

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

10. Создание двухтактного (Push-Pull) лампового усилителя. Фазовращатель.

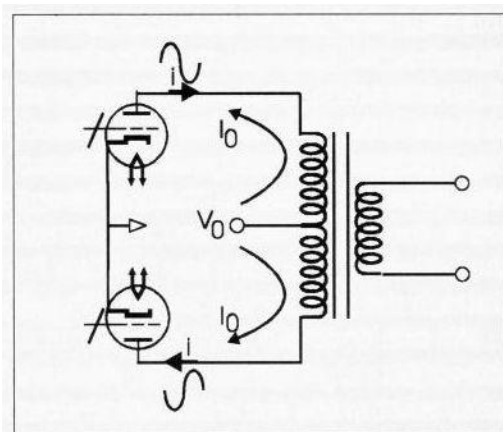
В данной статье рассматривается первый из нескольких основных компонентов, необходимых для создания двухтактного усилителя. Будем рассматривать фазовращатель, который возбуждает выходные лампы, сосредоточиваясь на вопросе о том, как фазовращатель работает и каковы его ограничения. Эта статья является особенно полезной для самодеятелей, потому что полна практических советов, а в конце показаны примеры различных типов фазовращателей.

10.1 Избежание насыщения сердечника

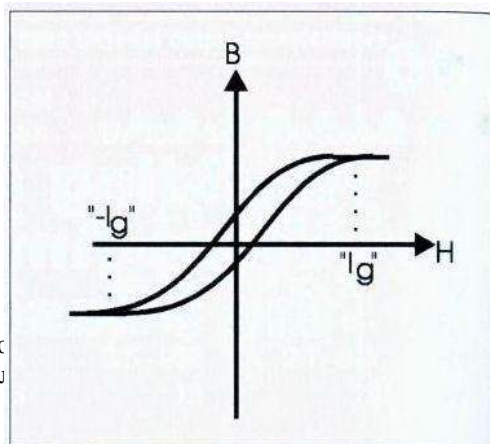
Причина того, что двухтактному усилителю нужен фазовращатель, лежит в конструкции выходного трансформатора, который питается от пары выходных ламп, аноды которых соединены с концами первичной обмотки, а питание выходных ламп соединено с серединой первичной обмотки. Если посмотрим на рисунок 10.1, мы увидим несколько постоянных и переменных токов, которые обозначены соответствующими стрелками и синусоидами. Рассматривая постоянные токи, мы замечаем некоторые интересные вещи. Постоянный ток доходит до середины трансформатора, разветвляется в верхнюю и нижнюю обмотку.

Токи обеих ветвей одинаковы, если выходные лампы хорошо настроены, и, очевидно, оба тока создают магнитное поле в двух половинах первичной обмотки. Сейчас происходит нечто замечательное: магнитные поля противоположные, потому что токи идут в противоположных направлениях. Если все настроено соответствующим образом, мы можем свести эффективное магнитное поле к нулю. Это приводит нас к следующему важному выводу: Постоянный ток, необходимый для работы выходных ламп, не создает магнитное поле в первичной обмотке. Из этого следует, что мы можем (в принципе) использовать небольшой сердечник, потому что без магнитного поля не доходит до насыщения. Насыщение наступает, как это показано на рис. 10.2, в случае когда магнитные частицы ориентированы в одном направлении. Это значит, что сердечник не может быть еще дополнительно намагничен, потому что все

Copyright Menno van der Veen; перевод Trafco d.o.o. с эксклю
www.mennovanderveen.nl. Книги доступны на немецком и англ
www.Elektor.com



Slika 10.1 AC i DC struje u izlaznom transformatoru

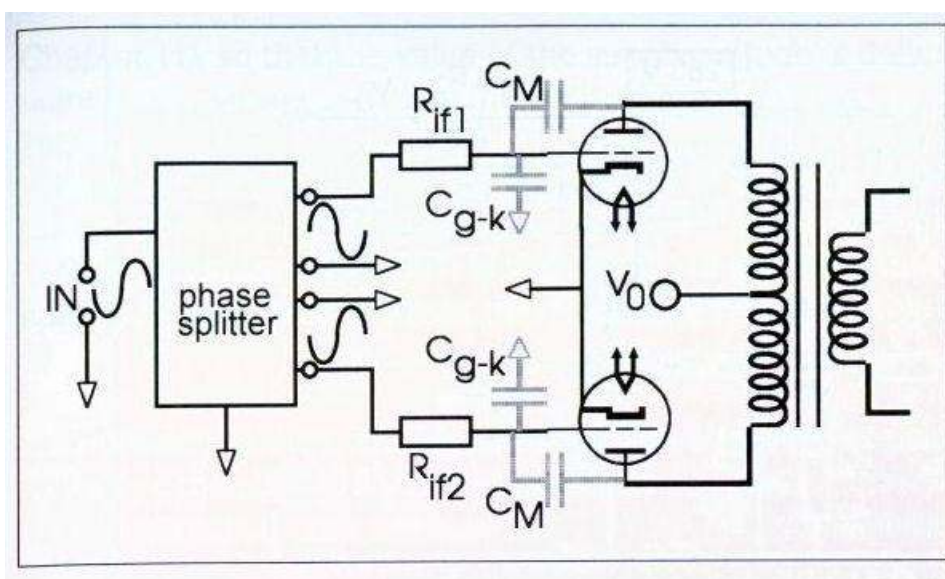


Slika 10.2 Do zasićenja dolazi kada struja ode preko I_g

магнитные частицы уже ориентированы в одном направлении. Насыщение сердечника является нежелательным явлением, и означает, что трансформатор достиг своего предела. Тогда мы не можем в него ничего положить, и не можем извлечь из него ничего. Сейчас о другом замечательном факте: если можно обеспечить, чтобы «музыка» создавала магнитное поле в сердечнике, ток будет протекать через вторичную обмотку и через динамик. Чтобы это произошло, ток, создаваемый «музыкой» должен протекать в одном направлении через обе половины первичной обмотки, и это создает магнитное поле в сердечнике. Данная ситуация показана синусными знаками на рисунке 10.1. Мы видим, что синусоиды на верху и на дне обмотки противоположны. Иными словами, если ток с верхней аноды увеличивается, тогда ток с нижней аноды уменьшается и наоборот. Верх тогда становится более положительным, а дно становится менее положительным. В такой ситуации переменный ток будет протекать по первичной обмотке, и сердечник будет намагничен. Мы заключаем, что в двухтактном усилителе постоянного тока, с выходных ламп, проходят через трансформатор и их магнитные поля аннулируются, в то время как переменное напряжение (музыку) следует применить на концах трансформатора, в противоположной фазе по отношению друг к другу. Переменные напряжения тогда создадут эффективное магнитное поле, которое будет индуцировать вторичное напряжение, питающее динамики.

10.2 Функция фазовращателя

Фазовращатель должен разделить переменное напряжение аудио сигналов на два одинаковых, но противоположных по фазе переменных сигнала. Это показано на рисунке 10.3.



Слика 10.3 Obrtač faze stvara signale u suprotnim fazama

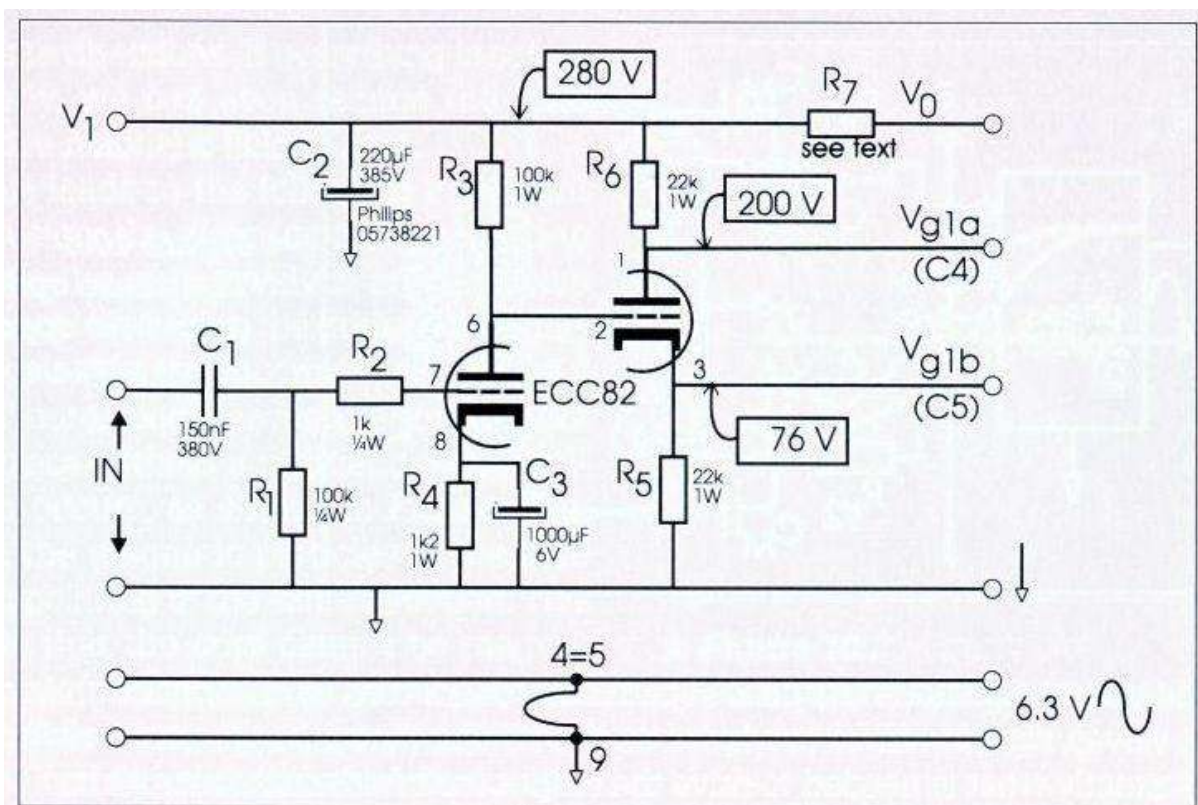
Если выходные сигналы из фазовращателя соединены с решетками выходных ламп, сигналы, которые будут производиться на анодах, будут в противоположных фазах. Это именно то, что нужно для питания выходного трансформатора. Доступны многие контуры, которые могут выполнить роль фазовращателя. В первые дни, трансформаторы с противоположной обмоткой были должны «автоматически» создавать сигналы противоположной фазы. Позднее, использовались ламповые контуры, и многие мудрые приемы были разработаны. Мы не намерены рассматривать все эти различные контуры, но рассмотрим контур, который самодеятельно могут использовать в качестве основания при их конечном выборе. Этот контур годами 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

доказывался в работе многих усилителей. У этого контура широкий частотный диапазон и он может обеспечить высокие выходные напряжения (которые необходимы для привода выходных ламп лучшим способом). Возможны многие трюки и умные выборы, но контур, о котором будем говорить в этом разделе, очень полезно служит своей цели и звучит фантастически.

10.3 Схема фазовращателя

Схема фазовращателя показана на рисунке 10.4, с указанными значениями компонентов, с заданными силами резисторов. Цифры рядом с символами ламп в схеме обозначают количество ног на плате.

Используем ECC82 (12AU7) лампу, которая широко доступна и обладает многими достоинствами, которые нам понадобятся. В принципе, можем также использовать и лампу ECC81 (12AT7), которая может усилить сигнал в четыре раза по сравнению с ECC82. Одна половина ECC82 используется в качестве предусилителя, с фактором усиления 14. Анод первого триода подключен непосредственно к сетке второго триода. Эта сетка носит точно такое же постоянное и переменное напряжение, как и анод первого триода.



Слика 10.4 Šematski prikaz obrtača faze

Из схемы видно, что анодные и катодные резисторы второго триода одинаковы. Это небольшой секрет, благодаря которому этот контур так хорошо ведет себя. Как работает? Когда переменный ток протекает через второй катод, он также протекает и через анодный и катодный резисторы. Поскольку эти сопротивления одинаковые, их переменные напряжения тоже одинаковые, но противоположные по фазам. Если лампы правильно настроены, ток сетки не будет протекать. Это иначе, чем у транзистора, который обладает постоянным током, что может привести к искажению контура данного типа. Ясно, что переменные напряжения на аноде и катоде одинаковы. Данный контур используем в качестве фазовращателя.

10.4 Требования и настройки: Питание

Определенные условия должны быть выполнены, чтобы этот контур работал как следует. Количество выходных ламп, которые могут быть подключены к фазовращателю, описано в разделе 11. Выходные лампы требуют применения различных напряжений питания, а фазовращатель лучше всего работает на 280В (см. также разделы 10.9 и 14, для версии фазовращателя с напряжением питания 350В). Теперь, как обеспечить, чтобы эти требования были выполнены? Фазовращатель питается через резистор R7, который показан на рисунке 10.4. Известны и необходимое напряжение и ток питания фазовращателя. Предположим, что мы уже выбрали лампы и подходящий выходной трансформатор (см. Раздел 11), так что и значения напряжения питания известны. Если обозначить данное напряжение питания с V_0 , значение резистора R7 определяется :

$$R_7 = \frac{V_0 - 280}{0.0057} \quad [\Omega] \quad [10-1]$$

Знаменатель, 0.0057, это сила тока, выражена в амперах, который протекает через фазовращатель. Соответствующая сила резистора составляет:

$$P_{R7} = (V_0 - 280)(0.0057) \quad [W] \quad [10-2]$$

На пример, предположим, что мы выбрали 30-ваттный усилитель с двумя EL34. Напряжение питания тогда равно 380В. R7 тогда:

$$R_7 = \frac{380 - 280}{0.0057} = 17,544 \quad \Omega \quad [10-3]$$

Чтобы уменьшить риск от выгорания резистора (в течение более длительного периода времени) хорошо увеличить силу на 1W, 18 kΩ, и это было бы хорошим выбором в таком случае. Этим методом легко вычисляются и другие значения.

10.5 Конденсаторы

Входный конденсатор C1 показан на рисунке 10.4. Его функция заключается в том, чтобы не пропустить постоянный ток, который приходит от предусилителя (см. Раздел 15: если используется предусилитель, который описан в данном разделе, тогда конденсатор необходим). У большинства современных предусилителей на выходе нет постоянного напряжения, что значит, что в большинстве случаев C1 не нужен. Если поддерживаем мнение, что любой конденсатор влияет на качество сигнала, тогда хорошей идеей является неиспользование C1, кроме в случае необходимости. А теперь, о самом главном конденсаторе C2. Производитель, код, и значение этого конденсатора известны. Здесь мы используем современные конденсаторы, разработанные фирмой Philips, для новой серии блоков питания 05738221 и 05758221. Эти конденсаторы обладают отличным частотным диапазоном и относительно большой емкостью для своего размера. Конденсатор C2 работает в сочетании с R7, для устранения перепадов напряжения питания. Этот момент очень важен, потому что этот контур является асимметричным по отношению к заземлению и напряжению питания. Каждый компонент пульсации напряжения питания находится в звуковом диапазоне, так что большая емкость C2 является очень важной. Конденсатор C3 работает в сочетании с резистором R4, в целях создания короткого замыкания переменного тока на катоде. Есть много сложных математических моделей, которые можно использовать для вычисления значений C3. Значение R4, а также, при вычислении надо учесть и внутреннее сопротивление и кондактанс ECC82. Мы выбрали значение 1000 μF, которое гарантирует удовлетворенность необходимого условия. С другой стороны, даже хороший конденсатор, все еще является дешевым, его чрезмерное увеличение не делает вреда. Выходы фазовращателя подключены к выпрямителю через конденсаторы

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

C4 и C5, которые показаны на рисунке 10.4. Качество этих конденсаторов должно быть отличным, потому что они переносят сигналы на сетки выходных ламп, и поэтому очень влияют на качество звука. Рекомендуются эксперименты и оптимизация. См. раздел 11, о значениях и монтаже C4 и C5.

10.6 Несколько слов о заземлении

Контур фазовращателя может быть сделан на PCB печатной плате, но здесь предполагаем, что контур будет проволочен вручную. Это значит, что будем использовать «настоящую» проволоку, и что определим точку заземления. К счастью, потом будет легче соединить ее с фазовращателем. Линии к земле (включая и эту для C2) все вместе должны образовать одну главную точку заземления, которая находится рядом с основанием лампы ECC82. Влияние этой главной точки заземления очень важно (и положительно) – иными словами – это очень важно!

10.7 Накал

Хорошей идеей является, соединить точку накала (нога 9 на основании лампы) с общей точкой земли. Накал лампы ECC82 составляет 6,3В 50Гц переменного тока. Знатоки среди нас сменили бы накал на постоянный ток, и у меня нет возражений по этому поводу. Этот вид изменений относится к категории «оптимизации», которая находится в конце настоящей книги. В этой области самодеятельные могут реализовать свои собственные творческие идеи, и я не хочу читателя лишиться этого удовольствия. Недавно появились конструкции, в которых напряжение накала было уменьшено на 4В вместо 6.3В. Аргументом для защиты данного решения служил факт, что срок службы ламп продлился, а напряжение накала уменьшилось. Автор решительно выступает против такого мнения. Возможно, что правда, что срок службы ламп продлевается, но пониженное напряжение накала имеет дополнительные последствия, как сокращенную эмиссию и различное сопротивление волокон (и, конечно, другой коэффициент усиления). Это не то, что должно быть. И, еще хуже, не учтено то, что катод имеет оптимальную рабочую температуру, при которой эффекты остаточных газов внутри лампы подвергаются испытанию. Остаточные газы постепенно исчезают с образованием серебрянного пятна на внутренней поверхности стекла. При неправильной температуре катода, и создание материала будет при неправильной температуре, что означает, что катод может быть загрязненным. Все это приводит к полной утрате функции лампы. Конечно, напряжение, превышающее 6.3В не считается хорошим, потому что уменьшается рабочее время волокон. Подведем итог: надо использовать рекомендованные 6.3В. Во всяком случае, производители ламп провели оптимизацию конструкции ламп и характеристик для данного напряжения.

10.8 Внимание: высокие частоты

Предположим, что мы закончили создание усилителя и что все прекрасно работает. Тогда мы внимательно выбираем несколько измерительных инструментов, из кучи, разбросанной по комнате, чтобы проверить достоверность утверждений автора. Предположим, что мы хотим измерить частотный диапазон сигналов, поступающих на сетки выходных ламп. Конечно, используем пробник 10:1, с очень маленьким внутренним потенциалом, в целях избежания перегрузок контура. Мы смотрим на экран осциллографа и с нетерпением ждем первых результатов. Что мы видим? К нашему удивлению, кажется, что кто-то нас водит за нос. На высоких частотах катодное выходное напряжение V_{g1b} больше, чем V_{g1a} (рисунок 10.4). Это не может быть истинным, потому что прямо заявлено, что переменное напряжение на R6 равно переменному напряжению на R5. Что происходит? Хотя решение этой загадки совсем несложное, она легко может превратиться в игру головоломку, с круглосветным

путешествием в качестве приза счастливому победителю. К сожалению, нет награды. Для того, чтобы приглушить хоровые вопросы, ответ даю здесь. Выходной импеданс фазовращателя больше на аноде Vg1a, чем на катоде Vg1b. На самом деле, мы можем представить себе, что этот более высокий выходной импеданс равен последовательного соединения резистора 10kΩ с выходом Vg1a. Это сопротивление образует фильтр нижних частот в сочетании с входной емкостью выходной лампы, подключенной к Vg1a. Это затухает высокие частоты (свыше 100кГц). Катодное соединение Vg1b имеет низкий выходной импеданс, так что входная емкость выходной лампы менее эффективна. Невозможно устранить этот эффект настройкой ламп, но можем его отменить просто, установкой резистора 10 kΩ последовательно с Vg1b. Это выровнит выходные сопротивления фазовращателя для обеих выходных ламп, и тем и асимметрия на высоких частотах исчезнет. Если Вы озабочены в связи с этим эффектом (который хорошо виден), тогда проблему можем смягчить простым добавлением одного резистора в соединение.

10.9 Фазовращатель с различными напряжениями питания

Разделы 11 и 14 рассматривают наиболее частые модернизации этого фазовращателя, производство печатных РСВ плат для 70Вт и 100Вт двухтактных выходных усилителей. На ходу разработки этих усилителей, я заметил, что можно улучшить контур фазовращателя. Выходные амплитуды сигнала из фазовращателя возможно увеличить за счет поднятия напряжения питания с 280В до 350В. С 350В напряжения питания, ток, нужный для фазовращателя составляет 7.1мА. Для 70Вт усилителя силы значит:

$$R_7 = 3.9 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W} \quad (70 \text{ watt amplifier})$$

Для 100Вт усилителей, напряжение питания больше, и оптимальное значение R7 составляет:

$$R_7 = 12 \text{ k}\Omega, 1 \text{ W} \quad (100 \text{ watt amplifier})$$

Значение 12kΩ также является лучшим выбором для 80Вт триодного усилителя.

10.10 Примеры других типов фазовращателя

Несколько примеров различных типов фазовращателей показано на рисунке 10.5, чтобы помочь вам, если вы хотите сделать свой собственный фазовращатель. Я показал не все возможные схемы фазовращателей, но хочу указать Вам правильный путь, иллюстрируя несколько идей и концепций. Значения резисторов являются ориентировочными: над деталями Вы должны сами поработать. Ни пуха ни пера!

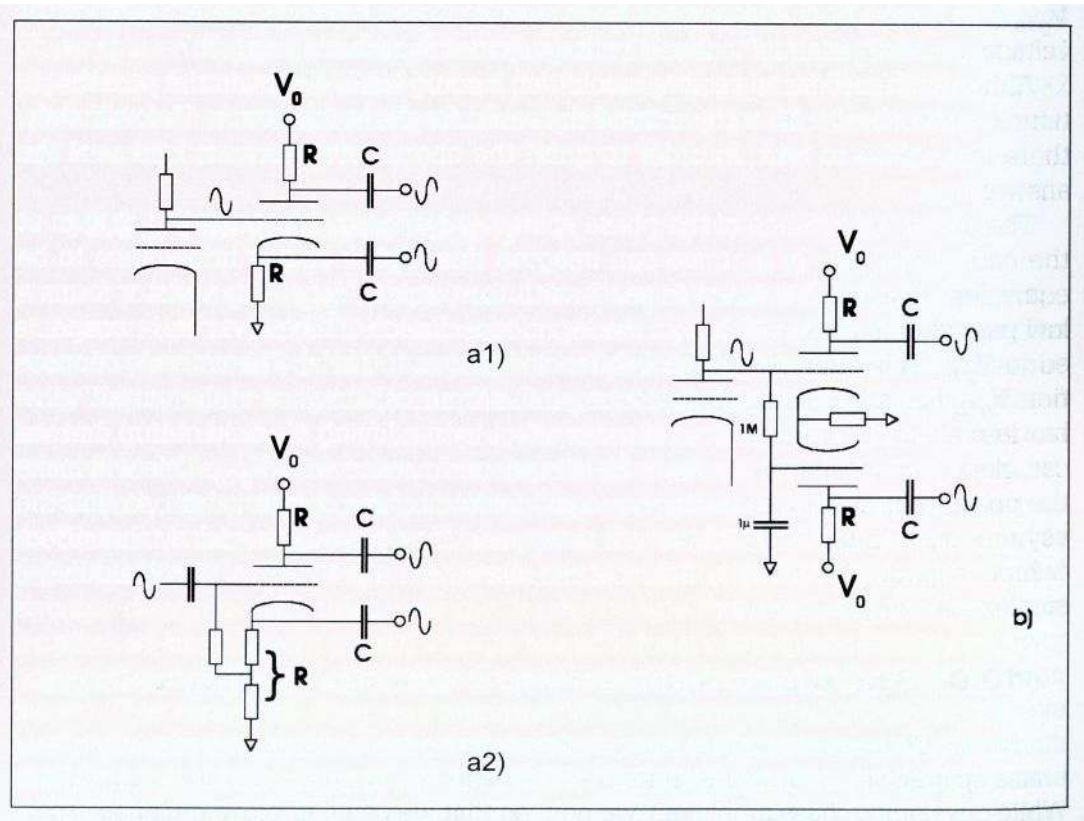


Рисунок 10.5 Схемы различных типов фазовращателей – первая часть

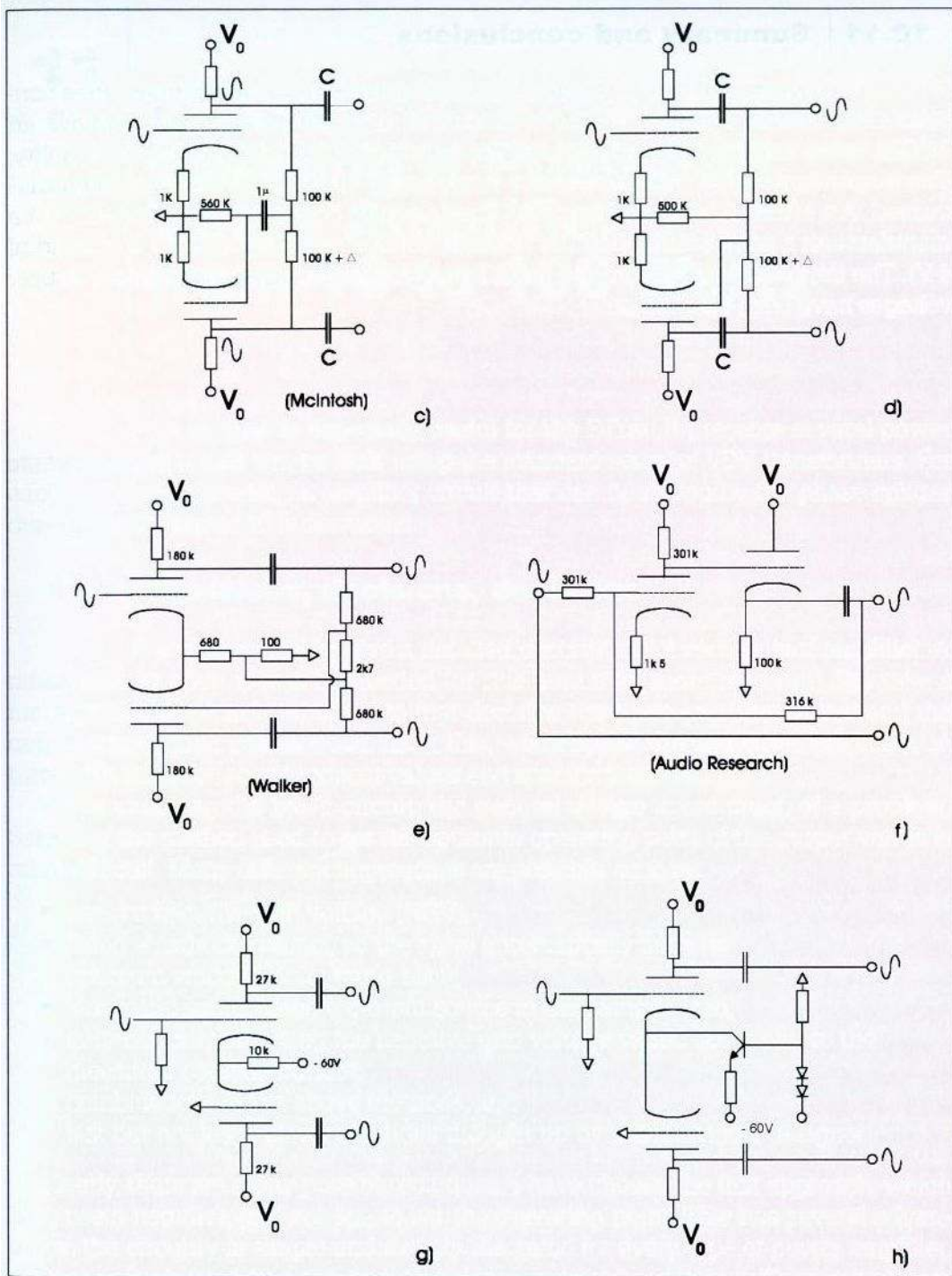


Рисунок 10.5 Схемы различных типов фазовращателей – вторая часть

10.11 Резюме и выводы

Концепция двухтактного усилителя очень удобна для выходного трансформатора, потому что возможно избежание насыщения сердечника. Мы рассмотрели фазовращатель относительно лампы ECC82, и подчеркнули, какие факторы влияют на качество звука. Мы также рассмотрели удивительно хороший высокочастотный результат этого контура. Я постарался убедить самодеятелей уважать советы производителей, в связи с напряжением накала, и использовать 6.3В вместо 4В. Рассматривалась и важность точки заземления, и также, мы затронули вопрос о различных напряжениях питания.