

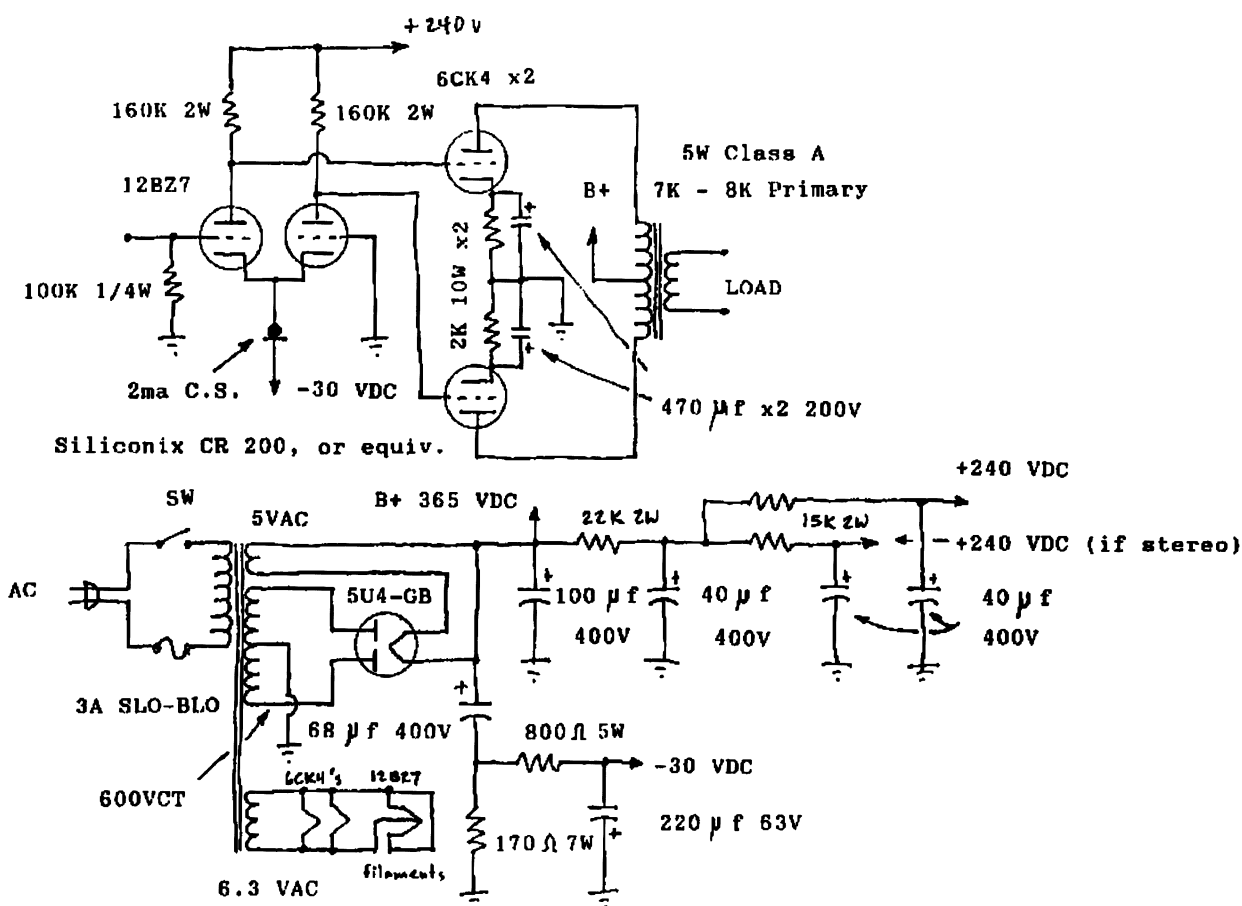
Двухтактные усилители мощности

6CK4 Direct-Coupled Push-Pull

Двухтактный усилитель с гальванической связью между каскадами. Выходная мощность - 6 Ватт при 2 % гармоник.

Не стану вдаваться в подробности того, почему этот усилитель так хорош. Это очень простая дифференциальная схема с источником стабильного тока, без блокировочных конденсаторов, обратной связи и всяческих трюков. Выдает несколько ватт с присущей классу А безгрешностью.

Выходная лампа несколько необычна - очень дешевая и ее никто не применяет, но, черт возьми, мы же не рабы моды? При наличии эффективной акустики Вам никогда не понадобится усилитель вроде вышеописанного монстра на 211-х. Это - моя личная идея наилучшего способа построить действительно великолепный усилитель. Ну что же, ставим на видное место! (хотя на 211-х выглядит круче...).



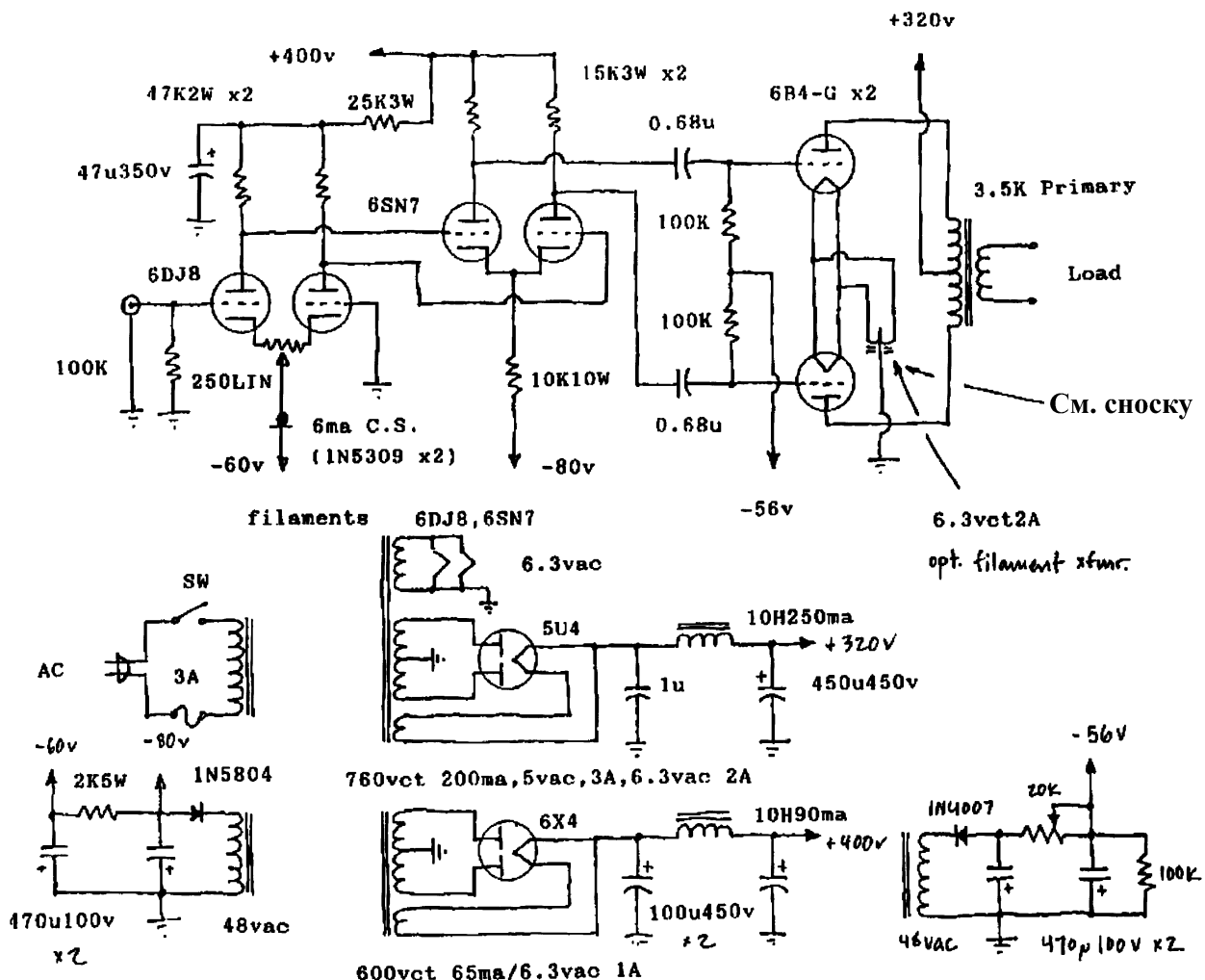
6B4-G Push-Pull с полностью дифференциальной раскачкой

Этот усилитель обладает всеми добродетелями предыдущего плюс мощностью, достаточной для раскачки гораздо большего числа типов акустики. Он отдает 15 Ватт при 5 % искажений и работает в классе АВ1. Выходной трансформатор имеет $R_{aa} = 3,5 \dots 7$ кОм.

Вам, наверное, известно, что на выход можно поставить любые лампы семейства 2A3 (2A3, 6A3, 6A5, 6B4G) и типов 45 или WE275, с учетом разницы в цоколе, напряжении накала и напряжении смещения. Данные и режимы ламп приведены в большинстве справочников.

6B4-G показались наилучшими, потому что имеют октальный цоколь, накал 6,3 Вольта и лампы из старых запасов широко распространены. Есть еще, кроме того, китайские 2A3 по весьма разумной цене. И Sovtek делает отличные 6B4G с моноанодом.

Если Вы набрались достаточно терпения (да и денег!) на розыск раритетов, то хорошие 45-е в этом усилителе могут повергнуть этих выроdkов из клуба аудиофилов в состояние апоплексии (и внушить не поддающееся контролю желание бросить их собственное оборудование с самого высокого места в округе). В пределах своей мощности, все эти триоды победят Ваш основной (Mullard или Williamson) ультралинейный или пентодный ламповый усилитель. Фанатам Marantz 9 или любителям Mac 275 лучше бежать и прятаться.



Для минимизации фона в цепь накала выходных ламп включен резистор 750 Ом (20 Вт) (он балансирует ток катода) зашунтированный конденсатором в 470 мкФ на 150 В.

Если я правильно понимаю, то на накальные провода вешается потенциометр ватт на 25 (около 50 Ом), его центральный движок соединяется через резистор (и параллельный резистору конденсатор) с землей.

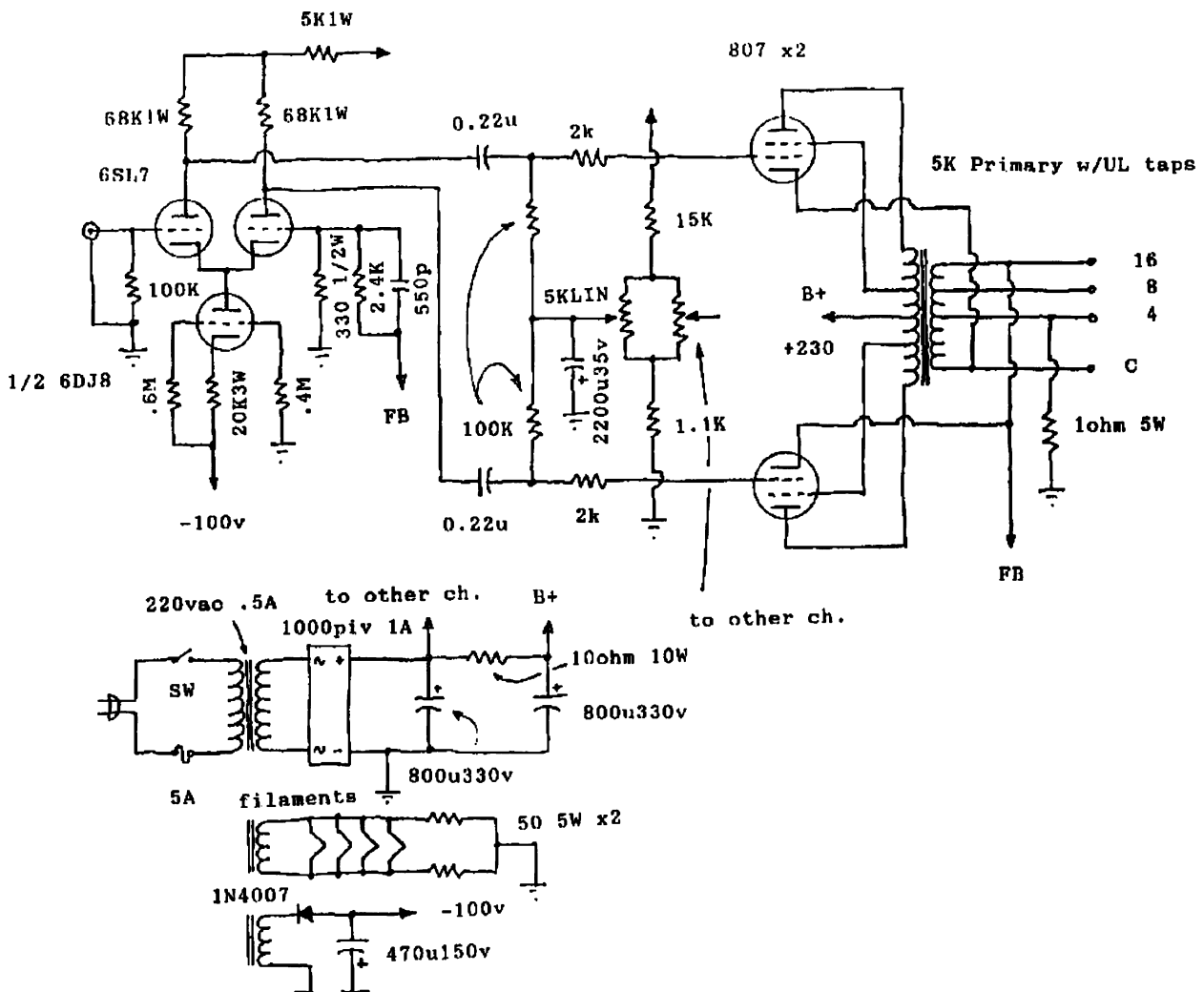
Константин

807 ультралинейный Push-Pull

Это - интересный усилитель, который использует хитроумную комбинацию тонких трюков, позволяющих получить хорошие характеристики от простой схемы. Комбинация положительной и отрицательной обратной связи с обратной связью в экранную сетку, перекрестное соединение вторичных обмоток трансформатора с катодами выходного каскада и работа его в режиме пониженного напряжения / повышенного тока, обеспечивает широкополосное линейное усиление, небольшой сдвиг фаз и низкий выходной импеданс.

807 - странным образом недооцененная выходная лампа. Ну, я действительно не знаю. Так много дрянных усилителей были сделаны на 7868, 8417, 6LF6, KT90, KT-99, и KT-100 и т.д.; то есть на действительно извращенных лампах. С другой стороны 807 не имеет никаких причуд, кроме простоты и надежности. В классе А работает в диапазоне до нескольких МГц и рассеивает 25 Ватт. Лампа распространенная и недорогая. Что еще можно ждать от лучевого тетрода? Этот усилитель выстоит против любого "Hi End" пентодного усилителя независимо от его стоимости.

Выходная мощность - 20 Вт при 0,1 % искажений, класс А, тетродное включение. Можно применить выходные трансформаторы с $R_{aa} = 5-7$ кОм.



Примечание. Слева - направо, сверху - вниз. Похоже, что в схеме источника питания ошибки, да и вообще кривовато всё. Питание оконечного каскада стоит подавать с первого конденсатора фильтра. Питание первого каскада - со второго (обозначено B+). Вторая по схеме "стрелка" должна быть подключена к источнику -100 В.

Одессит

Вывод С (вторичной обмотки трансформатора) - "земля" колонок, а FB - ООС.

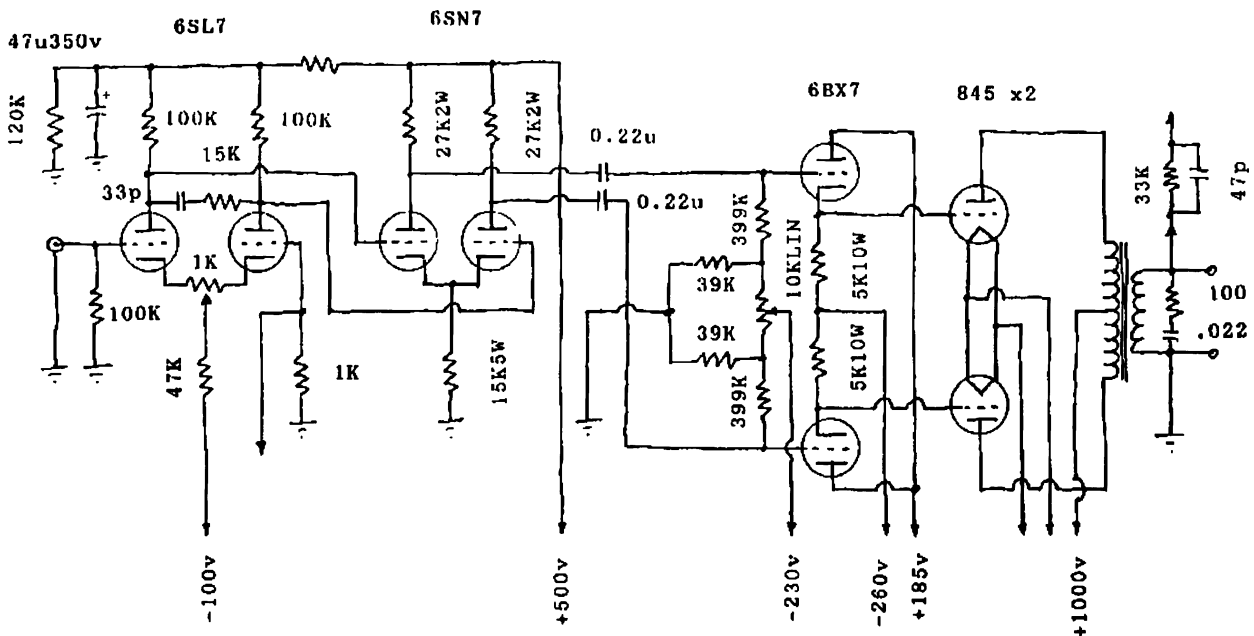
845 Push-Pull

Опять напоминаю: даже не думайте о постройке этого усилителя, если Вы не имеете рецепта на антидепрессант. Семья и домашние животные плохо уживаются с этим устройством. Вы все поняли?

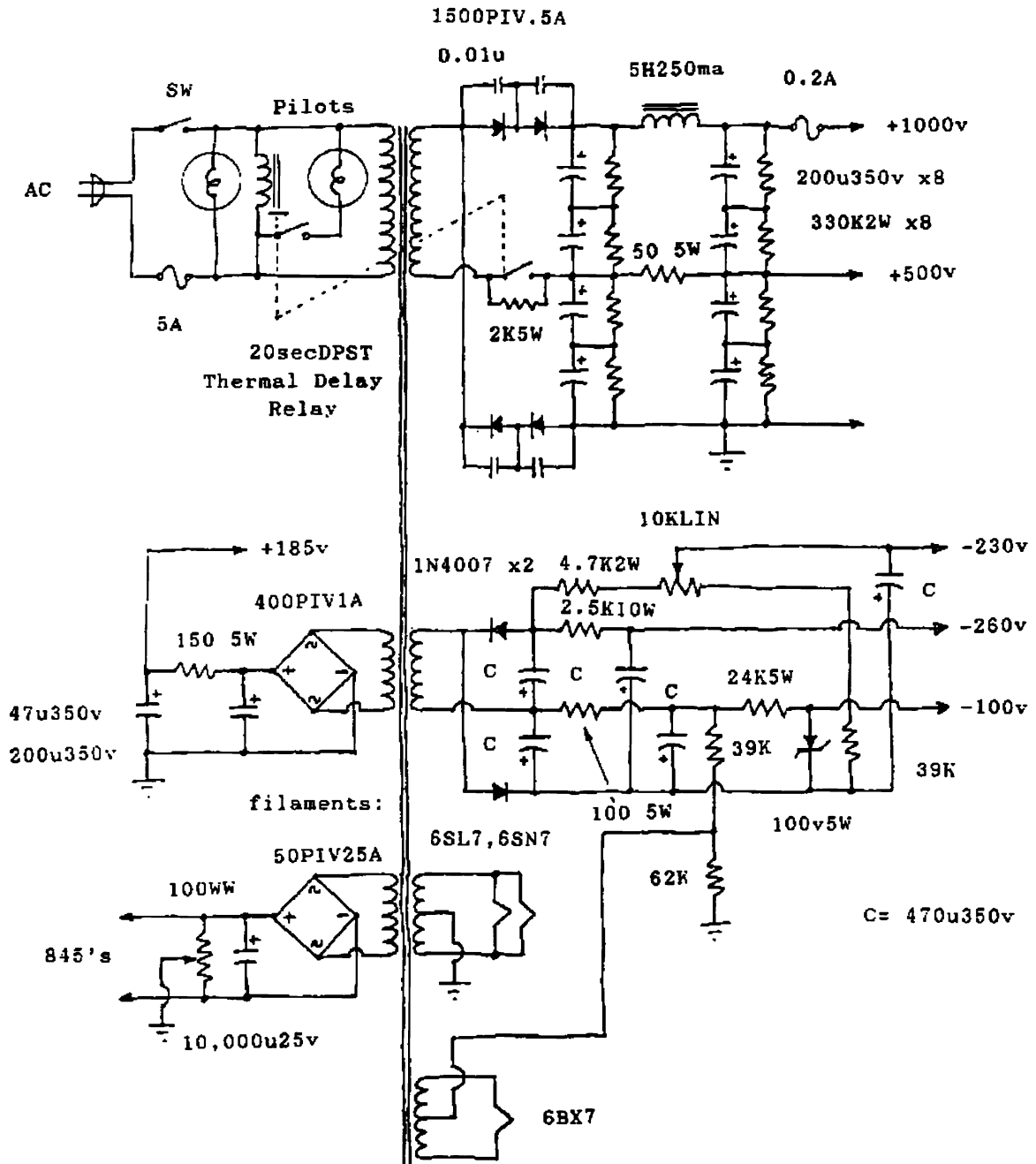
Усилитель имеет 30 Ватт на выходе (при 0,8 % гармоник) и работает в чистом классе А. Выходной трансформатор любой с $R_{aa} = 5-7$ кОм.

Комбинация из 845-х и источника питания типа применяемых в радиопередатчиках - вариант очень серьезного аппарата. Если Вы используете электростатические АС или ленточные вроде Strathern (с умеренной эффективностью), этот усилитель раскачает их до приемлемого уровня. Вы должны убедиться, что изоляция выходного трансформатора выдержит 1000 В. Tango XE-60 5P - превосходный кандидат. В прочих случаях, консультируйтесь с Вашим поставщиком трансформаторов - что из предлагаемого им удовлетворит данному условию.

Источник правильных методов конструирования этого усилителя - справочники для радиолюбителей-коротковолновиков. Следуйте этим советам, и Вы будете не только наслаждаться одним из наиболее замечательных усилителей, но также и выживете, чтобы послушать музыку еще денек-другой! Эти большие лампы позволяют получать и высокую мощность, свойственную пентодам, и искусственность триодов, но - все имеет свою цену. Планируйте изрядно потратиться и потрудиться при постройке и обслуживании этой вещи. Китайские 845 доступны по очень разумной цене. Они также звучат великолепно. Компоненты должны выбираться с учетом высоких напряжений - как постоянных, так и переменных. Caddock и Mills производят замечательные резисторы для этой цели. Конденсаторы будут также тяжело нагружены, так что приготовитесь тратить ваши деньги на хорошие вещи.



845 PP Power Supply



Фазоинверторы

Учтите, вопрос требует времени и сил и поэтому не бомбардируйте меня глупостями про резисторы/конденсаторы/трансформаторы или другими твикерскими извращениями, неспособными сформировать сколько-нибудь логичный подход к данному вопросу.

Мы будем обсуждать действительно важные вещи, а именно - противофазную раскачку сеток (баз, затворов и т.д.).

а) Что делает фазоинвертор?

Преобразует входной сигнал в два одинаковых противофазных.

б) Какие характеристики важны для определения его эффективности?

В первом приближении - баланс амплитуд выходных сигналов и минимальные нелинейности схемы. Кроме того, некоторых удивит то, что важны и сами раскачиваемые устройства - да и их функционирование.

Итак, вопрос был: - "Так что же может быть кроме трансформатора?"

Варианты: основные схемы...

1. трансформатор.
2. каскад с разделенной нагрузкой.
3. "парафазная" схема
4. дифференциальный усилитель

и их комбинации:

5. Вильямсон: каскад с разделенной нагрузкой + дифференциальный усилитель
6. Муллард: непосредственно соединенные каскад с нагрузкой в аноде и "плавающий" дифкаскад.
7. дифкаскад с дополнительной лампой, подключенной к неинвертирующему выходу - достигаются одинаковые выходные импедансы...

Все эти схемы позволяют получить два противофазных напряжения одинаковой амплитуды.

Не буду вдаваться в подробности, читайте страницы 521-527 издания 4 RCA Radiotron Manual, все эти схемы могут обеспечить баланс в пределах 1 % или 2 % что, кстати, гораздо меньше разброса параметров подобранной пары выходных ламп. Если выходной каскад работает в классе А, более точная балансировка никак не повлияет на искажения. Например, в каскаде с разделенной нагрузкой на точных сопротивлениях достигается баланс в 0,1 %. Трансформатор даст в лучшем случае то же значение. И вообще, трансформатор обычно сбалансирован настолько, насколько позволяет квалификация изготовителя.)

И если сделать все как надо, можно использовать любую из схем с одинаковым успехом! Но, как было уже упомянуто, есть еще одно требование, пока еще нами не исследованное. Это - нагрузка нашего фазоинвертора, а именно сетки (базы, затворы) двухтактного каскада. Что представляет собой нагрузка? В случае триода имеем весьма изменчивый импеданс (Каково сопротивление между сеткой и анодом? 10 МОм? 20 МОм?), переменная емкость (эффект Миллера), требующая перезарядки, что обуславливает некоторый сеточный ток, требующиеся напряжения находятся в пределах 30-60 Вэфф для большинства приемно-усилительных ламп (для генераторных будем иметь 50-100 Вэфф). И именно взгляд на проблему со стороны ламп, которые мы раскачиваем, делает

вышеупомянутый перечень схем списком возможных причин для неудачи. Что же, рассмотрим их по порядку...

Трансформатор: как уже упоминалось, баланс зависит от качества намотки, разброса паразитных емкостей и индуктивностей и идентичности нагрузок плеч. Действительно большим преимуществом трансформатора является то, что импеданс на переменном токе и сопротивление постоянному току - вещи совершенно независимые. Даже в случае повышающего трансформатора сопротивление вторичной обмотки на несколько порядков меньше, чем сопротивление утечки сетки, выбранное с точки зрения оптимальной нагрузки для переходного конденсатора. Это выгодно - если учитывать, что сетка может потреблять ток (например, при ограничении): при увеличении потребления тока от вторичных обмоток изменения напряжения смещения будут гораздо меньше, чем в случае с резистором в 100кОм. Это означает очень стабильное смещение сетки с малой постоянной времени и низкой запасенной энергией. С другой стороны, трансформаторы ограничивают полосу пропускания, время нарастания, и имеют паразитные потери, не говоря уже о том, что действительно хорошо сбалансированный трансформатор является **дорог**. Все жалобы о NC-21 Танго - спросите любого изготовителя, сколько забавы доставляет выполнить прекрасно сбалансированную обмотку! Они в принципе должны стоить больше чем любые выходные трансформаторы. И как я говорил прежде (и никто не слушал ...), если есть дополнительная индуктивность до или после межкаскадного трансформатора, общая переходная характеристика системы будет иметь суммированное число полюсов. Например, усилитель с двумя трансформаторами между входом и выходом будет иметь переходную характеристику 2-го порядка с сопутствующим фазовым сдвигом, запаздыванием и звоном. Этого можно избежать в звуковом диапазоне, используя межкаскадный трансформатор с полосой пропускания по крайней мере на две октавы шире таковой у выходного трансформатора. Это "возможно".

Фазоинвертор с разделенной нагрузкой (катодин): Возможно, лучше всего сбалансированный из всех фазоинверторов (в терминах баланса напряжений без нагрузки), но имеет два серьезных недостатка, а именно - что выходное сопротивление обоих выходов радикально различно, и не имеет НИКАКОГО усиления. В нем анодная и катодная нагрузки - идентичные резисторы, и выходные напряжения снимаются с анода и катода. Нижняя часть - функционально катодный повторитель, и верхняя часть - усилитель с общим катодом с большим незашунтированным катодным резистором. То есть, низкое z в катодной цепи и высокое z в анодной. Если высокий импеданс анодной части смотрит на голодный рот, который представляет собой сетка триода, Вы можете легко вообразить, что действительно легко перегрузить этот импеданс с заметным уменьшением выходного напряжения. Типичный триодный выходной каскад может иметь емкость сетка-анод 15 пФ, плюс панелька (5 пФ), умножим на число Миллера ($m\mu$ на 20 пФ на число Миллера драйвера...). В целом, типично это изменяется от 60 пФ при нуле на выходе до 400 пФ при полной амплитуде. Если импеданс около 50кОм (скажем 1/2 6SN7 с 20к резисторами в аноде и катоде), полоса пропускания анодной цепи под нагрузкой составит 8 кГц при полном размахе. Нижнее плечо не будет перегружаться и полоса составит 80 кГц или около того. Кроме того, Вам понадобится источник анодного питания 400 В, чтобы качать 40 вольт амплитуды, не говоря уже о том, что предыдущая лампа будет должна обеспечить 40 В на каскад фазоинвертора!

Сверхъестественно! Вот почему Williamson использовал комбинацию катодина и дифференциального усилителя. Это - хорошее решение. Катодин с расщепляет фазу с почти превосходным балансом и раскачивает намного более простую нагрузку в виде сеток усилителей напряжения на маленьком двойном триоде со средним $m\mu$ (2 или 3 пФ вместо 15 или 20), который в свою очередь имеет тот же самый выходной импеданс и легко раскачивает сетки выходного каскада. Еще один вариант, который применяли немногие, использует мощный триод в катодине. EL34 в триодном включении с 4кОм в катоде/аноде может иметь

достаточно низкий выходной импеданс, чтобы избежать проблем в звуковом диапазоне. Но все еще необходим 400 В источник...

"Парафазная" схема: Нечасто встречается, но была популярна в прошлом, потому что это обеспечивала сбалансированные сигналы при некотором усилении. В этом случае, часть сигнала с выхода каскада с общим катодом подается на другой такой же каскад, имеющий выходное напряжение такой же амплитуды и переворачивающий фазу. Трудность здесь состоит в том, что есть фазовый сдвиг между этими двумя выходами из-за небольшого различия группового времени задержки: к задержке на выходе первого каскада добавляется задержка на выходе второго. Это становится проблемой с увеличением частоты. Фактически мы нуждаемся в воспроизведении полосы гораздо шире той, что мы слышим, и гораздо шире полосы трансформатора (трансформаторов).

Причина состоит в необходимости сохранить естественный спад амплитуды обертонов исходного сигнала для получения естественности его звучания. Если я должен воспроизвести постоянный тон 40 кГц одновременно с тоном 41 кГц в комнате, полной людьми, что они будут слышать? Если бы Вы сказали - 1кГц, Вы выиграли бы все наличные деньги и призы. Это ответ тем, которые утверждают, что полоса 19,6 кГц (компакт-диск) должна быть достаточна для любого. Спектр резкого удара по ободу барабана содержит составляющие в диапазоне от 12 Гц до 125 кГц (зависит от барабанщика и барабана). Вы когда-либо слышали компакт-диск с естественно звучащими барабанами (или фортепьяно...)? Держу пари, нет. (Кстати, новые LP имеют равномерный спектр до 60 или 70 кГц, никакого крутого спада на верхней границе, и пилот-тон квадрантных LP был на записях, а это что-то около 40 кГц...)

Дифференциальный усилитель: В базовой схеме дифференциального преобразователя несимметричного тракта в симметричный сигнал подан на одну сетку, другая заземлена. Дифференциальный каскад усиливает только разность напряжений между этими двумя входами. Дифференциальные каскады имеют два выхода - так же, как два входа: неинвертированный выход и инвертированный. Неплохо выглядит? В действительности, существует небольшая проблема. Одна лампа работает в схеме с общей сеткой, а другая с общим катодом. Это означает, что характеристики этих двух половин различны. У лампы с заземленной сеткой нейтрализация эффекта Миллера простирается до намного более высокой частоты чем у лампы с общим катодом. И усиление соответственно различается! Особенно с ростом частоты.

Есть, однако, еще одна причуда в этой схеме - взаимный баланс плеч управляется общим катодным импедансом. Если он действительно большой (как в источнике постоянного тока...), баланс почти совершенен, если он невелик, разбаланс может составлять целых 10% в предположении, что сопротивления в анодах равны. Большой или маленький - зависит от R_p (резистор в аноде).

Баланс может быть достигнут при использовании неодинаковых резисторов в анодах (ACRO UL-2, например) или подстроен потенциометром номиналом 10% от R_p (инструментальные усилители Tectronix). Если эти меры приняты, дифференциальный усилитель способен обеспечивать и усиление, и расщепление фазы. Сложность схемы - значительно больше чем у трансформаторной или схемы с разделенной нагрузкой, при этом, необходимо биполярное питание, чтобы получить действительно хорошее функционирование. Инвертор "Mullard" - разумный компромисс, часто встречается в усилителях Altec и Marantz из США, он объединяет непосредственно соединенные каскад с общим катодом и "плавающий" дифкаскад с подачей постоянного напряжения на обе сетки, одна из которых заземлена по переменному току при помощи RC фильтра. Это оправданно, так как не требуется сложное электропитание, чтобы качать изрядную амплитуду, и схема может иметь превосходный баланс и симметричные выходные импедансы. Но теперь, если Вы не можете непосредственно подключить выход фазоинвертора к сеткам окончного

каскада, у Вас один выбор - использовать конденсаторы, чтобы блокировать постоянное напряжение.

Многие из Вас произнесут - "Ни за что"! А что это действительно означает?

В отличие от трансформаторов, конденсаторы хуже работают при низких уровнях сигнала. При повышении уровня они работают лучше. Чем больше емкость, тем больше проблема. Причина кроется в свойствах диэлектрика. Утечки и абсорбция "размывают" сигнал.

Трансформаторы работают все хуже и хуже с ростом амплитуды. Причина этому - в железе. И железо, и диэлектрик подвергаются воздействию физических полей. А почему? Накопление энергии и в индуктивности, и в емкости происходит именно в полях, окружающих проводники - магнитном и электрическом. Поля эти могут быть источником искажений, поскольку существуют одновременно и имеют различные амплитуды и фазы. Конечно, полистироловые и фторопластовые конденсаторы минимизируют "диэлектрические" проблемы (бумага - наихудший вариант с точки зрения абсорбции, хотя и может быть усовершенствована некоторыми типами пропиток), но очевидно, что выбор конденсаторов есть важный фактор, определяющий характеристики RC - схем. Именно поэтому межкаскадный трансформатор с хорошим экранированием, без каркаса и межслойной изоляции (опять диэлектрик!) на сердечнике с высокой магнитной проницаемостью может заметно лучше работать даже при больших уровнях...

Надеюсь, этим я ответил на вопрос о возможных вариантах. Как видим, есть несколько вполне работоспособных схем. Каждая обладает и некоторыми преимуществами, и некоторыми недостатками.

Попробуйте уяснить главное - раскачивать мощные триоды **непросто**. Для достижения выдающихся результатов потребуются принятие экстраординарных мер. По большей части это означает внимательный с выяснением причинно-следственных связей его реальных характеристик. Будьте осторожнее при согласовании выходных импедансов и соответствующих нагрузок. Внимательность почти всегда дает хорошие результаты.

J.C.

Источники:

1) J.C. Morrison "The Fi Primer", 1993 г.

Дата создания: сентябрь 2004.

Откорректирован:

Информационный портал "Магия ламп"

www.magictubes.ru