

# CRYSTAL START-2

*Евгений Карпов*

Простой ламповый фонокорректор

## Предисловие

С момента опубликования схемы “Start” прошло уже достаточно много времени, схема была многократно повторена разными людьми, и накопилось небольшая статистика по замечаниям и пожеланиям. И в какой-то степени я сам немного поумнел, и взгляд на некоторые вещи изменился. Собственно, базовый подход не поменялся, но приоритетность задач при проектировании уже стала немного другой.

Если вернуться к корректору, то меньше всего претензий было к качеству звука, и значительно больше вопросов вызвало его повторение (несмотря на то, что схема предельно проста). “Start” оказалась вещью в себе – лампа 6Ф12П не имеет даже приблизительных аналогов, сосредоточенная цепь коррекции требует применения конкретных номиналов емкостей или полного пересчета, и определенные проблемы вызывало избыточное усиление. Для МС картриджей это было мало, а для ММ – много, что усложняло встройку корректора в тракт. Естественно, я попытался модернизировать “Start” и сделать его более «дружелюбным» для повторения. Часть задуманного реализовать получилось, а вот избыточное усиление простыми способами и без ущерба для звука уменьшить не удалось. В итоге – схема стала совершенно другой.

### Схема корректора

Схема корректора приведена на рисунке 1. Идеология существенно не поменялась – корректор двухкаскадный. Но теперь используются отдельные лампы для входного и выходного каскада. Это и облегчает подбор ламп в пары, и дает возможность использовать другие типы ламп с близкими параметрами.

Первый каскад реализован по классической схеме с общим катодом и фиксированным смещением. Смещение лампе задает падение напряжения на светодиоде VD1. При желании можно вернуться и к батарейному смещению с небольшой коррекцией номинала анодного резистора. Так как лампа 6Н1П совсем не рекордсмен по уровню шумов, то для частичной компенсации этого факта оба триода лампы включены параллельно. Для удобства подстройки входной емкости корректора сразу на входе установлен набор емкостей, коммутируемых джамперами. Вместо лампы 6Н1П можно применять 6Н23П и ее импортные аналоги.

Корректирующая цепочка, формирующая нужную АЧХ корректора, теперь разделена на две части. Первый каскад нагружен на корректирующую цепь R5, R6, R10, R11, C7, задающую постоянные времени 3180μS и 318μS. Вторая корректирующая цепочка R12, R13, C9, задающую постоянную времени 75μS, интегрирована в выходной каскад.

В каком-то смысле – решение спорное, так как уменьшает перегрузочную способность корректора. Но учитывая высокую перегрузочную способность базового усилителя (порядка 26dB) и зависимость ЭДС картриджа от колебательной скорости – это не приводит к заметному ухудшению качества звука. На частоте 1кГц корректор уже имеет перегрузочную способность 40dB, что вполне достаточно.

Но разделение корректирующей цепи имеет несколько важных преимуществ. Так как корректирующие цепи развязаны, появляется некоторая свобода как в выборе их параметров с точки зрения оптимизации нагрузки на возбуждающий каскад, так и выбора номиналов. В данном случае использованы номиналы емкостей из широко распространенного ряда Е6, что значительно облегчает их подбор и «добычу». Еще одним важным преимуществом такого построения схемы является отсутствие усиления по напряжению после второй корректирующей цепочки. Это весьма благоприятно сказывается на шумовых характеристиках корректора.

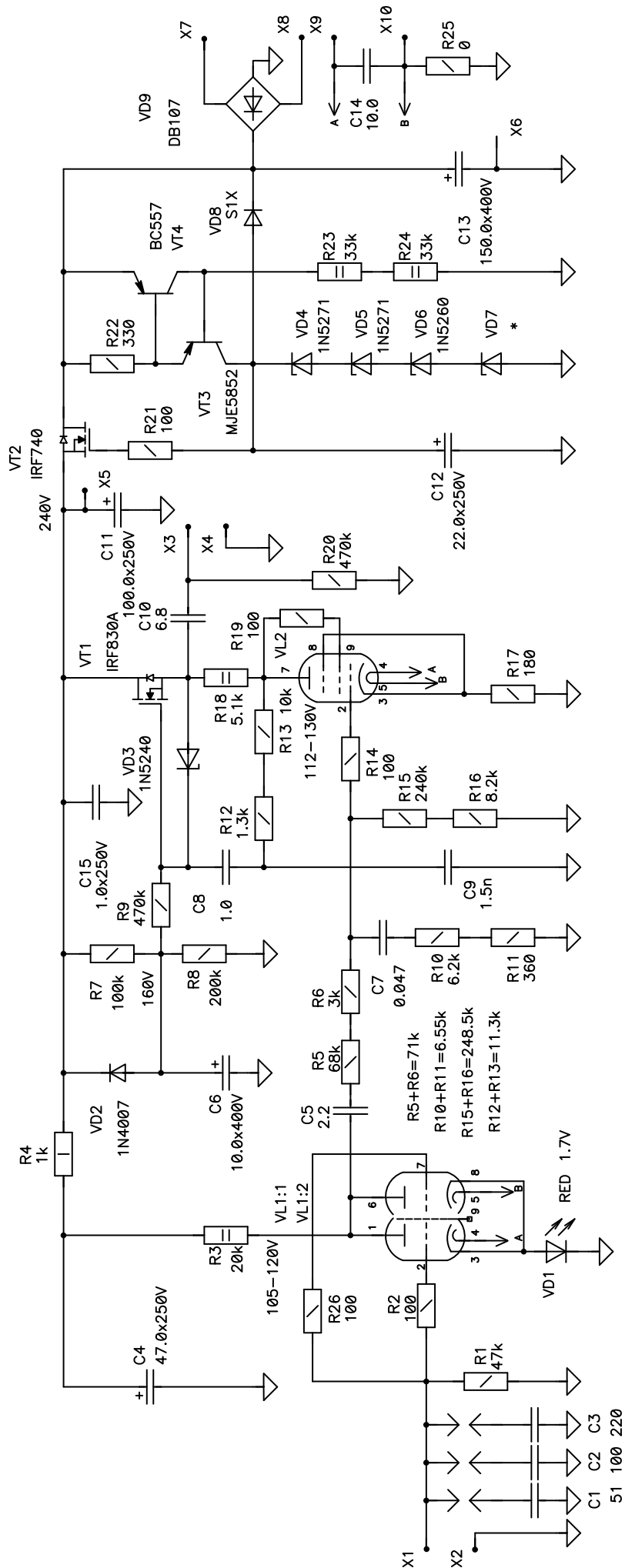


РИСУНОК 1

Выходной каскад реализован как гибридный каскад SRPP. Лампа 6Ж9П включена в триодном режиме и выбрана из-за широкого раскрытия анодных характеристик и малого уровня шумов, работает лампа с автоматическим смещением (R17). Так как в таком каскаде величина катодного резистора мало влияет на коэффициент усиления, то это позволило получить нужный режим лампы и обойтись без шунтирующей емкости. Режим работы транзистора VT1 по постоянному току задает делитель на резисторах R7, R7. Диод VD2 и стабилитрон VD3 – защитные.

Использование гибридной схемы не является обязательным, но позволяет снизить напряжение питания без ухудшения перегрузочной способности и получить достаточно низкое выходное сопротивление (в пределах единиц Ом). Это заметно ослабляет требования к параметрам межблочного кабеля. Борцам за чистоту ламповых рядов хочу сразу сказать, что какого-либо профита по звуку от замены транзистора на лампу они не получают. Зато получают внутреннее удовлетворение, необходимость повышения напряжения питания и увеличенное выходное сопротивление.

В схему корректора был сразу интегрирован стабилизатор анодного напряжения с выпрямителем и фильтрующей емкостью. Стабилизатор собран по простейшей параметрической схеме. Выходное напряжение задается цепочкой стабилитронов VD4-VD7 в затворе проходного транзистора VT2, которые питаются от источника тока (около 2mA) на транзисторах VT3, VT4. Емкость C12 шунтирует собственные шумы стабилитронов и обеспечивает плавное нарастание анодного напряжения. Если выбрать номинал этой емкости больше, то появится задержка подачи анодного напряжения. Несмотря на простоту, схема имеет прекрасный частотный отклик, низкий уровень шумов и достаточно высокий коэффициент подавления пульсаций (около 500). Минимальный запас по напряжению на входе стабилизатора (с учетом пульсаций) – 10 вольт.

Использование стабилизатора, кроме очевидных преимуществ: повышение стабильности работы корректора при изменении напряжения сети и уменьшения перекрестных помех, имеет и побочный положительный эффект. Стабильное анодное напряжение (была специально выбрана величина 240 вольт) позволяет использовать емкости на стандартное напряжение 250 вольт без запаса, что существенно снижает их стоимость и расширяет номенклатуру их типов.

Накал ламп питается выпрямленным не стабилизированным напряжением. Допустимый уровень пульсаций напряжения накала – 30-50mV. Конечно, идеальным вариантом будет использование LDO стабилизатора (стабилизаторов)

В процессе наладки и испытаний корректора я пришел к выводу, что все-таки надо систему питания реализовывать в виде отдельной платы и, по возможности, относить подальше от самого корректора.

Если реализовать корректор точно по приведенной схеме, то вы получите устройство с коэффициентом передачи около 40dB на частоте 1 кГц (немного варьируется от параметров примененных ламп), с коэффициентом гармоник при выходном напряжении 1V порядка 0.005% с единственной второй гармоникой и отклонением АЧХ от заданной, не превышающем 0.4÷0.5dB. Ток потребления одного канала корректора около 14mA

### **Конструкция и детали.**

Следует иметь в виду: все, что будет сказано ниже, имеет исключительно рекомендательный характер.

Требования к монтажу и или трассировке печатной платы – стандартные для устройств с высоким коэффициентом усиления. Питание распространяется навстречу сигналу, переменная составляющая тока сигнала в каскаде должна замыкаться в пределах каскада по контуру минимальной длины, делать разводку общего провода звездой – не стоит. Я бы, конечно, рекомендовал печатную плату, а не навесной монтаж, что обеспечивает идентичность каналов по паразитным параметрам (и ошибкам ☺).

В любом случае, надо стремиться сделать монтаж или плату максимально компактной. Тестовый образец и был реализован по этим принципам (рисунок 2). Конструктивно мне оказалось удобнее каждый канал реализовать на отдельной плате, это оказалось удобнее и для оптимальной трассировки. Искать в этом решении какой-то скрытый смысл не надо, просто приглянувшаяся мне коробочка, в таком случае, требовала минимальных переделок. Следует учесть и то, что ламповые корректоры очень чувствительны к внешним наводкам (про всякие деревянные коробочки – следует сразу забыть), если лампы вынесены за пределы экранирующего корпуса, на них очень желательно надевать экранирующие колпачки. Если корректор реализован на печатной плате, то надо исключить жесткую механическую связь платы с корпусом для уменьшения микрофонного эффекта.

Транзисторы VT1, VT3 охладителей не требуют, транзистор VT2 надо установить на радиатор площадью 3-4 см<sup>2</sup>.

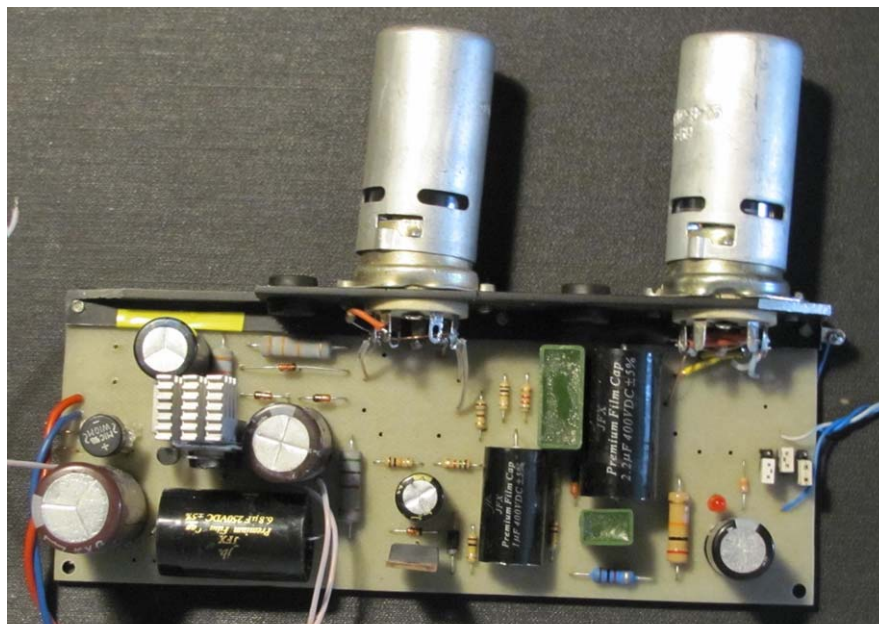


Рисунок 2



Рисунок 3

А вот так выглядит собранный корректор со снятой крышкой

При выборе комплектующих я исходил из принципа разумной достаточности, минимизации стоимости и доступности. При желании, стоимость комплектации можно раздуть до невероятных величин, я в этом не вижу (и не слышу) особой целесообразности.

В схеме используются угольные резисторы производства Royal Ohms серии cfr, имеющие хорошую линейность и малый уровень собственных шумов. Электролитические емкости производства Nichicon серии UCA или PW. Более дешевая, но не худшая альтернатива - SAMWHA серия RD или SD. Емкости в цепи сигнала (C5, C8, C10) серии JFX производства JB. Емкости числятся как специализированные для аудио. Как показала практика, при использовании их как разделительные с большим напряжением поляризации, по качеству звука они не уступают емкостям более именитых производителей при стоимости ниже в 3÷4 раза. Хорошей альтернативой будет использование емкостей WIMA серий МКР4, МКР10, FКР1. Емкости фильтра напряжения накала – любого производителя. Конденсаторы, задающие входную емкость корректора (C1÷C3), можно использовать керамические с характеристикой NPO и точностью ±5%

Особое внимание надо уделить элементам, от которых зависит АЧХ корректора, необходимая точность - не хуже 1%. Конечно, основной проблемой будут точные емкости. Оптимальный вариант – найти конденсаторы типа К71-7 нужного номинала, если есть чем измерить емкость с достаточной точностью, то, как показала практика, из десятка конденсаторов с точностью 5% вполне можно выбрать пару с нужным номиналом и допустимой погрешностью. Вполне подойдут и другие типы конденсаторов с полистирольным и полипропиленовым диэлектриком с минимальными паразитными параметрами. На крайний случай, можно выбрать пару емкостей с номиналом, близким к необходимому, и пересчитать номиналы резисторов.

С резисторами все намного проще, так как достаточно много моделей мультиметров имеют погрешность измерения сопротивлений в пределах 0.3÷0.5%. Оптимальный вариант - взять прецизионный резистор ближайшего (в меньшую сторону) номинала большего сопротивления в паре и подобрать к нему добавку из резисторов с 5% отклонением, чтобы получить необходимое суммарное сопротивление. Ничего особо страшного не произойдет, если просто подобрать пары из резисторов с 5% отклонением. Максимум, чем это грозит, незначительными отклонениями АЧХ при изменении температуры. Хотя в рекламных материалах любят указывать отклонения от характеристики RIAA в доли децибела, в реальной жизни, чтобы зафиксировать на слух отклонение и в 1 децибел – надо быть Величайшим ухом.

И несколько слов о системе питания. Высоковольтный выпрямитель со стабилизатором показан на рисунке 1. Его выходное напряжение определяется цепочкой стабилитронов VD4÷VD7, чтобы получить на выходе напряжение 240 вольт, напряжение на цепочке должно быть порядка 243÷244 вольта. Так как стабилитроны имеют довольно большой разброс напряжения стабилизации, то нужное напряжение получают подбором стабилитронов (рабочий ток около 2mA), и желательно это сделать до окончательного монтажа в схему. Комбинация напряжений стабилизации может быть любой. У меня получилась нужное напряжение при использовании трех стабилитронов на 75 вольт.

И небольшая ремарка относительно транзистора VT3. Использовать там такой мощный транзистор нет никакой необходимости (такой оказался под рукой), но следует учесть, что при пуске схемы (особенно при большой величине емкости C12) к нему прикладывается все напряжение выпрямителя, и пиковая мощность рассеяния может достигать 0.6÷0.8 ватта. Транзистор должен кратковременно выдерживать такую мощность. В принципе, подойдет любой транзистор структуры p-n-p с допустимым напряжением не менее 400 вольт и мощностью рассеяния более 1 ватта.

Выпрямитель накала собран по мостовой схеме (схема со средней точкой – предпочтительнее) на диодах Шоттки (5-ти амперных) и нагружен на RC фильтр. Сопротивление резистора порядка 0.3-0.8 Ома (уточняется при наладке), суммарная емкость фильтра - 20000µF.

Приводить точные данные силового трансформатора не буду, изготовление единичного экземпляра на «коленках» - и сильно хлопотно, и не гарантирует хорошего результата. Гораздо проще подобрать готовый трансформатор из серии ТАН или просто заказать по приведенным ниже данным. Номинальное напряжение сети – 220, или 230 вольт, на ваше усмотрение. Анодная обмотка – напряжение 225÷230 вольт при токе 70mA<sub>rms</sub>.

Накальная обмотка – напряжение 6.3 вольта при токе 3Arms.

Напряжения на обмотках указаны при номинальном напряжении сети. Очень желательно наличие в трансформаторе экрана, а если трансформатор заказной – то и пониженной индукции.

В итоге получилось вот такое устройство (Рисунок 4) в стиле студийной аппаратуры 50х÷60х годов без всяких «архитектурных» излишеств и гламурности.



Рисунок 4

Красиво или не красиво – сказать сложно, но какой-то шарм во внешнем виде есть, взгляд на корректор не вызывает отторжения и раздражения.

### Наладка

Если корректор собран без ошибок и использованы исправные комплектующие, то, как таковой, наладки не требуется. Правильнее будет сказать: проверка.

Первое включение корректора целесообразно производить с плавным поднятием сетевого напряжения до номинала, воспользовавшись лабораторным автотрансформатором. В первую очередь проверяют напряжения питания, если стабилитроны заранее не подбирались, то надо установить анодное напряжение 235÷242 вольта и уточнить номинал резистора в фильтре напряжения накала. Целесообразно сразу установить этот резистор с заведомо большим номиналом (около 1 ома) и потом уменьшить его до необходимой величины, чтобы получить напряжение накала  $6.3 \pm 0.1$  вольта.

Потом следует проверить напряжения на конденсаторе С6 (допустимо отклонение  $\pm 5$  вольт) и на анодах ламп. Если напряжения на аноде сильно отличаются от указанного на схеме, то, скорее всего, эта лампа не подойдет или неисправна. Все измерения по постоянному току проводят при закороченном входе корректора.

Если претензий к режимам нет, надо оценить уровень фона и шумов на выходе каналов (желательно иметь осциллограф, но можно это сделать и на слух). Уровень шума в области средних частот у корректора достаточно маленький (50÷100 микровольт), уровень очень низкочастотных дробовых шумов (единицы герц) зависит от качества ламп, а вот уровень фона – очень сильно зависит от правильности разводки и точек подключения общего провода к шасси и другим элементам. Не исключено, что придётся «поколдовать» с точками подключения. В тестовом образце в результате упорного колдовства размах напряжения фона на выходе не превышает 800 микровольт, что можно считать вполне удовлетворительным. При наличии осциллографа следует проверить и отсутствие самовозбуждения, что может возникнуть для некоторых партий ламп (факт удивительный - но факт).



Следующий этап - проверить коэффициент передачи каналов. Для этого на вход обеих каналов подают сигнал 1кГц  $5\div 20\text{mV}$  и контролируют уровень выхода, вполне допустим разброс в  $5\div 10$  процентов, на слух это зарегистрировать невозможно. При необходимости надо подобрать лампы, это обратная сторона медали отсутствия общей обратной связи. Как правило, наличие  $3\div 4$  ламп каждого типа позволяет выровнять коэффициенты передачи каналов без особых проблем.

Финальным аккордом может быть (а может и не быть) проверка АЧХ корректора на соответствие RIAA кривой. Почему может и не быть – потому что это требует наличия уже достаточно точного оборудования, которое не у всех имеется.

После завершения всех этих процедур можно начинать главный тест – субъективный. Что я хочу заметить, развязанные цепочки коррекции – развязывают конструктору руки. В принципе, можно подстроить АЧХ корректора под конкретный звуковой тракт. С технической точки зрения, это, конечно, не правильно. Но учитывая, что корректор изготавливается не для измерения АЧХ, то такой путь вполне возможен. Возможность такая есть, а делать это или нет – решать вам.

### **Заключение**

В этом проекте я попытался сохранить все лучшее, что есть в ламповых корректорах (короткий тракт, высокая перегрузочная способность, хорошая линейность без использования цепи общей обратной связи), и в то же время сделать схему более удобной для повторения и модифицирования. Не маловажным фактором было и требование бюджетности базового варианта.

Но вас не должно вводить в заблуждение слово «простой» в заголовке, схема действительно простая, но ее повторение требует наличия небольшого опыта в конструировании и наладке ламповых устройств и работе с высокими напряжениями.

По поводу субъективной оценки выводы такие. Звук лучше многих встроенных корректоров и гораздо лучше, чем у китайских коробочек за  $20\div 30\$$ . Если сравнивать с топовыми моделями, то здесь он, возможно, и проигрывает. Какой-то катастрофической разницы нет – все ровно и правильно, но звук «суше». В полной мере разницу можно оценить, если поставить два устройства рядом. Вообще, субъективная оценка – дело не благодарное, и собственную оценку можно поставить, только послушав корректор у себя в системе.