

# Кристалл Гибрид

*Евгений Карпов*

В статье рассмотрен вариант реализации гибридного RIAA корректора, в котором предпринята попытка совместить достоинства твердотельных и ламповых устройств.

Прежде, чем окунуться в технические тонкости, хотелось бы затронуть вопрос философский: а зачем вообще делать корректоры с использованием архаичных вакуумных ламп. Несмотря на впечатляющие объективные характеристики современных микросхем, да и вообще звуковоспроизводящей аппаратуры, простые схемы с короткими трактами на электронных лампах совсем им не проигрывают в субъективном тестировании, хотя имеют гораздо худшие объективные параметры. В принципе, это касается не только корректоров, но и других усилительных устройств.

Это наводит на разные крамольные мысли: или традиционный набор параметров, характеризующих объективное качество устройства, совершенно недостаточен, или это вообще не те параметры, и вообще, нужна ли эта погоня за тысячными долями процентов искажений, супер симметрией и мегагерцовыми полосами. В какой-то степени попытка ответить на этот вопрос предпринята в работе [Чивера](#), и, опираясь на свой опыт, я со многими его выводами согласен. Если продолжать развивать эту тему дальше, то можно сделать интересный вывод о том, что во главу угла при проектировании аудиоустройств следует ставить не столько достижение минимального уровня всех видов искажений, сколько получение комфортного звука. Хотя такое понятие, как «комфортный звук», весьма субъективно и носит статистический характер, но можно приблизительно определить зону его действия и объективные параметры, которые с ним сильно коррелированы.

Особенности передаточных характеристик электронных ламп да и самой схемотехники ламповых устройств позволяют получить желаемый результат довольно простыми способами. На этой основе построены различные «улучшатели» звука, когда в весьма линейный твердотельный тракт вводят элементы, объективно ухудшающие его параметры (электронные лампы или трансформаторы). Ситуация довольно парадоксальная – объективные параметры хуже, субъективное восприятие – лучше.

Но здесь главное – не переборщить. Опять же статистически, лучший субъективный звук имеют короткие ламповые тракты, и когда характер звука в основном определяет минимальное количество компонентов.

После небольшого отступления вернемся непосредственно к корректору. Так что же хотелось получить: минимальную длину звукового тракта, отсутствие общей ОС, большую перегрузочную способность, малый уровень шумов? В идеале - сосредоточить все усиление в первом и единственном каскаде. Для ММ головки с выходом 3-5 mV необходимо усиление порядка 1000 (в области низких частот). Такое усиление, даже с избытком, можно получить на одном каскаде с использованием пентода с достаточной крутизной и, допустим, источником тока в аноде.

Теоретически, каскад мог бы выглядеть, как показано на Рисунке 1. Источник тока в данном случае задает режим лампы по постоянному току. Если считать, что разделительная емкость достаточно велика, то частотнезависимый резистор R задаст максимальный коэффициент усиления каскада во всей рабочей полосе частот, а нужную частотную характеристику формирует реактивная цепь Z. При всей привлекательности такого решения его практическая реализация встречает ряд трудностей. Конечно, основная проблема – это высокий уровень шума, характерный для пентодов, вторая проблема – низкая стабильность режима из-за чрезмерного коэффициента усиления на постоянном токе.

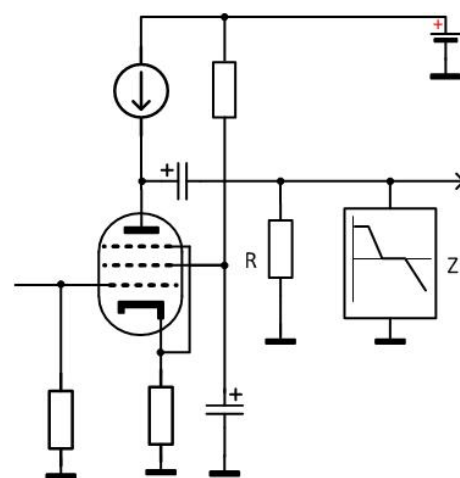


Рисунок 1

И если вопрос со стабильностью режима решается достаточно просто, а в некоторых случаях, этим можно просто пренебречь, то вопрос с шумовыми характеристиками обойти не удастся.

Высокий коэффициент усиления можно получить и от каскодной схемы, эквивалентные параметры которой часто сравнивают с каскадом на пентоде. Конечно, возникает немного риторический вопрос: каскодная схема - это два каскада или один сложный каскад? Но, так как нам важен результат, а каскодная схема позволяет получить нужное усиление при низком уровне шумов, то схема была преобразована в каскодную (Рисунок 2).

Из теории каскодных усилителей [1] известно, что уровень шума такой схемы, в основном, определяется шумовыми параметрами нижнего усилительного элемента. Чтобы в полной мере воспользоваться всеми преимуществами схемы, был использован малошумящий JFET транзистор. Это позволило получить уровень шумов, сравнимый с корректорами на твердотельных элементах. Положительные свойства решения на этом не заканчиваются. Использование JFET транзистора позволило обеспечить достаточно большой рабочий ток каскада, так как оптимум по шумовым характеристикам транзистора [2, 3] лежит в диапазоне единиц миллиампер, это благотворно сказывается на частотных свойствах каскада и низкочастотных шумах лампы.

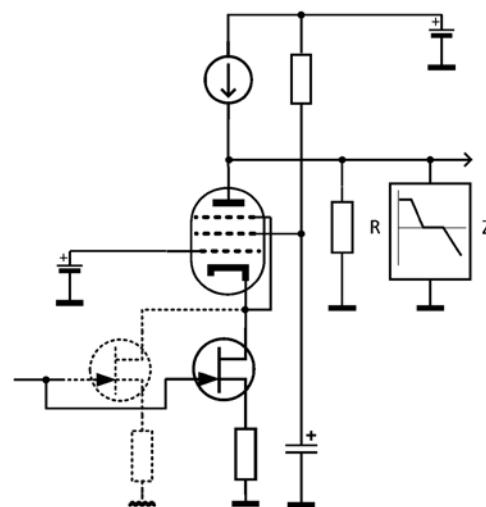


Рисунок 2

Кроме того, изменяя число параллельно включённых транзисторов, можно минимизировать уровень шумов в соответствии с предполагаемым сопротивлением источника сигнала.

Из каскада был исключен разделительный конденсатор, так как есть возможность компенсировать фиксированный постоянный ток, ответвляющийся в резистор R подстройкой источника тока, сохраняя при этом нужный режим лампы. Сам факт устранения конденсатора уже положителен, теперь резистор R задает усиление и на постоянном токе, а емкости частотнозадающей цепочки работают под большим поляризующим напряжением, что уменьшает влияние параметров диэлектрика конденсатора.

Каскад имеет высокое выходное сопротивление, расчетное значение – 4.1 мегома (что значительно превышает достижимые значения для каскада на пентоде). Фактически, каскад можно рассматривать как источник тока, управляемый напряжением с расчетной крутизной преобразования 8.4 mA/V. Это позволяет в пределах 10÷15% регулировать усиление (изменяя величину резистора R без изменения параметров корректирующей цепи), не оказывая существенного влияния на частотную характеристику, это значительно упрощает подбор активных компонентов.

Очевидно, чтобы исключить влияние последующего каскада на характеристики коррекции, он должен иметь большое входное сопротивление и минимальную собственную емкость. Так как нам дополнительного усиления не требуется, то естественным решением будет использование катодного или истокового повторителя. В принципе, например, при встраивании каскада в интегральный усилитель входное сопротивление последующего каскада может выполнять функцию резистора R (сотни килом), но требования по минимальной входной емкости (единицы ÷ десятки пикофард) остаются.

### Схема корректора

Полная схема корректора приведена на рисунке 3. На входе используются малошумящие подобранные JFET транзисторы 2SK170 (Toshiba), а вторым усилительным элементом – пентод 6BR7 (Brimar). И транзистор, и лампа были специально спроектированы для использования в малошумящих аудиоустройствах. Особенно интересна лампа, специально предназначенная для использования во входных каскадах микрофонных усилителей, которая кроме хороших звуковых свойств и малого уровня собственных шумов имеет уникально малый микрофонный эффект. Выходной повторитель (6Ж52П) работает с большим током покоя (порядка 30mA), что обеспечивает

низкое выходное сопротивление и безболезненную работу на значительную емкость межблочного кабеля.

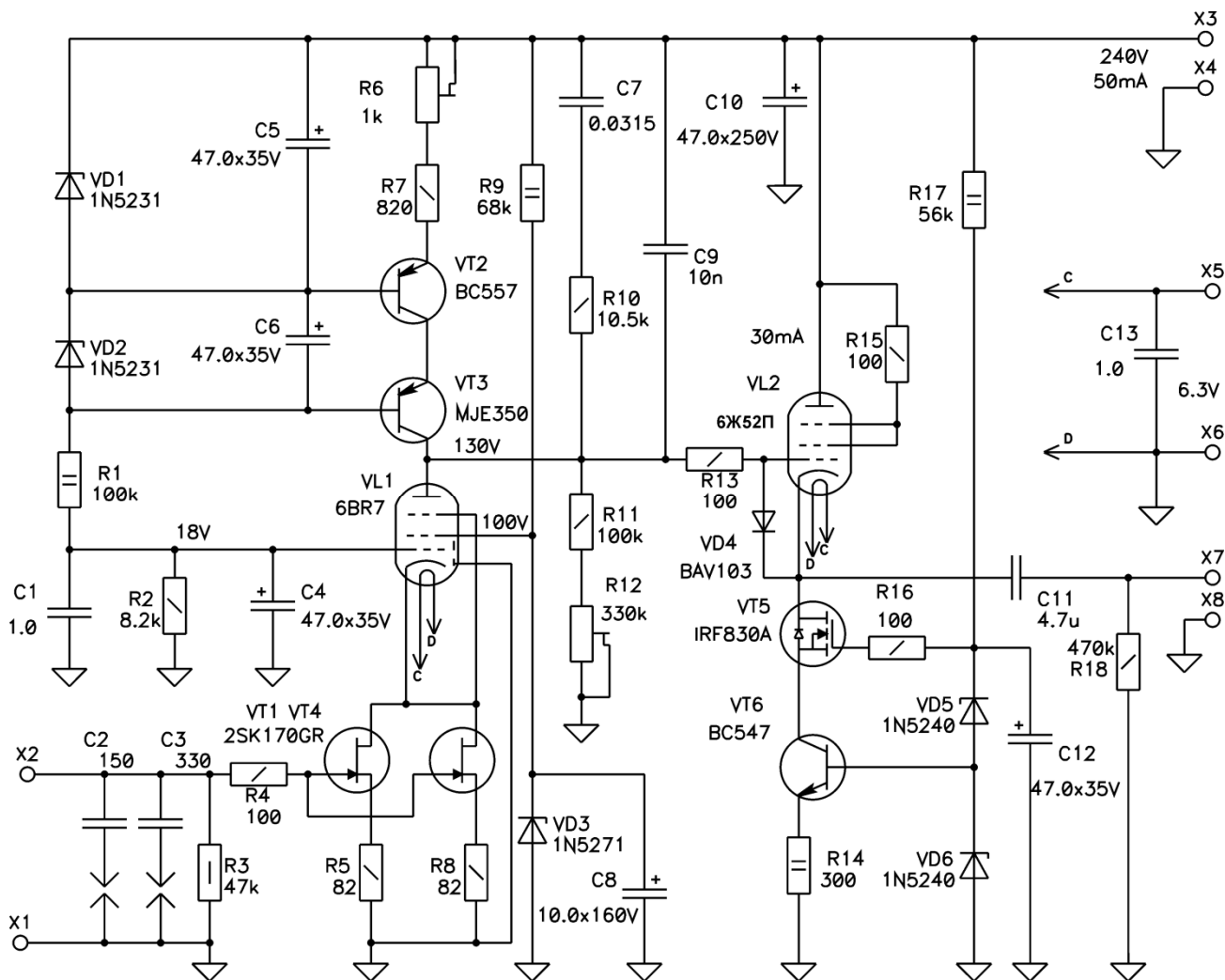


Рисунок 3

Корректор имеет весьма малый уровень гармоник (только вторая) и характер вносимых искажений, характерный именно для ламповых устройств.

На входе корректора предусмотрен селектор входной емкости для согласования с головкой.

Корректор имеет следующие параметры:

<b>Коэффициент усиления (1kHz)</b>	≈90
<b>Рекомендуемый уровень входного сигнала</b>	2÷5mV
<b>Входное сопротивление</b>	47kΩ±0.1%
<b>Входная емкость</b>	30÷500pF
<b>THD (1kHz, Uout=0.5Vrms)</b>	<0.1%
<b>Уровень шума (не взвешенный)</b>	-85dB
<b>Перегрузочная способность</b>	+34dB
<b>Максимальное выходное напряжение</b>	25Vrms
<b>Выходное сопротивление</b>	≈100 Ω
<b>Номинальное сопротивление нагрузки</b>	47kΩ
<b>Минимальное сопротивление нагрузки</b>	10kΩ
<b>Характеристики коррекции</b>	RIAA
<b>Погрешность характеристики</b>	±0.1dB

Конструктивно корректор реализован на печатной плате, транзисторы VT3 и VT5 снабжены охладителями. Для транзистора VT3 достаточно площади 1-2см<sup>2</sup>, и он установлен прямо на плате, для VT5 надо площадь 100-150см<sup>2</sup>, и он вынесен на шасси.

К источнику питания есть ряд принципиальных требований – источник должен быть стабилизирован, уровень пульсаций анодного напряжения не должен превышать 200-300 микровольт, уровень пульсаций напряжения накала не более 5-10 милливольт. Для стабилизации анодного

напряжения можно использовать любой из стабилизаторов, описанных на сайте. Для стабилизации напряжения накала подойдут стандартные трехвыводные стабилизаторы.

Настройка корректора, нельзя сказать, что очень сложная, но довольно хлопотная. Для настройки необходим низкочастотный генератор, милливольтметр и, конечно, мультиметр.

Устанавливают предварительно резисторы R6, R12 (необходимо использовать многооборотные) в среднее положение. Подают напряжения питания, и резистором R6 устанавливают на аноде первой лампы 130 вольт. Проверяют наличие и соответствие номиналу напряжений, указанных на схеме, отклонение в несколько вольт не имеет особого значения, контролируют ток выходного каскада – допустимый диапазон 27-35 мА. Дают прогреться схеме в течение 15 минут, корректируют напряжение на аноде VL1. Подают на вход сигнал с частотой 1 кГц, амплитудой 5мВ и измеряют уровень сигнала на выходе. Подают на вход сигнал с частотой 20Hz и резистором R12, устанавливают выходное напряжение в 10 раз больше (+20dB), чем на частоте 1 кГц. Одновременно резистором R6 поддерживают напряжение на аноде VL1, равное 130 вольт. Возвращаются на частоту 1 кГц, фиксируют значение выходного напряжения, опять переходят на частоту 20Hz и подстраивают уровень выходного напряжения до нужного значения. Операцию надо повторить несколько раз. В заключение, проверяют уровень выходного напряжения на частоте 20kHz. Оно должно быть в 10 раз меньше (-20dB), чем на частоте 1kHz. В случае необходимости уточняют номинал емкости C9.

Сразу хочу заметить, что использование лампы 6BR7 желательно, но не обязательно. Хорошо работают EF86 и 6Ж32П. В принципе, подойдут и другие малосигнальные пентоды, отвечающие следующим критериям: номинальное анодное напряжение - 130÷150 вольт, низкий уровень шумов, большая крутизна, максимально большое выходное сопротивление. Конечно, для других типов ламп оптимальные режимы понадобится определять заново.

Корректор получился достаточно аудиофильским и в плане звука, и в плане эксплуатации☺. Устройство требует 15÷20 минутного прогрева перед началом прослушивания. Хотя стабильность режимов по постоянному току оказалась вполне удовлетворительная (несколько устройств успешно работает уже достаточно длительное время), но долговременная стабильность, на мой взгляд, у схемы недостаточна.

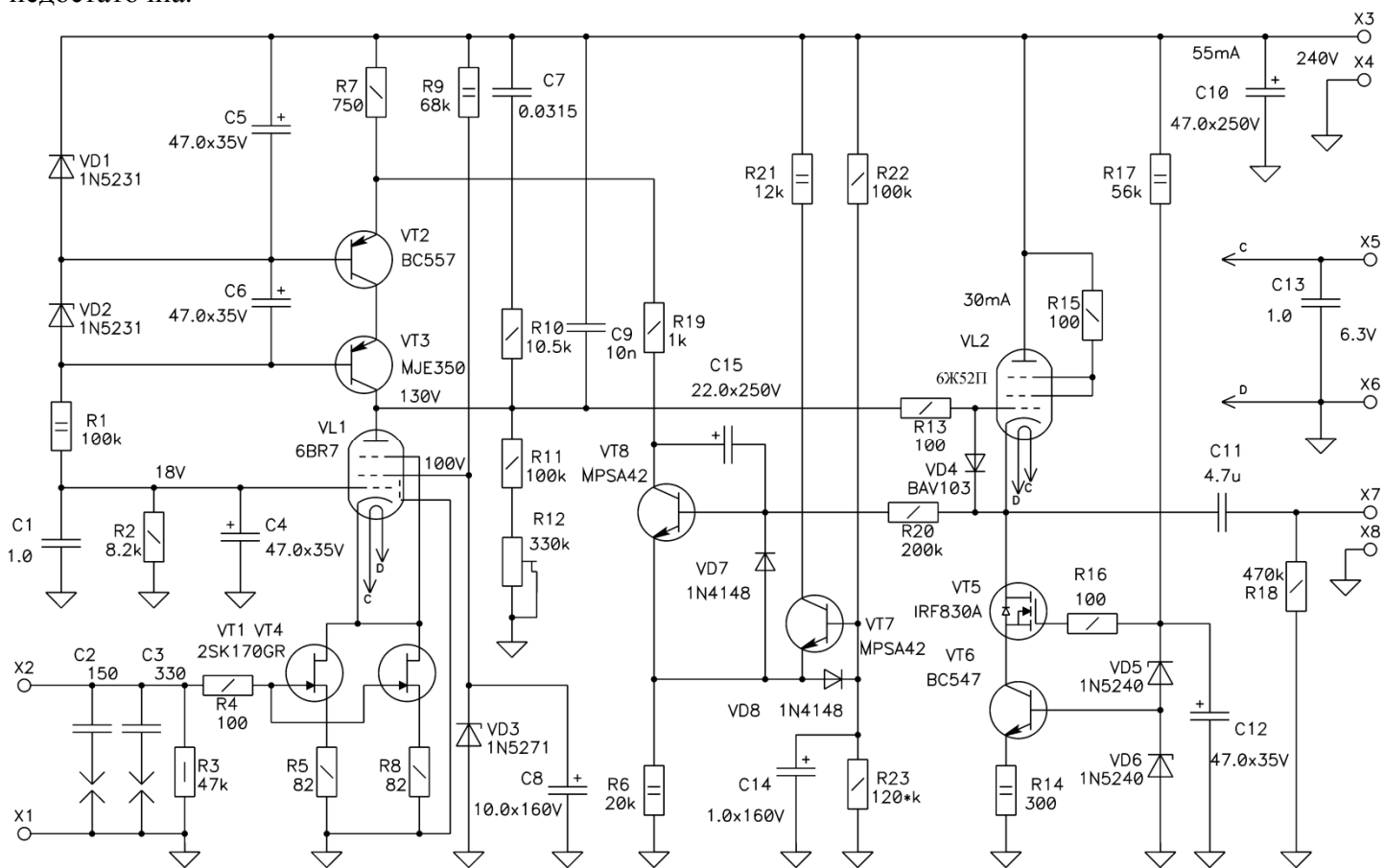


Рисунок 4

На рисунке 4 показан модифицированный вариант схемы, у которой вопрос стабильности режима решён кардинально. Оба каскада корректора теперь охвачены стабилизирующей ООС по постоянному току, поддерживающей на аноде VL1 заданное напряжение.

Поддержание режима происходит за счет регулирования тока первого каскада. Частота среза ООС выбрана очень низкой, и она не оказывает влияния на сигнал. Петля ООС организована введением двух дополнительных транзисторов - VT7, VT8. На транзисторе VT7 собран источник опорного напряжения, а транзистор VT8 служит элементом сравнения и первым каскадом усилителя ошибки. В роли второго каскада усилителя ошибки и, одновременно, исполнительного элемента, выступает каскодный источник тока на транзисторах VT2, VT3. Со стороны системы управления его можно рассматривать просто как каскодный усилитель, нагруженный на выходное сопротивление входного каскада и включенного ему параллельно суммарного сопротивления резисторов R11, R12. Несмотря на простоту реализации, система стабилизации имеет высокую точность и стабильность, так как петлевое усиление достигает нескольких тысяч, а собственные дрейфы транзисторов VT7 и VT8 ничтожно малы на фоне высокого опорного напряжения.

Наладка этой версии схемы происходит проще, так как нужное напряжение на аноде VL1 поддерживается автоматически. После подачи напряжения питания и прогрева необходимо установить напряжение 130 вольт на аноде VL1 путем подстройки номинала резистора R23. Допустимое отклонение от номинала - 3÷4 вольта в обе стороны. После этого подстраивают коэффициент передачи корректора на низких и высоких частотах (относительно 1kHz) по методике, описанной выше. В процессе настройки необходимо периодически контролировать напряжение анода VL1. Диапазон регулировки тока источника тока сознательно ограничен, если по каким-то причинам диапазона не хватает, надо его расширить, скорректировав номинал резистора R19. Требования к источнику питания такие же, как и для предыдущей схемы.

### **Заключение**

Хотя обе схемы при правильном монтаже и исправных деталях начинают работать сразу, рекомендовать их для повторения любителям средней квалификации я не берусь. Собственно и сама статья рассчитана на читателей, имеющих достаточный опыт в проектировании и изготовлении твердотельных и ламповых устройств. В статье опущены вопросы выбора типов компонентов, монтажа, какие-то аспекты работы и расчета типовых узлов, в предположении, что читателю это все известно.

Вопрос о звуковых качествах я опускаю, каждый должен убедиться лично. Единственно, что скажу: это однозначно ламповый корректор, со всеми плюсами таких устройств.

### **Литература**

1. Ложников А.П., Сонин Е.К., Каскодные Усилители, М.: Энергия, 1964г.
2. Ежков Ю.С., Справочник по схемотехнике усилителей, М.: РадиоСофт, 2002г.
3. Букингем М., Шумы в электронных приборах и системах, М.: Мир, 1986г.