

Современные High-end ламповые усилители, основанные на тороидальном выходном трансформаторе

11 | Создание двухтактного (Push-Pull) лампового усилителя: От 10 до 100Вт

Эта статья особенно полезна для самодеятелей. В ней идет речь о нескольких выходных усилителях, в которых используются стандартные VDV трансформаторы. Для каждой модели трансформатора существует контур усиления, который возбуждается фазовращателем, описанным в разделе 10.

11.1 | Решения, решения, решения

Непрактично подробно описывать каждый усилитель. Была бы нужна книга гораздо толще этой (и, конечно, намного больше чтения) Мы берем общий подход, который объясняет основной контур усилителя и соединение с выходным трансформатором. После этого, объясняем каждый усилитель по очереди, с выбором компонентов и особыми характеристиками. Когда выберем основной контур, дальнейшая разработка не представляет собой большую проблему. Выбор используемого метода настройки оптимальной рабочей точки для выходной лампы немного труднее. Есть несколько вариантов, как на пример:

- Использование отрицательного напряжения сетки (NGV)
- Использование катодного резистора, так что лампа автоматически находит свою оптимальную рабочую точку (auto-bias),
- Автоматическая настройка, с использованием источника тока в катодной зоне
- Автоматическая настройка отрицательного напряжения сетки, в зависимости от измеренного катодного тока,
- Комбинация вышеприведенных методов, и
- Последнее, но не самое маловажное: Умные решения, придуманные некоторыми конструкторами.

Ясно, что есть много возможных решений. Я выбрал первый подход, который использует отрицательное напряжение сетки для установления рабочей точки. В нем несколько преимуществ: контур простой и полностью одинаковый для всех типов усилителей, можно использовать любую лампу, и лампы не должны быть спаренными. Эти факты должны быть достаточными, чтобы убедить нас в том, что данный выбор является самым элегантным решением. Мы должны сделать следующий выбор, который очень отразится на качество звука. Этот выбор рассматривался в предыдущих разделах: использовать триоды, ультралинейный или пентодный режим? Преимущество использования NGV способа совсем оставляется на выбор строителям. Как Вы увидите, этот выбор не оказывает влияния на контур, так как сущностью проблемы является подключение решетки к выходному трансформатору. В нижеследующих схемах ультралинейный режим показан с целью упрощения. И теперь, последнее преимущество использования стандартного контура. В прошлом, лампы были широко доступными, их можно было достать из Голландии, Англии, Америки, из стран Восточного блока, Дальнего Востока. Это и теперь так, но, единственное, что

изменилось – это цена, но, к сожалению, в обратном направлении. Недавно я услышал, что определенная стандартная лампа, которую трудно достать, достигла цены 125 долларов США за штуку. Эта ситуация будет еще хуже, а цены продолжают расти. Это является причиной использования стандартных ламп, которые относительно дешевые, и которые можно достать. По этим причинам, используем EL84 (6BQ5) для усилителей небольших мощностей, и EL34 (6CA7) для высокой мощности. Некоторые люди их любят, некоторые нет, но из опыта работы с ними, я их рекомендую. Некоторые люди могут заметить, что настоящий триод (как на пример 300B) звучит гораздо лучше, чем EL 34 сконфигурирована как триод. Это точно, но Ваш кошелек иссякнет, если Вы будете настаивать на настоящем триоде. Другими возможностями являются KT88, KT99 (улучшенная KT88), KT90 и 6550 WA. Я должен указать на астрономические цены этих ламп. Опытный человек, который точно знает, что делает, и может сделать все необходимые оптимизации, может использовать дорогие лампы, а стандартные типы ламп разумно используют новички, и любители звука, для которых тип встроенной лампы не является основной причиной строения.

11.2 | Основной контур: генеральная конструкция

Рисунок 11.1 показывает основной контур выходных ламп. Обозначения частей и соединений показаны слева, и соответствуют схеме 10.4, так что можете положить их рядом друг с другом. То же можете сделать с линиями питания, описанными в разделе 12. Видно, что у этого контура очень мало компонентов. Это представляет собой абсолютный минимум, того что необходимо, а схема чиста и проста. Прежде всего, контур был доказан на практике много раз, и работает хорошо.

11.3 | Основной контур: входные требования

В общем, входный контур работает так, как это описано: Выходные сигналы V_{g1a} и V_{g1b} из фазовращателя входят в усилитель через конденсаторы C4 и C5.

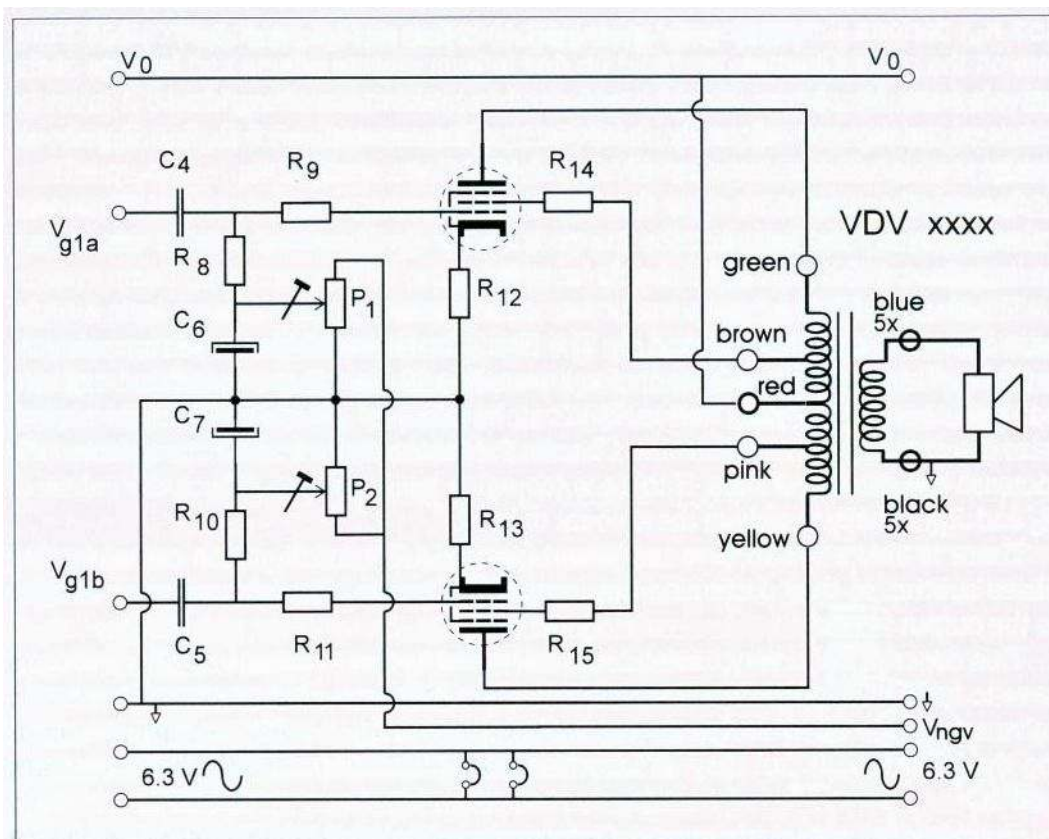


Рисунок 11.1 Основной выходной контур с тороидальным выходным трансформатором
 Copyright Menno van der Veen; перевод Trafco d.o.o. с эксклюзивным правом от ir. bureau Vanderveen;
www.mennovanderveen.nl. Книги доступны на немецком и английском языках на: www.Elektor.DE and
www.Elektor.com

Сигналы проходят через «стоп» резисторы R9 и R11 на сетки выходных ламп. Термин «стоп» требует объяснения. Входная емкость C_{gk} (не показан на рисунке) появляется между сеткой возбуждения (G1) и катодом каждой лампы, потому что они расположены физически очень близко друг к другу. Резисторы R9 и R11 со входной мощностью формируют низкочастотный фильтр. Это воздействует только на очень высокие частоты порядка 1 МГц. Если усилитель склонен к осцилляциям, этот низкочастотный фильтр ослабляет высокие частоты и эффективно останавливает осцилляции. Это объясняет название этих резисторов. Значения резисторов R9 и R11 как правило, между 1 и 10kΩ, так что их влияние не замечается ниже 100 до 200 кГц. На самом деле это не так, когда выходные лампы используются в триодном режиме, потому что анод тогда оказывает очень большое влияние в виде относительно большого эффекта Миллера. В таком случае следует уменьшить сопротивления R9 и R11. В середине рисунка имеются два резистора, соединенных с сетками (R8 и R10) и два подстроечных потенциометра (P1 и P2). Они используются для настройки отрицательного напряжения сетки (NGV). У R8 и R10 три различных назначения. Во-первых, обеспечивают, что напряжение не может накопиться на сетках. Напряжения могут аккумулироваться путем температурного эффекта и разряжаются через лампы. Не надо позволять генерирование напряжения на сетках, необходимо устранить его быстро и эффективно. Это значит, что сопротивления резисторов R8 и R10 не должны быть слишком большими. Допускаются значения между 47kΩ и 470kΩ. Во-вторых, через эти резисторы протекает отрицательный ток сеток выходных ламп. Они подключены к подстроечным потенциометрам P1 и P2. Точное значение сопротивления не так важно. 100kΩ до 1MΩ должно быть достаточным. Третье и последнее назначение может быть удивительным. Эти резисторы образуют высокочастотный фильтр с конденсаторами C4 и C5. Переходная частота этого фильтра составляет около 20Гц. Это означает, что частоты ниже 20Г будут ослаблены, и что не полностью дойдут до выходных ламп. Это имеет очень положительный эффект, если проблемой является лишнее количество басов, как это упомянуто в разделе 2. Случайно, низкий коэффициент демпфирования увеличит количество басов. Если есть слишком много басов, можем понизить значения R8 и R10 одинаково. Существует также и четвертая, менее важная функция. R8 и R10 нагружают фазовращатель, и они определяют максимальное значение «музыкального» напряжения, необходимого для возбуждения выходных ламп. Это объяснение является очень полезным, потому что ясно показывает, что эти два резистора имеют, хотя бы, четыре назначения одновременно. Такая ситуация часто появляется в ламповых усилителях. Хорошие конструкторы часто не согласны друг с другом об основном контуре, но у всех них есть свои способы оптимизации значений компонентов. Я сознательно сделал несколько решений, относящихся к этому контуру. После рассмотрения всех аргументов, я выбрал 100kΩ для R8 и R10. Это представляет собой оптимизацию. Значения конденсаторов C4 и C5 (82 до 100 nF каждый) устанавливает -3dB точку высокочастотного фильтра на 20Гц. Иными словами, на 20Гц есть ослабление -3dB по отношению к 1кГц. Это делает два отдельных эффекта: во-первых, удаляет «гул» шума иглы проигрывателя и сильные сигналы с CD-а. Большинство динамиков даже не может воспроизводить эти звуки, так что нет смысла усиливать их. Во-вторых, избегается возможность насыщения сердечника выходного трансформатора на полной силе, которое является самым высоким при частотах ниже 20Гц. Это также подтверждает выбор, куда расположить точки звука -3dB. Все это не является звуковым эффектом. Если настаиваете на репродукции более низких частот, до 1 Гц, тогда только должны увеличить значения C4 и C5 20 раз (до около 2μF). В некоторых контурах отдельных усилителей, которые будут описаны потом, в данном разделе, вы увидите несколько примеров выходных ламп соединенных параллельно. В таких случаях резисторы R8 и R10 также дублированы и соединены параллельно, что повышает нагрузку фазовращателя. Вы увидите, что, в таком случае, выбраны разные значения

для C4, C5, R8 и R10, в целях достижения оптимального компромисса с фазовращателем. Во всяком случае, я работал на основе установки -3dB на 20Гц.

11.4 | Основной контур: настройки NGV

Отрицательное предварительное напряжение сеток возбуждения настраивается с помощью два подстроечных потенциометра P1 и P2. Конденсаторы C6 и C7 отводят волновое напряжение на землю. Спокойный анодный ток для каждой выходной лампы определен для всех усилительных контуров. Нет регулируемой точки NGV на определенном напряжении, потому что лампы не являются идентичными (даже когда их купили как спаренные, всегда существуют небольшие различия). Хороший подход заключается в настройке предварительного напряжения, в целях достижения подходящего анодного тока. Это безусловно означает, что этот ток надо измерить. Поэтому между катодами и землей установлены два резистора R12 и R13, по 10Ω каждый. Напряжение на каждом из этих резисторов можно легко измерить простым вольтметром, когда усилитель включен. Предположим, что анодный ток составляет 50мА. Тогда напряжение на катодных резисторах равно:

$$V_k = R_k I_k = 10 \cdot 0.050 = 0.50 \text{ V} \quad [11-1]$$

На практике, этот способ настройки спокойных анодных токов очень удобен. Предположим, что мы настроили подстроечные потенциометры так, что напряжения на двух катодных резисторах (V_{k1} и V_{k2}) приблизительно одинаковые. Тогда подключаем вольтметр между двумя катодами (V_{kk}), вместо к каждому резистору в отдельности. Если анодные токи на обеих выходных лампах одинаковые, измеренное напряжение должно быть равно ноль вольт. Если нет, тогда можем уравнить разницу при помощи только одного подстроечного потенциометра. Это значит, что настройку баланса анодных токов можно сделать очень точно. Это можно услышать по динамику, где заметите, что сетевой шум 50 или 60Гц можно свести к неслышному уровню.

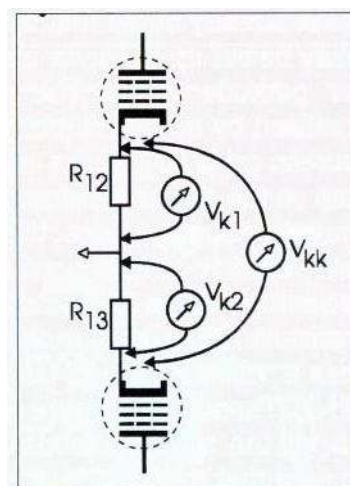


Рисунок 9.1 Уравнение анодных токов с помощью катодных вольтметров V_{k1} и V_{k2} и разницы катодных напряжений V_{kk}

11.5 | Стабилизация выходных ламп

Широко известен факт, что новые лампы хотят «удалиться» от своих оптимальных рабочих точек. В дальнейшем приводим важные примечания. Новым лампам, при первом запуске, требуется некоторое время для стабилизации. Производители усилителей учитывают этот факт, и многие из них «разминают» свои усилители некоторое время. Это делается так, что первое включение волокна лампы проводится 30 минут, без присутствия высокого напряжения (иными словами, усилитель находится в режиме ожидания; см. раздел 12 для получения дополнительной информации). Лампы тогда довольно нагреются. После этого, включается и высокое напряжение и NGV настраивается на оптимальную рабочую

точку. Усилитель тогда нагружается динамиком, или искусственной нагрузкой, а на вход подается сильный сигнал (синусной или квадратной формы, приблизительно 1 Гц, или даже громкая музыка) и запускается работать в течение нескольких минут. Весь процесс повторяется по мере необходимости, до появления незначительного сдвига. Повторение настроек несколько раз обычно бывает достаточным, для того, чтобы обеспечить, чтобы дополнительные настройки не были нужны хотя бы шесть месяцев, так как лампы сейчас в стабильном режиме работы.

11.6 | Соединение выходного трансформатора

Нечего много говорить о соединении выходных ламп с выходными трансформаторами. Раньше мы упоминали, что лампы можно настроить как триоды, ультралинейный или как пентоды. Это можно сделать соединением защитной сетки (G2) с анодом, на средний вывод выходного трансформатора, или на напряжение питания, соответственно. Вы, наверное, уже заметили, что защитные сетки соединены через резисторы R14 и R15 150 Ω каждый (см. рисунок 11.3). Эти резисторы очень важны для любого режима, что значит, что они всегда соединены с защитными сетками, а потом и с различными точками контура, в зависимости от режима работы. Резисторы R14 и R15 предназначены для предотвращения осцилляций, и для ограничения тока к защитным сеткам. При определенных обстоятельствах, может быть полезно установить переключатель режима работы и усилитель, чтобы легко изменить режим работы.

Предупреждение: Никогда не менять режим работы при высоком напряжении в лампе!

В противном случае, Вы можете услышать в динамиках сильный взрыв. Сначала выключаем высокое напряжение, изменяем режим работы, а потом снова включаем высокое напряжение. Также, следует обратить внимание на расцветку выводов трансформатора. Все VDV тороидальные трансформаторы идентично обозначены цветами, чтобы соединение выходных трансформаторов было несложным. Есть разница только в случае использования предусилителя, а это описано в разделе 15.

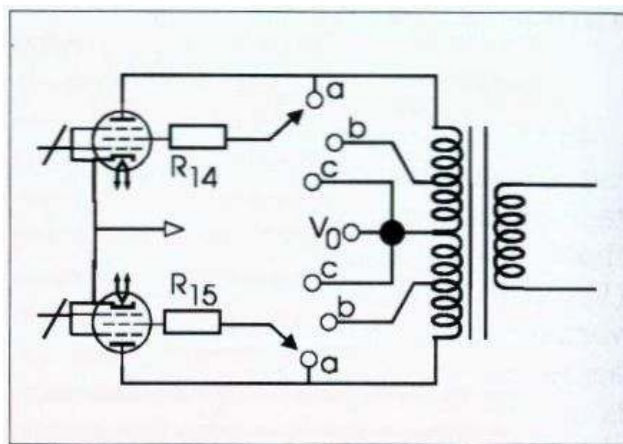
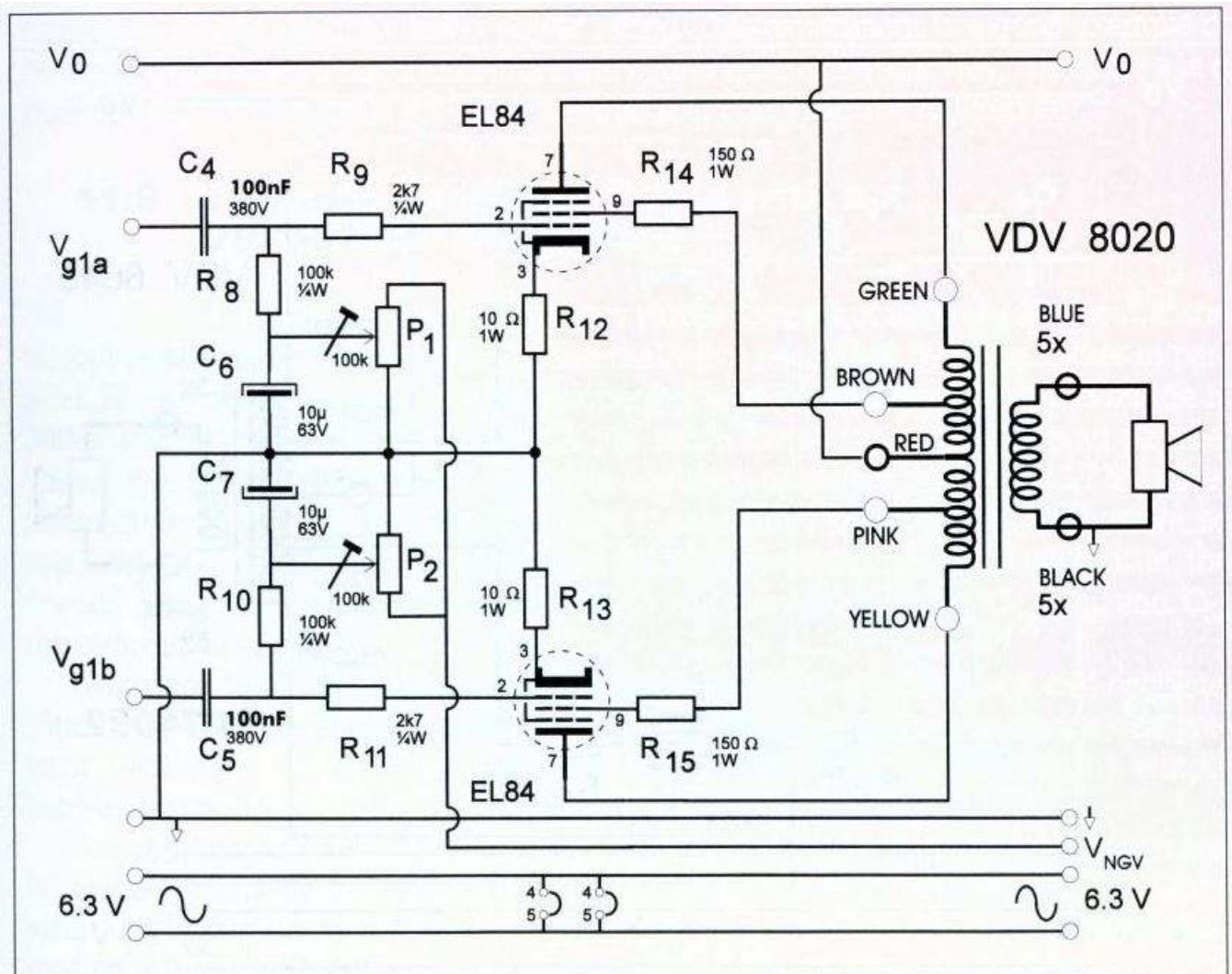


Рисунок 9.1

Соединение для трех различных режимов работы

11.7 | 10 ватт с двумя EL84 с VDV8020PP (PAT4000)

Рисунок 11.4 показывает схему контура этого усилителя, с обозначенными ногами лампы EL84 (6BQ5). Анодное напряжение 330В, а ток 40 мА. Напряжение на R12 и R13 будет 0.4В, если NGV правильно настроен. При указанных значениях, диссипация каждой EL84 немного выше, чем 12Вт заявленный максимум. Из своего опыта я знаю, что лампа не имеет никаких проблем с этим. На самом деле, EL84 дает немного больше и обеспечивает хорошее переходное воспроизведение при более высоких мощностях. Хорошие 5 ватт звуковой мощности можно получить в триодном режиме. Ультралинейный режим дает 10 ватт, а пентодный режим дает 17 ватт с 5%



искажением (по спецификации из каталога ламп). Информация о выпрямительных элементах содержится в разделе 12.

Рисунок 11.4 10-ваттный усилитель с двумя EL84

11.8 | 30 ватт с двумя EL34 с VDV6040PP (PAT4002)

В этом усилителе, EL34 (6CA7) выходные лампы слабо нагружены. Наша цель здесь заключается в том, чтобы рабочему полю не допустить превышения любого критического значения. Возможно получить больше мощности из EL34, но консервативная конструкция данного контура дает очень спокойный, расслабленный и стабильный звук. Анодное напряжение составляет 380В, а ток 60мА в каждой лампе. В

триодном режиме, выходная мощность 13 Вт; в ультралинейном 33 Вт, а в пентодном режиме почти 40 Вт. Триодный режим является очень хорошим в воспроизведении тонких звуковых деталей, и оптимально демпфирует динамик. См. рисунки 11.5 и 11.6. Интересно попробовать заменить EL34 на EL34-s лампы. Стеклооболочка EL34 тоньше, и конструкции анода и сетки другие. Что касается качества звука, существуют значительные различия. С EL34 басы более мягкие и менее плотные, а высокие частоты более «мягкие». Основная причина этих различий – это разница в внутреннем сопротивлении лампы.

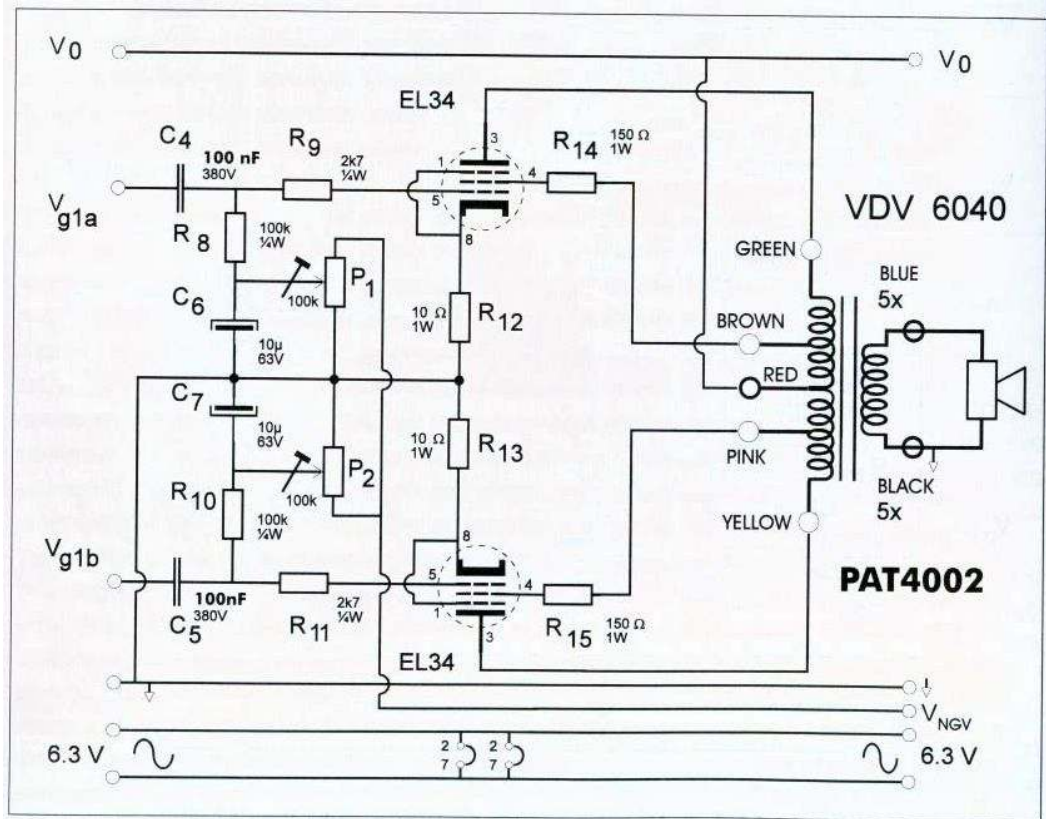


Рисунок 11.5 30-ваттный силитель с двумя EL34

EL34-s имеет внутреннее сопротивление немного выше. Она также имеет немного меньшую мощность. Этот эксперимент - хороший пример для того, как тип лампы может оказать влияние на качество звука. Кстати, EL34-s является тетродом, а EL34 настоящим пентодом. Слушайте разницу!

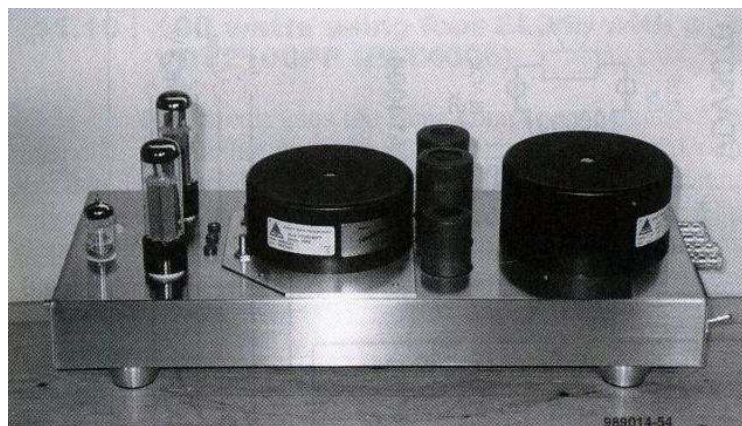


Рисунок 11.6
Очень привлекательный пример 30-ваттного балансного

11.9 | 70 Ватт четырьмя EL34 и с VDV3070PP (PAT4004)

Этот усилитель использует четыре выходных лампы, вместо двух. Мы можем удвоить выходную мощность и вдвое сократить эффективное внутреннее сопротивление ламп, соединяя лампы в параллель. Вновь лампы работают консервативно; анодное напряжение составляет 380 В, а ток - 60 мА в каждой лампе. Так как сейчас лампы соединены параллельно, схема контура является более сложной, и показана на рисунке 11.7 для ультралинейного режима (с перекрытием). Подчеркиваю, что настройка NGV осталась отдельной для каждой лампы, и поэтому необходимо удвоить конденсаторы C4 и C5. Во избежание перегрузки фазовращателя, резисторы сетки возбуждения изменены на 220 кΩ и значения C4a, C5a, C4b и C5b уменьшены до 47 нФ.

Предупреждение: большой частотный диапазон этого усилителя значит, что могут возникнуть осцилляции. Подумайте очень внимательно, куда поставить точки заземления! Хороший выбор может предотвратить осцилляции. Если осцилляции все еще появляются, есть простой способ решить проблему - увеличить значения R9, R11, R14 и R15.

Этот усилитель дает 30Ватт в триодном режиме, 70 Ватт в ультралинейном режиме и 80 Ватт в пентодном режиме. Еще раз, триодный режим дает лучшее качество звука, в то время как ультралинейный режим может справиться с образованием дуги. Информация о питании содержится в разделе 12.

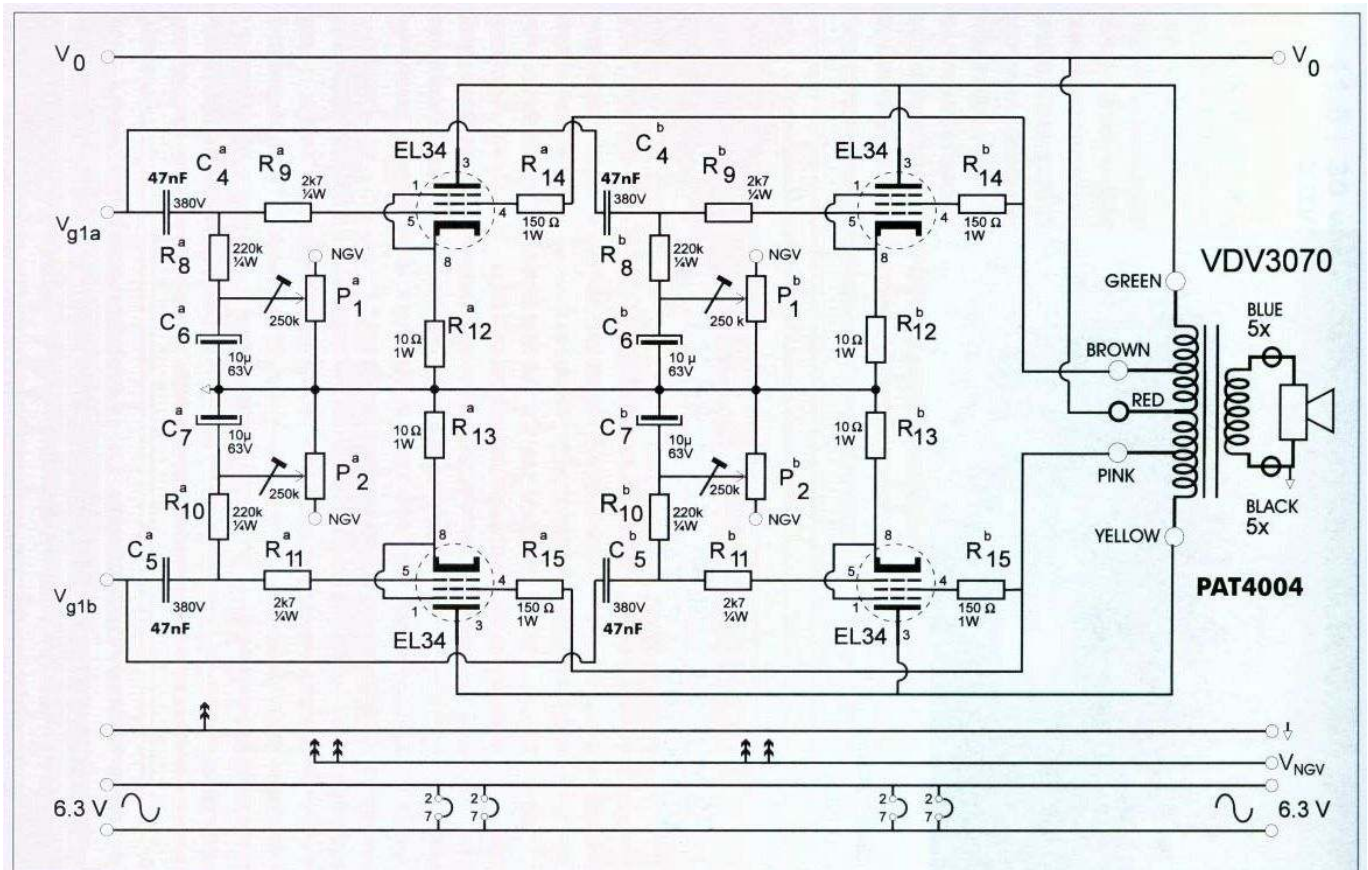


Рисунок 11.7 70 - ваттный усилитель с четырьмя EL34

11.10 | 100 Ватт с четырьмя EL34 с VDV2100PP (PAT4006)

Этот контур использует такие же компоненты, как и предыдущий. Основная разница в том, что анодное напряжение увеличено до 450В и спокойный анодный ток уменьшен до 50 мА на каждой лампе. Настройку спокойного анодного тока следует провести очень внимательно, чтобы не дошло до превышения максимальной диссипации. Более высокое анодное напряжение дает гораздо более высокую выходную мощность. Характеристики данного усилителя все еще относятся к классу «high end», и, благодаря своей большой выходной мощности, он может быть использован как отличный гитарный или усилитель для колонок.

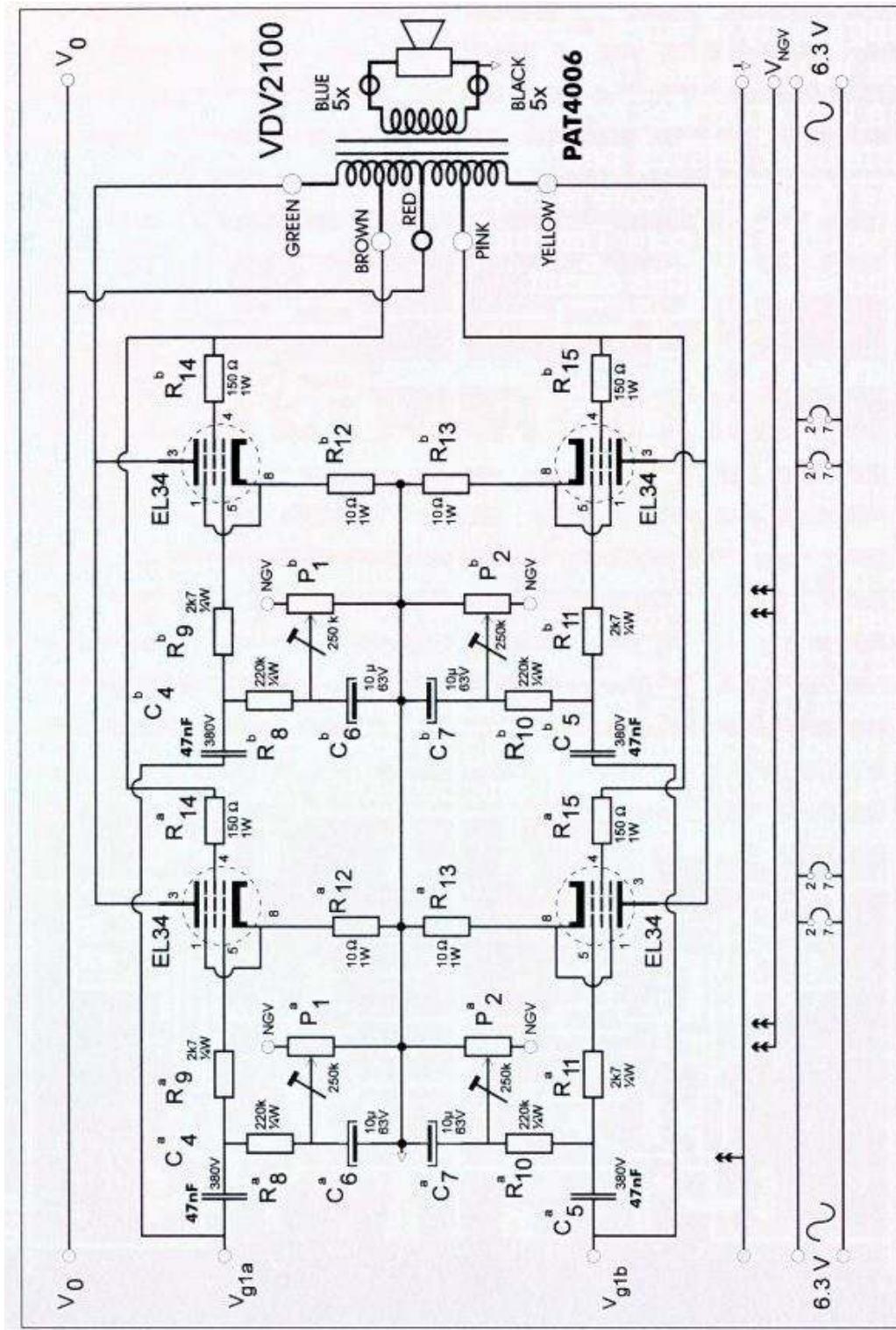


Рисунок 11.8 100 Вт двухтактный усилитель с четырьмя EL34

11.11 | 80 Ватт с восемью EL34 в триодном режиме с VDV1080PP (PAT4008)

Может быть, Вы предпочитаете триодный режим выходных ламп. Также, Вы можете захотеть много выходной мощности. Все это значит, что Вам будет нужно восемь EL34, которые работают на 450В, с анодным током 50мА на лампу. Контур показан на рисунке 11.9. Как и раньше, NGV можно регулировать независимо, отдельно для каждой лампы. Значение анодного тока должно быть проверенным, с требуемым

значением 50мА. Если сопоставим характеристики данного усилителя с предыдущим 100-ваттным, увидим, что триодный режим оптимизирован в большой степени, в то время как выходная мощность осталась высокой. Этот смелый усилитель работает исключительно хорошо с лампами с одинаковыми транскондуктансом и внутренним сопротивлением, что значит, что хорошей идеей являются спаренные лампы. Что бы случилось в случае изменения триодного в ультралинейный, или даже пентодный режим? Можно получить намного больше мощности, но сердечник трансформатора не подходит для этих режимов. При низких частотах сердечник насыщается. Этот трансформатор специально разработан для 80Вт в триодном режиме, который используется в данном контуре.

11.12 | РЕЗЮМЕ И ВЫВОДЫ

Мы рассмотрели пять различных выходных усилителей с различными выходными мощностями и рабочими режимами. Интересно отметить сходство в контурах, что иллюстрирует идею о том, что ламповые усилители можно проектировать по стандартному рецепту. Главной причиной этих сходств является использование отрицательного напряжения сетки, в целях приведения лампы в оптимальную рабочую точку. Мы также рассмотрели эффект выходного усилителя на фазовращатель, где необходимо менять значения конденсаторов C4 и C5 и резисторов R8 и R10. Мы пришли к выводу о необходимости тщательного заземления для предотвращения осцилляций, и подчеркиваем, что увеличение значений «стоп» резистора, может решить эту проблему полностью. Соответствующее заземление также устраняет шум.

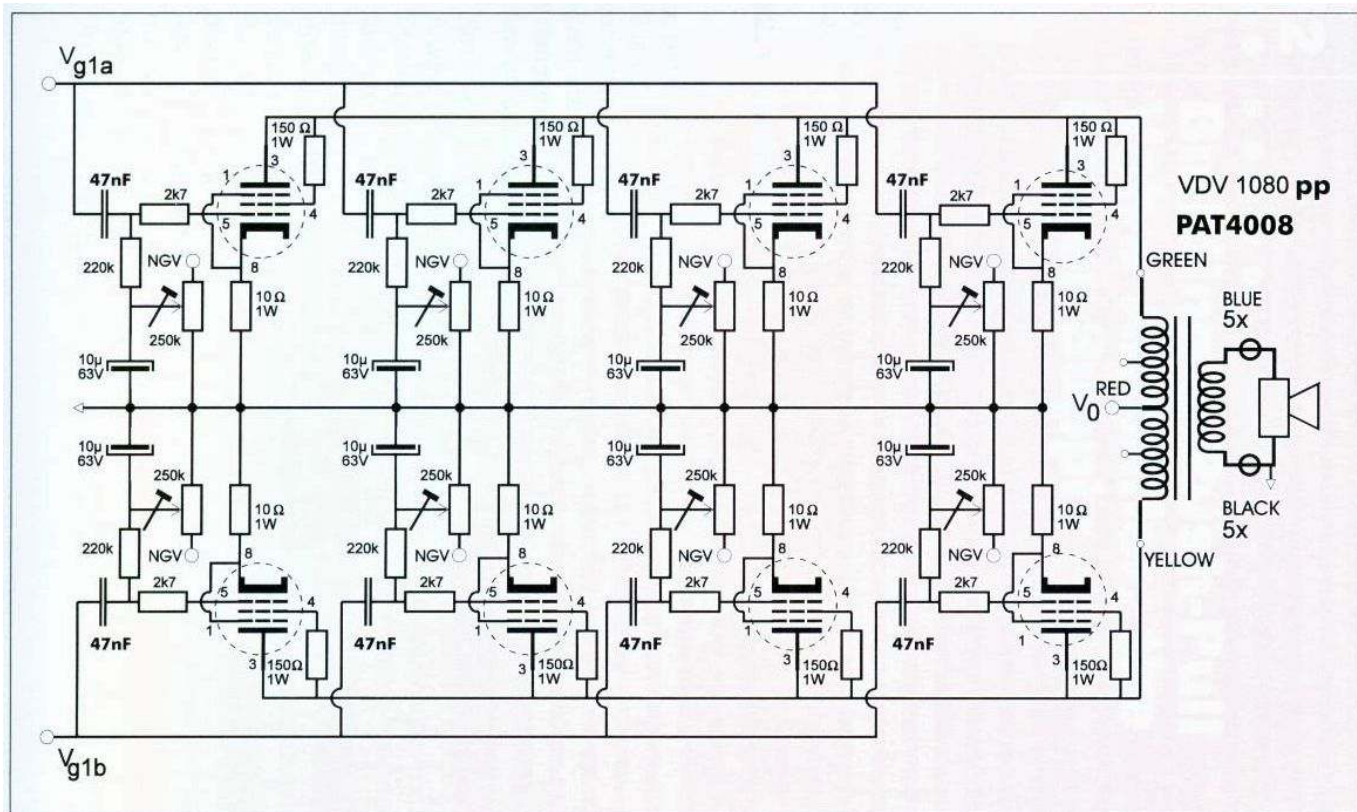


Рисунок 11.9 Усилитель с восемью EL34 в триодном режиме