) 327-86-59  
Надежность поставок

Производство динамических головок (экзотика)  
Вам требования и объемы.  
Tel: (095) 318-71-42. Москва. Олег Георгиевич.

Переделка Прибоа в Москве.  
Tel: (095) 267-48-21 Борис.

Мысли лезут в голову, а надо бы - из головы

Лаборатория "Natural" предлагает очень интересные усилители и акустику для домашнего театра. Вид экзотический, а цены безвкусна.  
Tel: (095) 261-09-25 Москва. Юрий + Александр.  
**Natural**

Лампы и прочие дельные вещи:  
конденсаторы электролиты, бум. в масле, фторопласт, полистирол, полипропилен, бумажные. Лампы: 6П3С; 6С3П ФВ; 6С4П-ДР; 6С5С; (6С50, EL34, 6Л6, 811, 372) - Svetlana Electron Devices. На заказ ВЧ лампы, кенотроны, стабилизаторы.  
Tel: (812) 156 /1 64 вечером, после 21 час. Анатолий.

Я Love 300!  
А я не Love

Редактор Журнала Вестник А.Р.А.  
приветствую, либо за нас, собираю российские и зарубежные лампы. Интересует информация по 50-х и. Обращаю на интересующие лампы.  
Tel: (812) 101-97-69. Цифер. Александр.

Фирма "Геда" рассмотрит предложения по производству громкоговорителей. Есть динамики.  
г. Обнинск (08439) 295-98.  
Герасимов Александр.

**НОВОСТИ**  
из МХРА



**РЕАЛЬНОЕ**  
**АУДИО**

**Х**оть и с некоторым опозданием у нас на руках появились новые лампы из Рязани: SV811-3, 811-10, 811-160, просто 812A и целая линейка SV572-3, -10, -30 и -160. Инициатор их производства – Svetlana Electron Devices, а именно – George Badger. Спасибо, Георгий, что не забываешь нашу, спящую в летаргическом сне, промышленность!

Особенно привлекают 572-е. Мы не сомневаемся в ее перспективности не только на мировых, но и на российских просторах. Подробно о ней читайте в «Life in a vacuum».

**У**силитель на 1 kW мы видели, даже на 2 kW, а вот ламповый – впервые. Производитель – Харьковская команда профессионалов-энтузиастов под руководством Ю. Малышева, под общим названием «George Ohm» (довольно скромно). В Москве он начинает приобретать популярность от дискотек до приличного джазклуба на ул. Беговой 5. С его дилером можно связаться в Москве: (095) 267-48-21 – Борис Евг. Лахметкин. С шефом «George Ohm» в Харькове: (0572) 52-94-31. Смущает цена усилителя, всего-то стоимость комплекта серебряных вилок на 12 персон.

**Н**а выставке «Российский Hi-End'97» мы узнали, что саратовский завод «Рефлектор» приступил к выпуску KT88 и KT66. И это кроме уже известных всему миру, под знаком «Sovtek», 5881 (6ПЗС-Е), 6922/6DJ8 (6Н23П-ЕВ), 6ВQ5 (6П14П) и 300В. Представитель завода Л. Перетьяка показывала список из 63 наименований, выпускаемых предприятием. Саратов – Клондайк на реке Волге.

**С**ветлана» (Санкт-Петербург) Кроме уже ставших популярными во всем цивилизованном мире тетродов 6550 и пентодов EL34, приступила к выпуску 6L6 (по классической версии RCA) и того гляди, сойдет со стапеля уже промышленная, а не опытная, 300В. В скором времени можно будет сказать: «Да кто только не выпускает эти «трехсотки»! Надеемся, что они окажутся еще лучше, чем «Made in Reflektor».

(начало на стр. 65)

– Многие ветераны аудиоиндустрии полагают, что пройдено 95% пути к живой музыке. Другие думают, что мы одолели лишь оставшиеся 5% трудной дороги.

Первые 10 лет...

- Любые новые форматы звучат плохо;
- экзотическое средство или решение будет применяться повсеместно. Только после этого свое слово скажет наука;
- цифровое аудио прошло длинный путь. И дальше его ожидает дальняя дорога.

Robert Harley

– Чем больше денег вы собираетесь потратить в будущем году на улучшение системы, тем под большим вопросом улучшение собственно звука.

– Если собрались купить аппарат, не откладывайте ни на день, ибо на следующий день захочется уже другого.

– Чем круче вы задумали сделать усилитель, тем большие разочарования вас ждут.

– Вкладывать деньги в аппаратуру бессмысленно, со временем она стареет.

– Самая большая иллюзия – чем дороже аппарат, тем он звучит лучше.

– Перед тем, как заняться up-grade'ом аппарата, подумайте, может быть эти деньги нужнее вашей жене.

– Экзотические компоненты и звучат непривычно.

– Если система стала звучать все хуже и хуже, возможно, дело в вашем настроении.

– Сначала мы мгновенно даем оценку качества системы, а потом нам не хватает времени для выяснения, отчего это она плохо звучит.

– Внутренняя неприязнь к сервисным возможностям аппарата может стать причиной плохой оценки.

– Очень дорогой и красивый аппарат может звучать плохо, плохо сделанный и некрасивый будет звучать еще хуже.

– Дайте женщине сказать свое слово, у нее тоже есть уши.

– Идеальных аппаратов не бывает. Вам нужен тот, которому вы готовы простить его недостатки.

А. Белканов



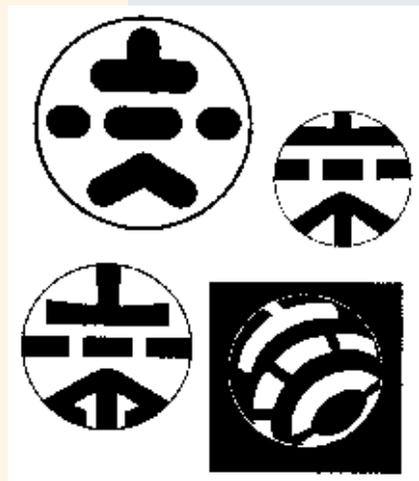


**В** сравнении с этой новостью, поворот вспять Ганга, Нила и Енисея, вместе взятых, выглядит невинным озорством. **МЫ СОЗДАЕМ МУЗЕЙ!** Да-с! И не музей сливовых косточек или крапленых карт, а ламповый музей. У нас уже около 300 типов. Уже пишется книга «Боевой Славы Российской Лампы», начиная с ПР-1 (пустотное реле, как называли первые триоды). Правда, оное реле у нас пока отсутствует. Конечно, не рассчитываем на то, что правительство Санкт-Петербурга выделит нам место в Смольном, но, когда к 100-летию Audion'a Де Фореста у нас соберется весь мировой спектр и ламповая элита, пусть попробуют не дать! Принимаем безвозмездные дары и занимаемся обменом. Бескорыстные будут занесены в книгу «БСРП».

### ПРЕДЛОЖЕНИЕ:

Журнал нуждается в собственном фирменном знаке. Представляем некоторые из них.

Знак, получивший одобрение большинства, и станет таковым.



Казалось сперва, что № 2 создавать будет легче... Как бы не так! Оказывается, тебе читатель, нужно ВСЕ, причем одним куском и сразу. То есть, желаемый любителями материал должен быть собран **ВСЕ** во второй книжке, со всею исчерпывающей полнотой и бесповоротностью. На выставке в Москве даже проскочило робкое предложение о выпуске некоей «Справочно-настойной книги аудиолюбителя». В самом деле, может плюнуть на расположение (или нерасположение) звезд и засесть за составление «полного и окончательного» собрания сочинений всех известных звуко-технических авторитетов мра. К примеру, у Скотта Фран-кланда в Ste-reophil'e перечислено одних References 106 пунктов, да у Г.В. Войшвил-ло в книге от 1959 г. -97, в «Справочнике р/инженера» Р.Лэнди, Д.Дэвиса и А.Албрехта (Госэнергоиздат, М-Л 1961) – несть числа. Это же труд для профессорско-докторской мантии. Мы ее не заслуживаем и к этому не готовы, пока. Прежде всего морально.

Однако, список доступной литературы опубликуем в № 3 (не забыть бы). Уверяем с полной серьезностью, что литература есть, ее много! Только искать ее нужно не в переходах метро. Обратитесь к бывшим своим школьным и институтским преподавате-

И.о.гл.ред.

лям; я не сомневаюсь, что они помогут.

При подготовке № 2 смертельно пострадало анонсированное содержание № 2, распространенное на выставке «Рос Хай Энд' 97». В этом, отчасти, повинны Вы и, мы в большей степени. С Вашей подачи мы решили снять одни материалы, включить другие и «урезать» третьи. Что из этого вышло, оценить Вам.



Как сказал бы В. Ерофеев – «рука не подымается объявить» оглавление № 3 «Вестника». Мы все время в поиске: добротных и обычных мыслей, нереализуемых предложений и простенького оформления.

Чего у нас в избытке, так это вопросов (твоих, читатель!) , советов (тоже твоих) и материалов на 101 выпуск вперед. У нас маленькая редакционная радость – мой такс Торин согласился-таки позировать перед фотокамерой и дал разрешение быть талисманом журнала. Спасибо тебе, собака! С этого момента в штат редакции может быть принят только тот, у кого есть такс или такса. Нас, таксистов, уже двое в Питере и один в столице – В.Зимаков. По его словам, у него – супертакс. Значит, скоро «Вестник» станет супержурналом. Это отрадно. Все, пора нести **ВСЕ ЭТО** в типографию! До встречи в мартобре.

/А. Белканов/



О, нет милый, только не это !  
Пойдем в женский отдел.

АРА

АРА