

Вперед - к обезьяне

CRYSTAL START

Евгений Карпов

Простой ламповый фонокорректор

Предисловие

Проектирование линейки корректоров Crystal шло не совсем обычным путем: сначала появилась самая старшая модель, потом ее упрощенный вариант, и вот до чего я «докатился». Сравнивать эти устройства между собой по техническим характеристикам и стабильности работы совершенно бессмысленно, естественно, START проиграет вчистую. А вот по субъективному восприятию их звука - здесь все не так однозначно и многое зависит от того, в какой звуковой тракт они включены.

Если отойти от сухих объективных характеристик, то неидеальность простого корректора может сыграть положительную роль. Включение корректора в достаточно качественный тракт, содержащий только твердотельные устройства, и совершенно незначительный «окрас», привносимый корректором, приводит к маленькому чуду - звук становится живым и комфортным. Конечно, опытный слушатель заметит привнесенную составляющую, но она не вызывает раздражения, как соринка в глазу, и очень быстро ее просто перестаешь замечать.

Схема корректора очень проста и реализована по общеизвестной структуре. Можно найти множество схем внешне похожих на эту, но хорошее звучание корректора кроется в тонкостях. Нельзя сказать, что аналогичные схемы содержат грубые ошибки, но и особенности, присущие схемам корректоров в них не всегда учтены. В этой статье я постараюсь отойти от стереотипа описания конкретной конструкции, попытаюсь расширить описание и мотивировать выбор того или иного решения. Это позволит не только легко повторить эту схему, но и внести коррективы в другие устройства, улучшив их звучание.

Сразу хочу заметить, что каких-то особых откровений вы в этой статье не найдете. Все эти тонкости построения корректоров известны и в явном или неявном виде разбросаны по различным источникам. К сожалению, большинство начинающих (и не только) конструкторов пропускают эти требования мимо ушей и пытаются достичь желаемых параметров только подбором каких-то экзотических ламп и компонентов. В общем, такой подход крайне неэффективен как с технической, так и с экономической точки зрения.

Схема корректора

Собственно, схема одного канала корректора показана на рисунке 1. Все дальнейшие разговоры будем вести относительно простых схем с максимально коротким звуковым трактом и сначала коснемся общих требований.

Стандарт RIAA (и его производные) нормирует параметры частотной коррекции в диапазоне от 20Hz до 20÷50kHz. Чтобы обеспечить высокую точность частотных характеристик, собственно усилитель без коррекции должен иметь полосу не менее 50÷100 kHz. Это сразу делает нежелательным использование ламп в режимах малых токов, использование чересчур высокоомных сеточных и анодных цепей, применение дешевых согласующих трансформаторов.

Учитывая, что необходимый коэффициент усиления (для большинства типов «ММ» головок) находится в районе 900 – 1000 и желательно обеспечить минимальный уровень шума, то нежелательно использовать (особенно в первом каскаде) октальные лампы, в целом характеризующиеся повышенным микрофонным эффектом. Кроме того, экранировать октальную лампу конструктивно сложнее.

Анодное напряжение должно быть тщательно отфильтровано, а цепи накала желательно питать постоянным отфильтрованным напряжением. Причем, напряжение накала должно быть близким к номинальному или даже чуть-чуть завышенным. Заниженное напряжение накала способствует росту шума лампы в низкочастотной области.

Является крайне нежелательным использование цепей общей ОС в усилителе для формирования частотной характеристики.

Допустим, коэффициент передачи усилителя равен 3000 и частотонезависим. Желательный модуль коэффициент передачи на частоте 20Hz равен 900, а на частоте 20kHz – 9, это соответствует стандартной характеристики RIAA. Зная эти параметры, легко вычислить необходимую глубину ООС на разных частотах. Получается, что на частоте 20Hz глубина ОС равна 10.45dB, а на частоте 20kHz – 50.45dB. Но изменение глубины ООС приводит и к изменению других параметров усилителя – модуля входного и выходного сопротивления, коэффициента гармоник. В результате мы получаем частотную зависимость параметров усилителя, что крайне нежелательно при сигнале с широким спектром. Для наглядности посмотрим, как будет меняться выходное сопротивление усилителя с последовательной ООС по напряжению (часто используемый вариант) и выходным сопротивлением усилителя без ООС – 1кОм. На частоте 20Hz выходное сопротивление равно 187.5 Ом, а на частоте 20kHz – 3 Ома.

Когда коэффициент усиления усилителя без ООС очень велик (например, используется ОУ), изменение параметров усилителя не влияют так катастрофически за счет того, что глубина ООС остается достаточно большой во всем рабочем диапазоне частот. Но наличие глубокой ООС порождает другие проблемы, связанных с эффектом «размножения» спектра, так что в любом случае, использование частотозависимой ООС в корректоре нежелательно.

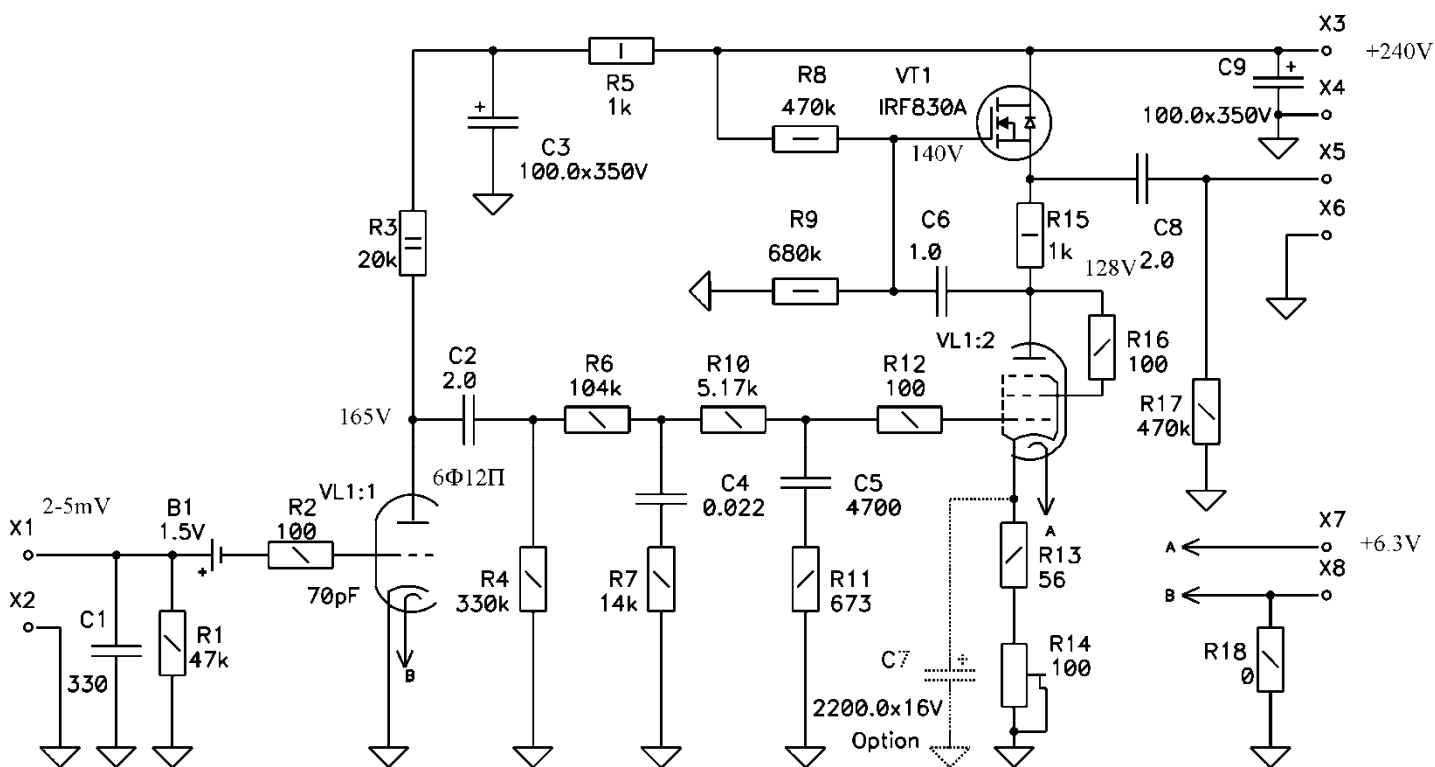


Рисунок 1

Входной каскад

При проектировании первого каскада надо решить три основных вопроса: какую лампу использовать, какое он должен иметь усиление и как обеспечить режим лампы по постоянному току.

В общем, является постулатом, что шумовые характеристики усилителя, в основном, определяются первым каскадом и желательно в первом каскаде получить максимальное усиление. С точки зрения

шумов самой лампы, конечно, целесообразно использовать триод с большой крутизной характеристики. И еще надо учесть три фактора: во-первых, каскад должен обеспечивать большую перегрузочную способность (сигнал с головки еще не прошел частотную коррекцию) при хорошей линейности, во-вторых, надо стремиться получить маленькую динамическую входную емкость каскада, в третьих, желательно иметь малое выходное сопротивление.

С первым пунктом все понятно, а вот на второй и третий пункт требований хочу обратить внимание, так как про них часто забывают. Большинство головок звукоснимателей имеет вполне определенные требования по емкости нагрузки, и величина этой емкости определяет вид частотной характеристики системы головка - корректор в области высоких частот. В общем случае, входная емкость каскада зависит не только параметров лампы, но и от параметров нагрузки, то есть является функцией частоты. Хотя влияние это и незначительно, но при неудачном сочетании параметров может оказывать заметное влияние на частотную характеристику в области высоких частот. И, кстати, следует не забывать устанавливать (и подбирать) дополнительную емкость на входе корректора (C1), обеспечивающую оптимальную емкость для конкретной головки. При расчете дополнительной емкости, кроме входной емкости корректора, надо учитывать емкость соединительного кабеля.

Низкое выходное сопротивление первого каскада не только расширяет диапазон пригодных номиналов для частотнокорректирующей цепи, но и через разделительную емкость C2 шунтирует шумовые ЭДС относительно высокоомных резисторов R4, R6. Обратите внимание, что для этого сеточный резистор лампы VL1:2 (R4) вынесен перед частотнокорректирующей цепью, а величина емкости C2 выбрана заведомо больше, чем необходимо для получения нужных частотных характеристик корректора.

По сумме требований, во входной каскад лучше всего подходят триоды с крутизной характеристики более 10mA/V и коэффициентом усиления более 35. Это позволяет получить коэффициент усиления первого каскада на уровне 27÷40. Фактически получается, что усиление между каскадами распределяется приблизительно поровну.

Режим работы лампы по постоянному току можно задать двумя способами – используя автоматическое смещение и фиксированное.

С точки зрения «музыкальности», шумовых характеристик, линейности каскада предпочтительнее фиксированное смещение. Очевидным неудобством такого решения можно условно считать необходимость периодической замены батареи (раз в три - четыре года), но с другой стороны, ведь никого не смущает необходимость замены батарейки в часах или пульте. Менее очевидное неудобство - необходимость подбора ламп, так как смещение невозможно регулировать. Эти неудобства с лихвой компенсирует финансовый вопрос: эквивалентная стоимость реализации батарейного смещения на порядок дешевле, чем реализация смещения автоматического.

Хочу отметить, что батарею смещения надо включать в цепь сетки (как показано на схеме). В некоторых схемах я встречал батарею смещения, включенную в катод лампы, такое решение имеет два отрицательных момента. Во-первых, протекание тока лампы через батарею приводит к ее довольно быстрому разряду, во-вторых, протекание тока лампы через батарею (особенно в конце срока ее службы) может приводить к ухудшению шумовых параметров корректора.

Но вернемся к автоматическому смещению. Включение резистора смещения в цепь катода лампы приводит к возникновению местной ОС, которая ухудшает шумовые характеристики каскада. Здесь нет противоречия, так как источник шумовой ЭДС находится непосредственно внутри петли ОС. Кроме того, это приводит к нежелательному уменьшению усиления каскада. Для устранения этих проблем резистор шунтируют емкостью большого номинала, но так как тепловой шум имеет очень широкий спектр, на инфранизких частотах возникают флуктуации режима лампы (бывает, из динамика можно услышать звук, напоминающий шум моря). Кроме того, цепи автоматического смещения с резистором страдают еще одной болезнью – величина смещения немного зависит от уровня сигнала. Связано это с наличием четных гармоник в токе лампы.

Проблема сдвига напряжения смещения от уровня сигнала решается достаточно просто - включением вместо резистора эквивалента источника ЭДС (светодиод, стабилитрон), но это не устраняет флуктуации режима лампы. Да и наличие непосредственно в цепи сигнала электролитического конденсатора, имеющего свои максимальные искажения на низких частотах, является минусом.

На входе первого каскада (да и в последующих тоже) необходимо обязательно включать низкоомный помехоподавляющий резистор в цепь сетки (R2, R12). Совместно с входной емкостью лампы он образует фильтр, хорошо подавляющий высокочастотные помехи. Понятно, что каскад не усилит сигнал с частотой в сотни мегагерц, но эта помеха, детектируясь на нелинейностях лампы, порождает шум и искажения, попадающие в звуковой диапазон частот.

Столь долгий разговор, посвященный первому каскаду, вполне оправдан. Корректор имеет на низких частотах достаточно большое усиление и не имеет ООС, и все, что мы немного «испортим» вначале, будет потом многократно усилено.

Частотнокорректирующая цепь

В корректоре используется пассивная корректирующая цепочка, выполненная на элементах R6, R7, R10, R11, C4, C5. Компоненты R6, R7, C4 задают первые две постоянные времени в низкочастотной области, а компоненты R10, R11, C5 задают две вторых постоянных времени в высокочастотной области. Фактически, реализована характеристика eRIAA. С указанными на схеме номиналами отклонение от стандарта не превышает 0.1dB. Для облегчения подбора компонентов емкости выбраны из ряда E6, номиналы резисторов соответствуют ряду E192, но их вполне можно составить из нескольких резисторов, включенных в параллель. Точность подбора компонентов должна укладываться в 1% допуск.

Теперь коснемся вопроса выбора номиналов компонентов корректирующей цепи. Здесь существует ряд ограничений, связанных с входным сопротивлением корректирующей цепи и возможности ее физической реализации при заданных погрешностях частотной характеристики. Совершенно очевидно, что входное сопротивление корректирующей цепочки имеет комплексный характер и зависит от частоты. В качестве примера на рисунке 2 показана зависимость модуля входного сопротивления от частоты для цепи, используемой в корректоре.

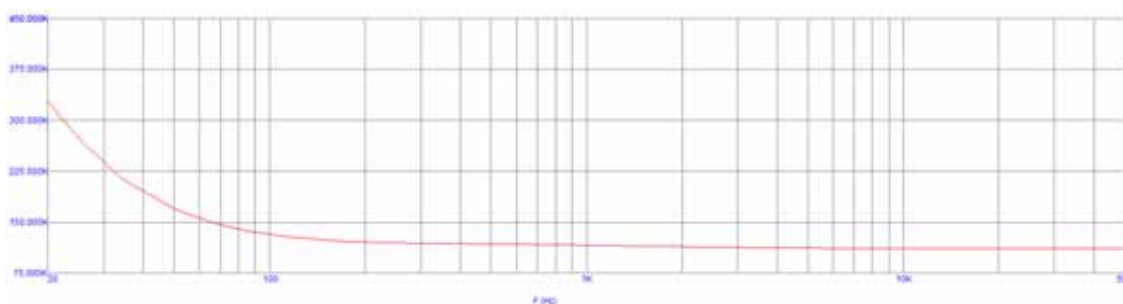


Рисунок 2

Как вы видите, в области низких частот модуль входного сопротивления (нагрузка первого каскада) меняется почти в 3.5 раза и, естественно, это будет отражаться на параметрах входного каскада. Чтобы минимизировать это влияние, минимальное входное сопротивление цепи надо выбирать на порядок - два выше, чем выходное сопротивление каскада. В области средних частот входное сопротивление цепи практически полностью определяется резистором R6. Поэтому, задавшись номиналом этого резистора, вычисляются номиналы емкостей, выбирают ближайшее значение из стандартного ряда и пересчитывают номинал резистора.

Фактически, наша сложная корректирующая цепь состоит из двух цепочек и, естественно, они оказывают влияние друг на друга.

Не вдаваясь в подробное и точное математическое обоснование, условия физической реализуемости можно ориентировочно определить очень просто – вторая емкость корректирующей цепи должна быть меньше первой хотя бы в 4 раза. Но чересчур уменьшать емкость C5 не стоит, так как на частотные параметры цепочки начнет оказывать сильное влияние емкость монтажа и входная емкость лампы. Я бы рекомендовал минимальное значение в 1000pF.

Выходной каскад

Кроме усиления сигнала, на выходной каскад возлагается еще одна важная функция - согласование с нагрузкой. Оставлять «наедине» классический резистивный каскад с выходным сопротивлением в несколько килоом с комплексным сопротивлением нагрузки совершенно неправильно, и обрекает будущего владельца на бесконечные муки по подбору и сравнению межблочных кабелей. Хочу обратить внимание читателей, что емкость межблочного кабеля будет влиять не только на частотные характеристики самого выходного каскада, но и на параметры частотной коррекции через входную емкость лампы, что может приводить к совершенно необъяснимым на первый взгляд результатам при использовании кабелей с разной погонной емкостью.

Наиболее подходящим в нашем случае будет каскад с динамической нагрузкой (SRPP). В каскаде удачно сочетается повышенная линейность, большое усиление и низкое выходное сопротивление. Так как работа такого каскада подробно описана во многих публикациях, то я задержу ваше внимание только на особенностях реализации этой конкретной схемы.

Основным отличием от классической реализации является замена катодного повторителя на истоковый. *Сразу хочу сказать, что использование истокового повторителя не отразилось отрицательно на звуковых качествах каскада, я это специально проверил прямым сравнением двух вариантов корректора.* Повторитель на полевом транзисторе обладает лучшими характеристиками, так как крутизна транзистора даже при малых токах значительно выше, чем крутизна лампового триода. Коэффициент передачи повторителя получается близким к единице, и эквивалентное сопротивление в аноде лампы получается достаточно большой величины, это позволило организовать автоматическое смещение (R13, R14) без использования шунтирующего конденсатора. Хотя наличие не шунтированного резистора в цепи катода и вводит местную обратную связь, ее глубина получается очень маленькой (0.3÷0.4dB) и не оказывает существенного влияния на параметры каскада. При желании ОС можно выключить, зашунтировав резистор емкостью (C7).

Еще одним положительным моментом является то, что истоковый повторитель сохраняет линейность при меньших рабочих напряжениях, это позволило обеспечить большой размах выходного напряжения при умеренном напряжении питания.

Технические параметры корректора

Коэффициент усиления (1kHz)	≈ 300
Рекомендуемый уровень входного сигнала	1.5÷5mV
Входное сопротивление	47kΩ±1%
Коэффициент нелинейных искажений (1kHz, U _{out} =1V _{rms})	0.05%
Коэффициент нелинейных искажений (1kHz, U _{out} =10V _{rms})	0.5%
Уровень шума (не взвешенный)	-64dB
Перегрузочная способность	+40dB
Максимальное выходное напряжение	45V _{rms}
Выходное сопротивление	≈ 280Ω
Номинальное сопротивление нагрузки	47kΩ
Минимальное сопротивление нагрузки	10kΩ
Отклонение характеристики от стандартной (20Hz - 50 kHz)	±0.1dB

Измерение параметров корректора проводилось на эквиваленте нагрузки 47кОм, 75pF при питании от стабилизированного источника с малым уровнем шума. Характер искажений, вносимых корректором при разном уровне выходного сигнала (1Vrms и 10Vrms) показан на рисунках 3 и 4.

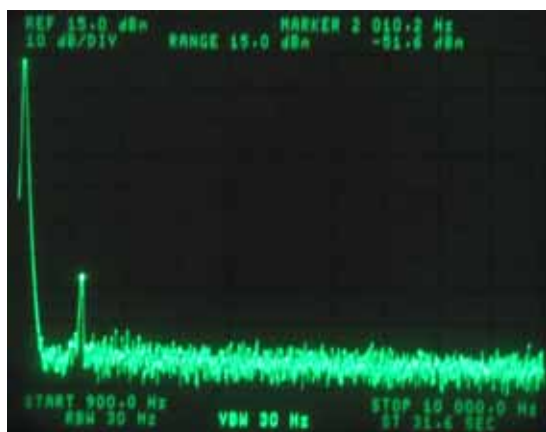


Рисунок 3

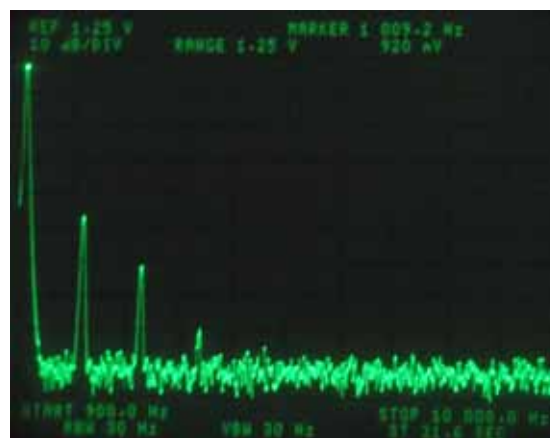


Рисунок 4

Теперь можно подвести небольшой промежуточный итог, касающийся непосредственно корректора. Хотя корректор позиционируется как простой, можно даже сказать, начального уровня, его объективные характеристики далеко выходят за рамки этого определения. И честно говоря, он может дать фору многим более дорогостоящим устройствам. Определенную дискуссию может вызвать несколько завышенный коэффициент усиления, но в сочетании с огромной перегрузочной способностью и малым уровнем собственных шумов это оборачивается достоинством. Корректор можно непосредственно подключать к оконечным усилителям с низкой чувствительностью, и он способен успешно работать с широким спектром головок с разным уровнем выхода. Устройство получилось достаточно универсальным и гибким в применении.

Источник питания

Для простого корректора источник питания тоже должен быть простым. Поэтому в качестве базового варианта предполагается использовать стандартные трансформаторы серии ТАН. Для источника подойдут трансформаторы, имеющие две накальные обмотки с допустимым током более 0.8А и высоковольтную обмотку с допустимым током более 60 мА. Имеется в виду, что нужное анодное напряжение можно получить последовательным соединением вторичных обмоток. Под такие требования попадает множество типов трансформаторов с номинальной мощностью более 30 ватт.

Собственно схема источника показана на рисунке 5. Номиналы резисторов R1 и R2 не указаны и подбираются в зависимости от используемого трансформатора для получения нужного напряжения при номинальном токе потребления схемы.

Два канала корректора потребляют ток по цепи накала приблизительно 0.7А, а по анодной цепи – 0.027А.

И еще, я хочу **очень, очень** рекомендовать не пытаться собрать источник питания на одном шасси с корректором, а сделать двухблочную конструкцию. Блоки соединяются многожильным экранированным кабелем, причем каждое напряжение подается отдельной парой проводов.

Общеизвестно, что от качества источника питания существенно зависит качество звука, и вот здесь открывается широкое поле деятельности по повышению общего уровня корректора. Можно наметить основные пути улучшения параметров источника питания.

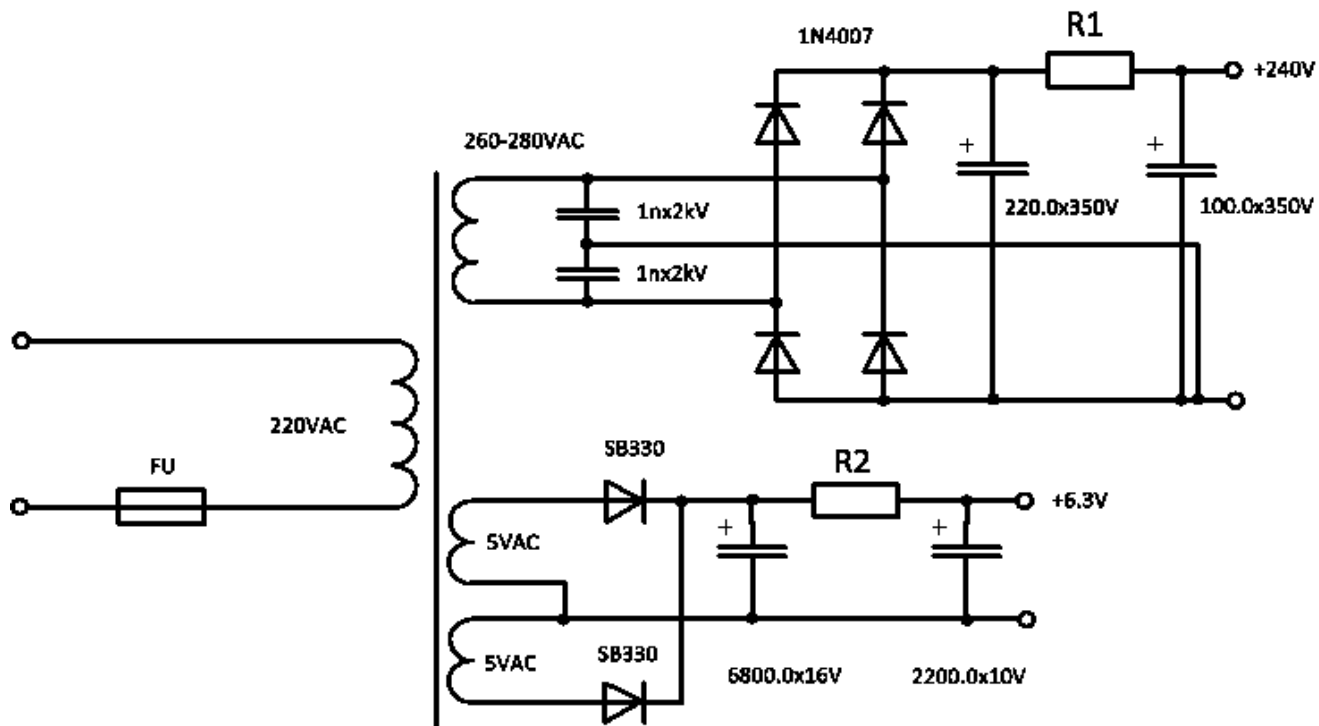


Рисунок 5

Целесообразно заменить резистор R1 на дроссель с индуктивностью $10 \div 15$ Г. Если вам посчастливится найти трансформатор с двумя подходящими одинаковыми высоковольтными обмотками, то высоковольтный выпрямитель лучше сделать по нулевой схеме, удалив симметрирующие емкости.

Кардинальное улучшение качества источника питания и перевод всей конструкции на более высокий уровень сразу на несколько ступенек даст использование стабилизаторов в цепи накала и анодного напряжения. Для стабилизации напряжения накала можно использовать стандартный трехвыводной стабилизатор (LM317), а для стабилизации анодного напряжения - любой из стабилизаторов, описанных на сайте.

Окончательной точкой в улучшении параметров источника станет замена твердотельного выпрямителя на кенотрон в купе со всеми предыдущими улучшениями. Но это уже потребует изготовления силового трансформатора, и сложность системы питания будет выше, чем самого корректора. В общем, такую конструкцию уже нельзя будет отнести к разряду простых, и возможность следования по этому пути (хотя результат того стоит) я оставляю на усмотрение читателей.

Детали, конструкция, наладивание

Выбор типов элементов, в основном, зависит от поставленной задачи.

Если ваша основная цель - порадовать воображение окружающих названиями громких аудио брендов, то электролитические емкости - Black gate; пленочные емкости - Solen, Mundorf, Jantzen; резисторы : что-нибудь вроде Allen-Bradley Carbon-composite годов 50-х.

Если вам достаточно наслаждаться только музыкой, то выбор типов компонентов значительно шире и цены на них демократичнее.

Электролитические емкости системы питания производства Nichicon или Panasonic из серий с низкими потерями, в принципе, можно начать и с совсем дешевых емкостей Jamicon и им подобных. И я совсем не уверен, что вы услышите разницу. Остальные емкости, конечно, пленочные или слюдяные (малых номиналов). Из старых типов емкостей – ФТ (имеют устрашающие размеры), К78-2, СГМ, К31,

К71. Импортные полипропиленовые (одни из лучших типов – WIMA МКР 4, МКР 10, FKP 1) и полистирольные емкости.

Резисторы можно использовать типов MOR (ROYALOHM) или их аналоги С2-23. Хорошие параметры имеют резисторы типа SFR (ROYALOHM), использование этого типа резисторов предпочтительно. Отличные шумовые характеристики и высокую линейность имеет бороуглеродистые резисторы типа БЛП.

Подстроечный резистор – многооборотный, подойдут резисторы типа 3290÷3296 (Bourns), а еще лучше – проволочный резистор типа СП5-2, СП5-3.

Ламповые панельки лучше использовать керамические типа ПЛК-9. Очень не рекомендую использовать китайские панельки современного производства, единственное их достоинство – красивый внешний вид, лампы они удерживают плохо и качество контакта в соединении вызывает сомнения.

Корректор можно смонтировать как на печатной плате, так и навесным монтажом с использованием выводов деталей и промежуточных расшивочных гребенок. Мощность, рассеиваемая на транзисторе, не превышает одного ватта, так что он вполне может обойтись без дополнительного охладителя. При монтаже корректора надо придерживаться общих правил монтажа устройств с высокой чувствительностью: максимально разносить компоненты, относящиеся к входным и выходным цепям, питание должно распространяться навстречу сигналу, для общего провода использовать достаточно массивный проводник. Общий провод должен соединяться с шасси в одной точке в районе входных разъемов.

Корректор должен быть хорошо экранирован, так что оптимальным вариантом будет сплошной металлический корпус (естественно с жалюзи). Если вам сильно хочется, чтобы лампы были видны или есть подходящее открытое п-образное шасси, то лампы в обязательном порядке должны быть закрыты экранирующими колпаками. Хорошим вариантом будет использование панелек типа ПЛК-9Э со штатными экранами. Корпус (шасси) корректора надо снабдить мягкими резиновыми ножками или изготовить ножки из толстого войлока для уменьшения микрофонного эффекта. Уменьшению микрофонного эффекта и паразитных акустических связей способствует размещение корректора в деревянном декоративном корпусе (и глаз радует) и общее увеличение массы конструкции.

Конструкция источника питания может быть произвольной. Межблочный кабель питания надо делать длиной не менее 0.5÷0.7 метра, чтобы отнести источник питания подальше от корректора и проигрывателя.

Налаживание корректора не вызывает особых затруднений, и требуется для этого единственный прибор – мультиметр. Настройка разбивается на два этапа.

На первом этапе необходимо уточнить номиналы резисторов R1 и R2 в блоке питания. Для этого в схему временно устанавливается резистор R1, равный 2 кОм 2 ватта, и R2, равный 2 Ом 5 ватт. К выходу источника питания подключаются эквиваленты нагрузок (9.1 кОм, 10 Ом), и источник включается в сеть при номинальном напряжении. Измеряется напряжение на емкостях после выпрямителя (U1) и на выходе. По результатам измерений ориентировочно определяется необходимый номинал резистора -

$$R = \frac{U1 - Un}{In}$$

Где, Un и In – номинальное напряжение и ток на выходе канала.

Возможно, эту операцию придется повторить несколько раз, так как жесткость выпрямителя здесь не учитывается. Окончательно номинал резистора уточняется после подключения корректора. Номинальная мощность рассеяния резистора фильтра должна быть в 3÷4 раза больше, чем фактически рассеиваемая на нем мощность.

На втором этапе устанавливается режим работы корректора. Движок резистора R14 устанавливается в среднее положение, корректор включается в сеть, и после нескольких минут прогрева устанавливается резистором R14 напряжение около 130 на аноде лампы VL1:2. Потом проверяется напряжение питания, и в случае необходимости, оно корректируется резистором R1 в источнике, и повторно устанавливается напряжение на аноде лампы VL1:2. Операцию повторяют несколько раз, пока при номинальном напряжении сети напряжение питания не будет близким к величине 240 вольт, а напряжение на аноде лампы – 130 вольт. Отклонение в 5-6 вольт вполне допустимо.

После этого контролируют напряжение накала и корректируют его величину, а также проверяют напряжение на аноде лампы VL1:1. Допускается отклонение напряжения на аноде VL1:1 на $\pm 15\%$.

На этом налаживание можно считать законченным. После 15÷20 часов работы корректора (время, необходимое для стабилизации параметров лампы) желательно подстроить напряжение на аноде лампы VL1:2.

Заключение

Конечно, охватить весь спектр вопросов, связанных с проектированием и изготовлением ламповых корректоров в одной статье невозможно. Я постарался свести воедино хотя бы основные вопросы и показать самые большие подводные камни и надеюсь, что приведенный материал будет полезен любителям ламповой техники. Хочу заметить, что хотя твердотельные устройства имеют свои особенности, многие рекомендации можно распространить и на них без всяких ограничений.

Хотя схема корректора очень простая, и после прочтения статьи может показаться, что повторить устройство очень просто, на самом деле все совсем не так. Всякие мелкие неприятности начинаются с первого шага, начиная от отсутствия нужных номиналов и темного происхождения компонентов, кончая необходимостью иметь десяток ламп для подбора. Еще одной спецификой изготовления корректора является необходимость все сразу делать хорошо и правильно. Сборка схемы на картонках и дощечках - это первый большой шаг к первому большому разочарованию.

И скорее всего эту удачную схему постигла бы участь других конструкций - ограниченное число людей решились бы ее повторить, а единицы - довели дело до конца, если бы не неожиданная поддержка со стороны фирмы [Ampearl](#). Фирма решила рискнуть, и на базе этой схемы выпустить в продажу набор для самостоятельной сборки. Естественно, это получило горячую поддержку с моей стороны. Такая постановка вопроса существенно меняет дело, наличие готовых качественных печатных плат и комплекта деталей гарантированного качества делает возможным сборку корректора даже любителям, не имеющим высокой квалификации. Кроме того, такой набор становится прекрасным полигоном для испытания звуковых качеств компонентов разного типа. И конечно, здесь немаловажным является финансовый вопрос, приобрести готовый корректор такого уровня за 576 гривен (72\$) просто нереально. Предполагается возможность комплектования набора готовыми корпусами (корректора и источника питания) и выпуск полностью готовых устройств с весьма демократичной стоимостью.

Литература

- Morgan J., Valve Amplifier Third edition, 2003
Lande R.W., Davis D. C., Albrecht A.P., Electronic designers' handbook, 1957.
Ламповые Усилители, под ред. В.И. Сушкевича, М., Сов. Радио, 1951
Войшвилло Г.В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, Связьиздат, 1963.
Рогинский В.Ю., Экранирование в радиоустройствах, Л., Энергия, 1969.
[Ложников А.П., Сонин Е.К., Каскодные усилители, М.-Л., Энергия, 1964.](#)