

CRYSTAL SOLID

Евгений Карпов

В статье приведена схема и описание работы корректора для ММ-картриджей, реализованная на МОР транзисторах. А также рекомендации для ее повторения.

Взяться за проектирование этого устройства меня побудила проблема фликкер-шума ламп. Хотя в правильно спроектированных корректорах он вроде и не оказывает существенного влияния на качество звука, но постоянные небольшие хаотические смещения рабочей точки (особенно в схемах с непосредственными связями между каскадами) – меня несколько напрягали. Как бы очевидные методы борьбы: использование емкостных или трансформаторных межкаскадных связей - мне не очень нравились, да и не очень это эффективно. Дополнительные компоненты в цепи сигнала и звук не озонируют, и стоимость не уменьшают.

В принципе, при проектировании ставился стандартный набор задач – получить высокую линейность без использования цепей общей ОС, минимальную длину тракта, высокую перегрузочную способность и минимальный уровень шумов. Чуть забегаю вперед, хочу сказать, что в целом поставленные задачи удалось реализовать (что-то полностью, что-то частично), и это устройство, пожалуй, лучшее из всей линейки корректоров, как по объективным параметрам, так и по субъективным оценкам.

Можно сказать – схемотехника корректора навеяна ламповыми устройствами. И наверное, многим, особенно тем, кто больше привык иметь дело с транзисторными устройствами, покажется странной и не оптимальной. Но так как каких-либо ограничений по потребляемой мощности и питанию не было, ряд вопросов были решены «в лоб». И это дало свой положительный результат в виде уменьшения количества активных элементов (в какой-то степени оказывающих дополнительное влияние на сигнал), уменьшения уровня шумов, повышения стабильности схемы без дополнительных цепей.

Схема корректора.

Схема одного канала корректора приведена на рисунке 1. Корректор имеет следующие основные параметры:

Коэффициент усиления (1kHz)	≈100
Входное сопротивление	47kΩ±0.1%
Входная емкость (регулируемая)	51÷560pF
THD (1kHz, U _{out} =1V _{rms})	0.05%
Уровень шума (не взвешенный)	-80dB
Перегрузочная способность	+32dB
Максимальное выходное напряжение	40V _{rms}
THD (1kHz, U _{out} =40V _{rms})	1.9%
Выходное сопротивление	≈0.5Ω
Сопротивление нагрузки	>10kΩ
Характеристика коррекции	eRIAA
Погрешность характеристики (20Hz - 20 kHz)	±0.15dB

Если говорить только о базовом усилителе (с отключенными цепями коррекции), то при усилении около 61dB полоса усилителя ограничивается в диапазоне 3Hz÷80kHz, а уровень шума, приведенный ко входу, не превышает 23nV/√Hz. Что, в общем, уже вполне сравнимо с достаточно приличными ОУ. С тем небольшим отличием, что никакое ОУ не может обеспечить такую перегрузочную способность.

Усилитель двухкаскадный. Все усиление сосредоточено в первом каскаде, реализованном по каскодной схеме на транзисторах VT1, VT2. В общем, я вполне сознательно отказался от использования источников тока в цепи стока VT1, основная причина – снижение шумов. Кроме того, последовательное соединение двух источников тока (условно можно считать, что каскодный каскад нечто близкое) требует дополнительной системы стабилизации режима по постоянному току. Необходимый коэффициент усиления получен выбором резистора в цепи стока VT1 с соответствующим увеличением напряжения питания. Попутно это обеспечивает и хорошую перегрузочную способность.

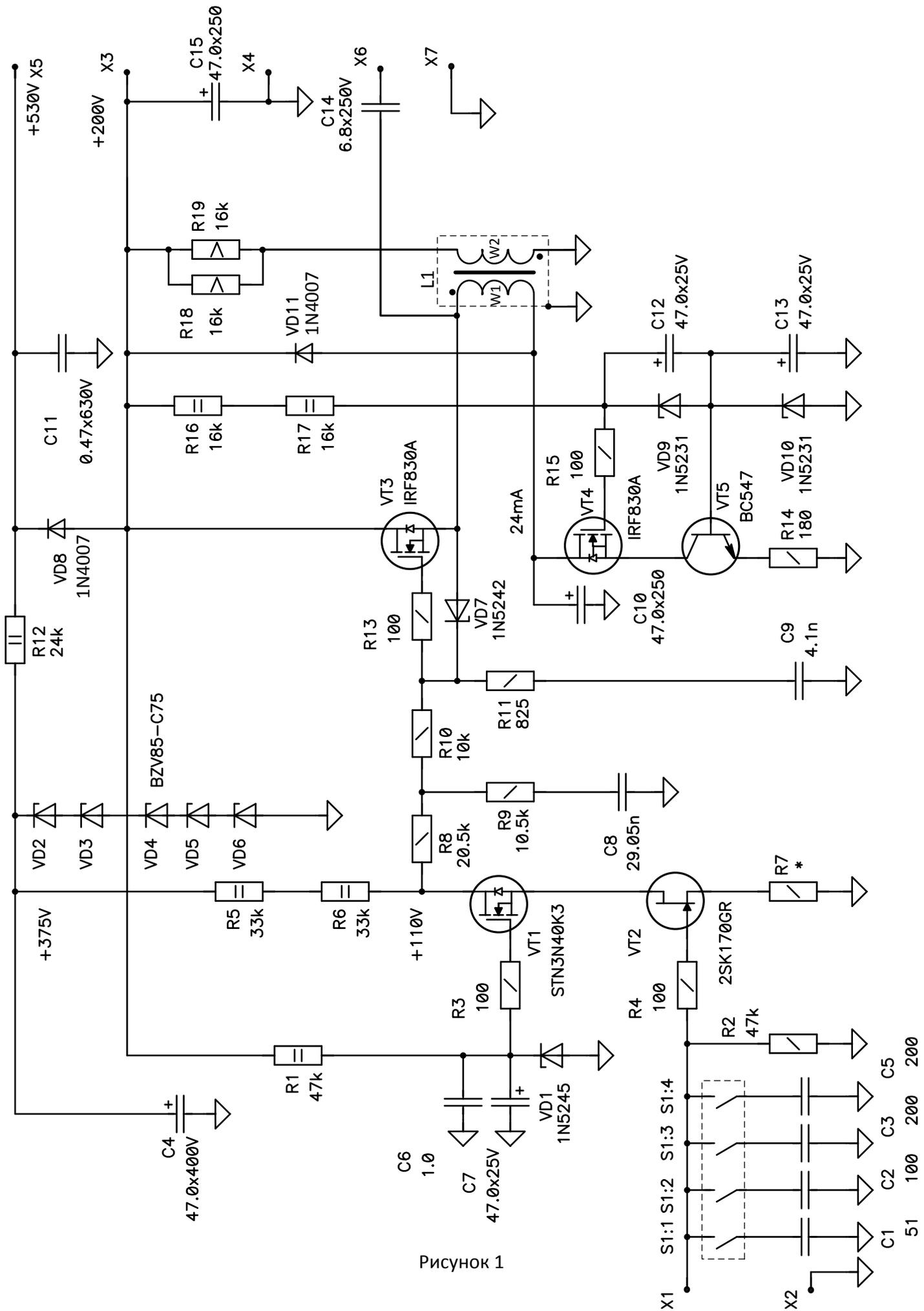


Рисунок 1

В итоге, напряжение питания первого каскада - ≈ 375 вольт. Характеристики каскада, в том числе и характер искажений, практически полностью определяется транзистором VT2 и его режимом. Входная емкость задается набором емкостей C1-C5, коммутируемых DIP переключателем или просто перемычками на плате.

Входной каскад через цепь сосредоточенной коррекции (R8-R11, C8, C9) работает на выходной истоковый повторитель (VT3) с дроссельной нагрузкой. Низкое выходное сопротивление повторителя и довольно большой ток покоя каскада существенно уменьшают влияние паразитных параметров межблочных кабелей. Кроме того, повторитель обеспечивает полную развязку между нагрузкой и первым каскадом с корректирующей цепью.

Может возникнуть вопрос: а зачем такая экзотика - дроссель? Ответ лежит в плоскости субъективного восприятия звука. Уже давно замечено, что каскады, имеющие на выходе трансформатор или дроссель, субъективно звучат лучше, несмотря на близкие объективные параметры с аналогичными каскадами, не использующими моточные узлы (и это говорит о том, что не все параметры контролируются, которые надо контролировать). Почему это так - есть ряд соображений. Но этот вопрос выходит далеко за рамки этой статьи. Поэтому ограничусь только констатацией факта – выходной каскад, повторитель с дросселем.

Режим работы по постоянному току выходного повторителя задается источником тока на транзисторах VT4, VT5. Источник тока зашунтирован емкостью C10. Минус такого решения – ток сигнала протекает через емкость. Плюс такого решения – ток сигнала протекает через емкость, и паразитные параметры и нелинейности источника тока (особенно при больших размахах) не оказывают на сигнал влияния. Кроме того, это способствует и уменьшению уровня шума (хотя в выходном каскаде это не особенно принципиально). Выход корректора (X6) должен быть привязан к общему проводу резистором $300 \div 500$ кОм, резистор устанавливается прямо на выходном разъеме.

Для максимального увеличения индуктивности намагничивания дросселя и оттягивания полосы вниз сердечник дросселя собран без зазора. А для компенсации тока покоя повторителя введена дополнительная обмотка W2, ток через которую задается резисторами R18, R19. В принципе, это позволяет регулировать рабочую точку дросселя на кривой намагничивания.

Система питания

Приводить полную схему системы питания я не буду, так как делать ее именно такой, нет никакой необходимости, а определю основные требования. Первое - все напряжения питания должны быть стабилизированы, причем – хорошо.

К цепи +530 вольт требования умеренные – вполне достаточно обеспечить уровень пульсаций в пределах десятков милливольт и стабильность в пару процентов. Учитывая наличие параметрического стабилизатора непосредственно на плате, стабилизация уже получится двухступенчатой. В принципе, подойдет простой параметрический стабилизатор на одном транзисторе.

К цепи +200 вольт требования более жесткие – уровень шумов и пульсаций на выходе стабилизатора не должен превышать сотен микровольт. Желательно обеспечить нестабильность в пределах $0.5 \div 1$ процент. Можно использовать какой-то из стабилизаторов, приведенных на сайте. Приветствуется решение с двухступенчатой стабилизацией – первичный стабилизатор и поканальная достабильзация для каждого канала корректора. Для вторичных стабилизаторов прекрасно подходят LM317, естественно, с соответствующей защитой. В принципе, у меня система питания и реализована аналогичным образом –

первичный стабилизатор на оба канала, вторичные стабилизаторы для каждого канала отдельно. Основные минусы такого подхода – повышенная потребляемая мощность.

Следует обратить особое внимание на снижение коммутационных шумов выпрямителей и проникновения ВЧ шумов из сети. А общие рекомендации такие – обязательное наличие экранирующей обмотки в силовом трансформаторе, использование для основного канала выпрямителя со средней точкой

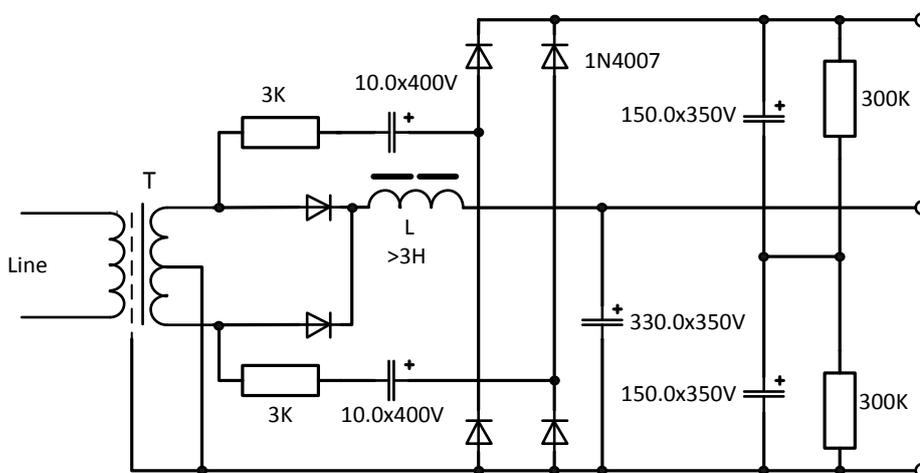


Рисунок 2

кой и фильтра, начинающегося с индуктивности. На рисунке 2 показана реализация такого подхода, фактически, это схема выпрямителей, используемая в корректоре.

Оба необходимых напряжения получены от одной обмотки со средней точкой.

Конструкция, настройка, детали

Хочу сразу обратить внимание читателей, что, несмотря на достаточно простую схему, повторение конструкции может вызвать определенные затруднения. В основном это связано с тем, что хорошие конечные результаты зависят от тщательности отбора и подбора ряда компонентов, что предполагает их достаточное количество для манипуляций.

Наиболее хлопотной процедурой является отбор и подбор в пары транзистора VT2. Для транзисторов с таким индексом типовое значение тока стока при нулевом напряжении на затворе равно 4mA. Для корректора подходят транзисторы со значением тока стока в районе 3.8÷4.2mA. Так как характеристикограф - прибор не такой уж распространенный, то наиболее простой, и наверное, самый правильный способ – контроль параметров транзисторов прямо в схеме. Для этого надо собрать макет входного каскада (а желательно и повторитель по упрощенной схеме: исключить емкость C10 и закоротить рабочую обмотку дросселя) и измерять параметры всего усилителя. Контролируется (обязательно) два параметра – напряжение на стоке VT1 (или на выходе повторителя с учетом смещения) и коэффициент усиления. Желательно контролировать и уровень шума. По этим параметрам и производится разбраковка. Допустимое значение напряжения на стоке VT1 - 120÷90 вольт, а коэффициент усиления 800 – 1200. Значение коэффициента усиления, в общем, не очень важно. В очень небольших пределах можно корректировать усиление и ток покоя, введя резистор R7. При подборе в пары надо обеспечить минимальную разницу между номиналами этого резистора в обоих каналах. Значение этого резистора лежит в пределах долей - единиц Ом.

Также требуется подбор в пары входного резистора R2 и элементов цепей частотной коррекции – R5, R6, R8÷R11, C8, C9. Желательно обеспечить точность в 0.5%. Точность емкостей C1÷C5 вполне достаточная в 5%.

В качестве R5, R6 желательно использовать резистор типа MF02W, R8÷R11 могут быть любого типа с хорошей линейностью и низким уровнем шума. И MF0W4, и C2-36.

Емкости в корректирующей цепочке K71-7. К другим компонентам, каких-либо особых требований нет.

Следует иметь ввиду, что переменная составляющая сигнала протекает через емкости C4, C10, C14, C15. Соответственно, надо позаботиться о качестве этих емкостей. При правильной сборке канала и использовании исправных компонентов никакой дополнительной наладки не требуется. Следует только проверить величину тока покоя выходного каскада и компенсирующий ток по падению напряжения на резисторах R14 и R18, R19 (предварительно точно измерив их сопротивление).

Конструктивно, все элементы одного канала (кроме выходного дросселя и емкости C14) размещены на печатной плате. Транзисторы VT3, VT4 установлены на охладитель с площадью порядка 200см^2 , SMD транзистор VT1 припаян к печатному полигону с площадью порядка 0.5см^2 . Потом платы обеих каналов соединены в единый блок, который уже крепится к несущему шасси. Совсем будет хорошо, если блок будет установлен на шасси через амортизирующие шайбы.

Как это все выглядит в сборе, показано на рисунке 3.

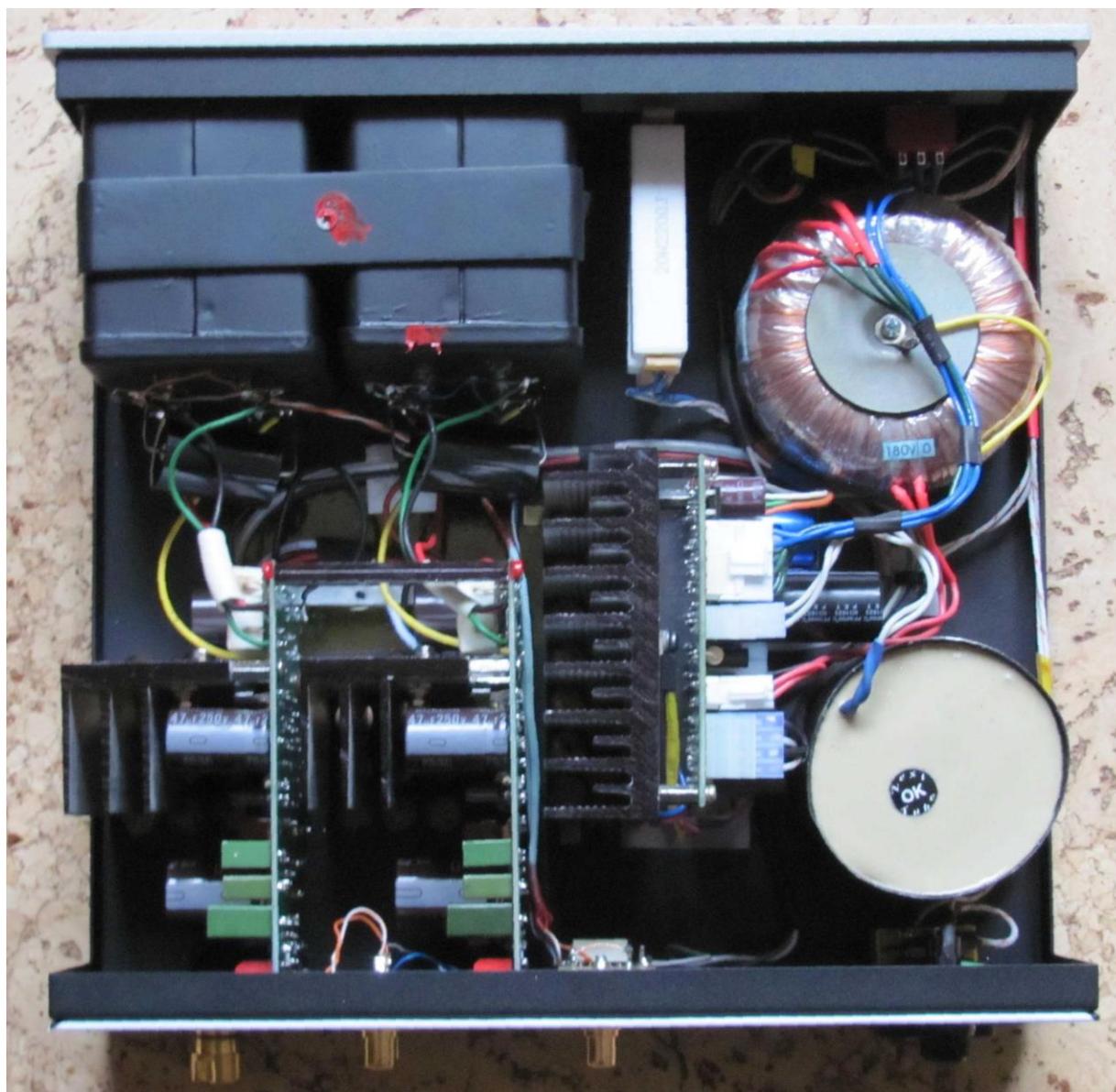
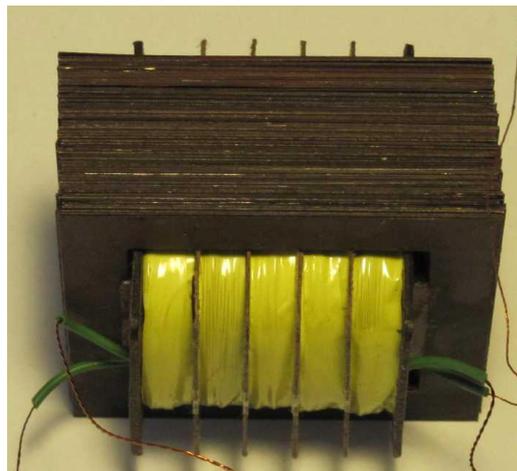


Рисунок 3

В выходном дросселе используется сердечник ШП 20x28 и глубокое вертикальное секционирование. Секционирование позволяет существенно снизить собственную паразитную емкость и отнести резонансные явления в дросселе далеко за звуковой диапазон. Для уменьшения изменения индуктивности от уровня переменной составляющей в дросселе и хорошей работы в очень слабых полях, используется комбинированный сердечник из стали типа 3416 (90% объема) и пермаллоя 50НУ (10% объема). Индуктивность дросселя находится в пределах 24-25 Г.

Сначала на каркас наматывают компенсирующую обмотку, содержащую 2500 витков провода ПЭТ-155 $d=0.13\text{mm}$ (по 500 витков в секцию, активное сопротивление обмотки около 300 Ом). После укладки межобмоточной прокладки наматывают рабочую обмотку тоже 2500 витков проводом ПЭТ-155 $d=0.19\pm 0.22\text{mm}$. Обе обмотки мотаются в навал. Плохая магнитная связь между обмотками – приветствуется. После сборки и проверки дроссель помещается в стальной экранирующий корпус и герметизируется.



Заключение

Давать субъективные оценки – дело не благодарное. Единственно, что скажу – мне нравится результат.

А вот коснуться некоторых объективных параметров есть смысл. При выходном напряжении до 1 вольта в спектре искажений присутствует только вторая гармоника. Фактически, это номинальный рабочий режим. По мере уменьшения уровня на выходе происходит почти пропорциональное уменьшение и уровня 2-й гармоники. При уровне выхода в сотни милливольт обнаружить вторую гармонику уже не так просто, надо давить фундаментальную частоту дополнительным фильтром (ниже -100dB). При увеличении уровня выхода более 1 вольта начинают появляться высшие гармоники, совершенно аналогично, как это происходит в линейном ламповом каскаде. Огибающая гармонического ряда спадает приблизительно по экспоненте. При максимальном выходном напряжении 40 вольт максимально наблюдаемая гармоника – шестая, с уровнем около -90dB, вторая гармоника имеет уровень -34dB. Общий уровень искажений возрастает до 1.9%. Но это уже просто запредельный режим.

Ну и просто считаю необходимым напомнить читателям, решившим повторить схему, что в ней используются довольно высокие напряжения и достаточно большие емкости. Любая неаккуратность может быть фатальной для самой схемы или гарантировать много неприятных ощущений конструктору. Будьте осторожны.