



Усилитель для головных телефонов

Евгений Карпов

Твердотельный усилитель с трансформаторным выходом без общей ОС

Представленный усилитель схемотехнически довольно сильно отличается от типовых реализаций такого рода устройств. Усилитель собран на дискретных компонентах и имеет очень короткий звуковой тракт, фактически он содержит два каскада (три активных элемента непосредственно в тракте). В усилителе отсутствует общая ОС, и хорошие технические параметры получены за счет параметрической линейризации и применения местных ОС. Для оптимального согласования с различными нагрузками в усилителе используется автотрансформатор. Достаточно большая выходная мощность – 0.8W, позволяет ему успешно работать практически с любыми головными телефонами. Наличие выхода 8 Ohm дает возможность работы и на чувствительную широкополосную акустику.

Можно сказать, что сам подход при проектировании усилителя и примененные решения больше характерны для ламповой схемотехники, но перенесенной на твердотельную элементную базу.

Если говорить о субъективной оценке, то можно с уверенностью сказать, что он звучит ощутимо лучше портативных устройств с усилителями, работающими в классе «D». Если сравнивать с хорошими ламповыми усилителями, то «лучше – хуже» здесь, наверное, не совсем применимо, звук другой, но по сбалансированности и разрешающей способности – он им не уступает. Да и результат субъективной оценки сильно зависит от головных телефонов.

Усилитель имеет следующие параметры:

Номинальная выходная мощность	0.8W
Чувствительность	0.7Vrms
Диапазон нагрузок	8-600 (8,32,150,600) Ohm
Мощностная полоса (зависит от выбранной номинальной нагрузки)	5Hz-80(40)kHz
Коэффициент гармоник (не более)	0.11%
Уровень шума на выходе	120 μ V
Входы	RCA, mini-jack
Потребляемая мощность	30W
Напряжение питания	205÷250V 50, 60Hz

На выходе усилителя присутствуют только вторая и третья гармоники, быстро спадающие при уменьшении выходной мощности (Рис. 1)

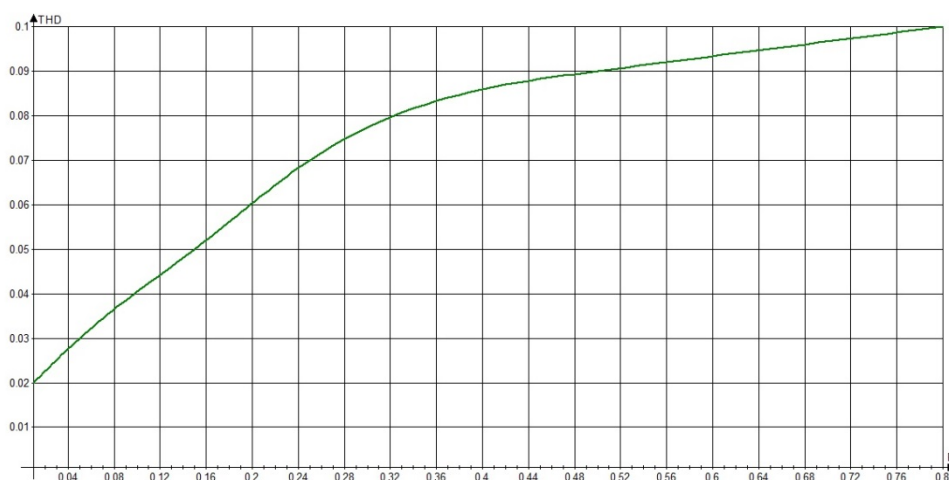


Рисунок 1

Схема усилителя

Собственно сам усилитель имеет три основных узла: драйвер, выходной каскад и систему питания. И в принципе, они могут быть использованы совместно или по отдельности.

Драйвер.

Довольно маленькая входная емкость выходного каскада ($\approx 50\text{pF}$) позволила применить необычное решение (Рис. 2). В качестве драйвера используется каскодный усилитель с глубокой местной ОС. Усиление каскада без ОС достигает нескольких тысяч на средних частотах, введение местной ОС через резисторы R9, R14 (R12, R15) уменьшает усиление до 20. Фактически, коэффициент усиления каскада определяется отношением резистора в коллекторе верхнего транзистора к эквивалентному сопротивлению резистора ОС. Это позволило получить высокую линейность и малую чувствительность схемы к параметрам транзисторов.

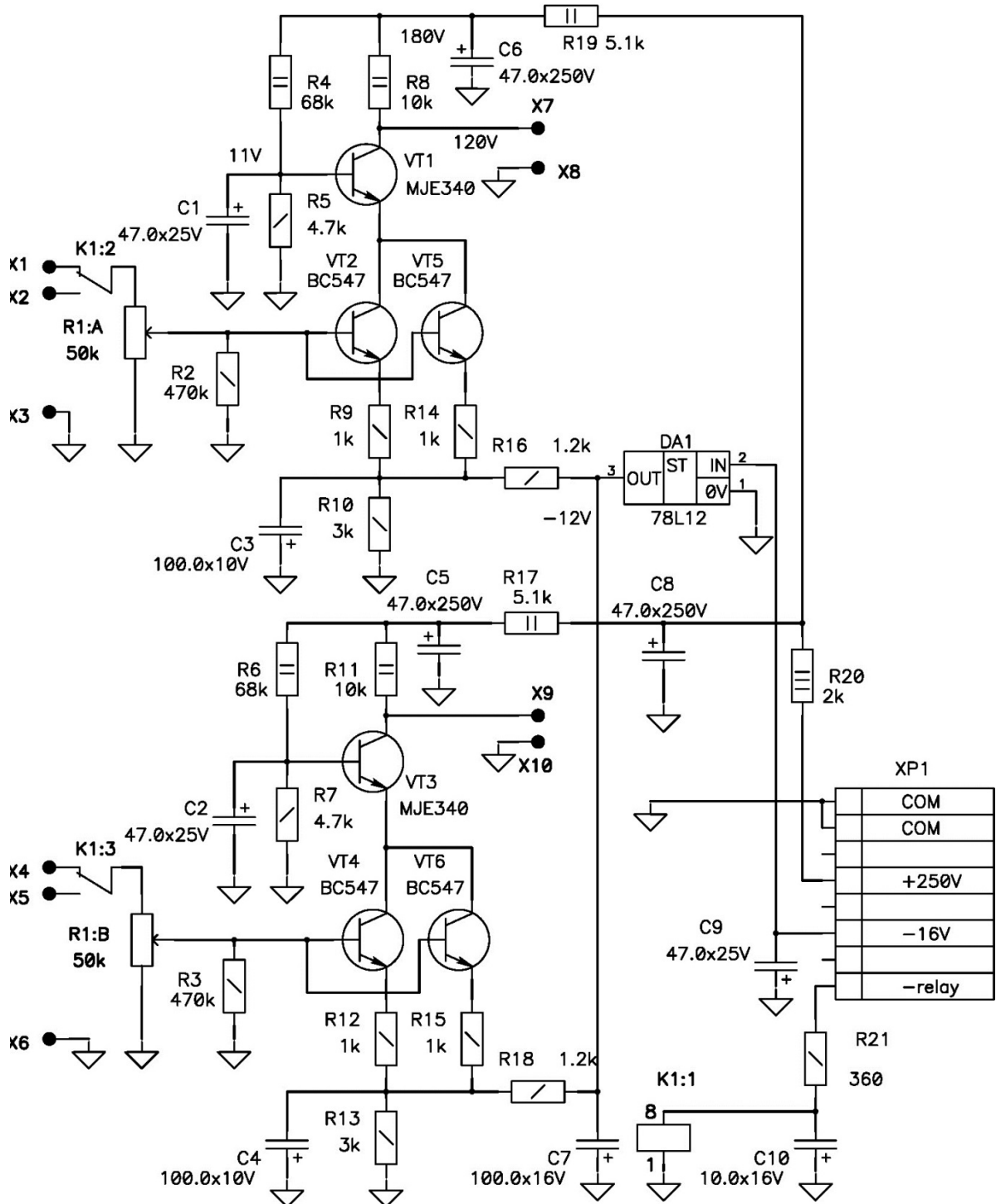


Рисунок 2

Хотя емкость нагрузки драйвера и не велика, ток покоя драйвера должен быть достаточно большим ($\approx 6\text{mA}$), что вступает в противоречие с желанием минимизации уровня шумов. Частично эта проблема решается параллельным включением входных транзисторов. Уровень собственных шумов каскада не пре-

вышает $30\mu\text{V}$. Полоса усилителя начинается от единиц герц и заканчивается на 200 кГц при емкостной нагрузке порядка 60pF .

Чтобы получить большой размах выходного сигнала с малыми искажениями и обеспечить нужные режимы по постоянному току, драйвер питается высоким напряжением. Собственно режим по постоянному току задается отрицательным смещением на резисторе R10 (R13) от вспомогательного источника (DA1). Шумы стабилизатора эффективно подавляются фильтром, образованным элементами R16 (R18), C3 (C4). Кому-то такое решение может показаться излишне сложным, но оно позволяет избавиться от одной емкости в цепи сигнала.

Выходной каскад.

Он реализован на базе истокового повторителя с параметрической стабилизацией рабочей точки (Рис. 3). Хочу обратить внимание читателей, что местная ОС присущая истоковому повторителю, это одна сущность, а стабилизация рабочей точки – вторая сущность, и она не является классической ОС, где непосредственно взаимодействуют входной и выходной сигналы [1]. Основное отличие каскада от описанных предыдущих версий – возможность работы на заземленную нагрузку.

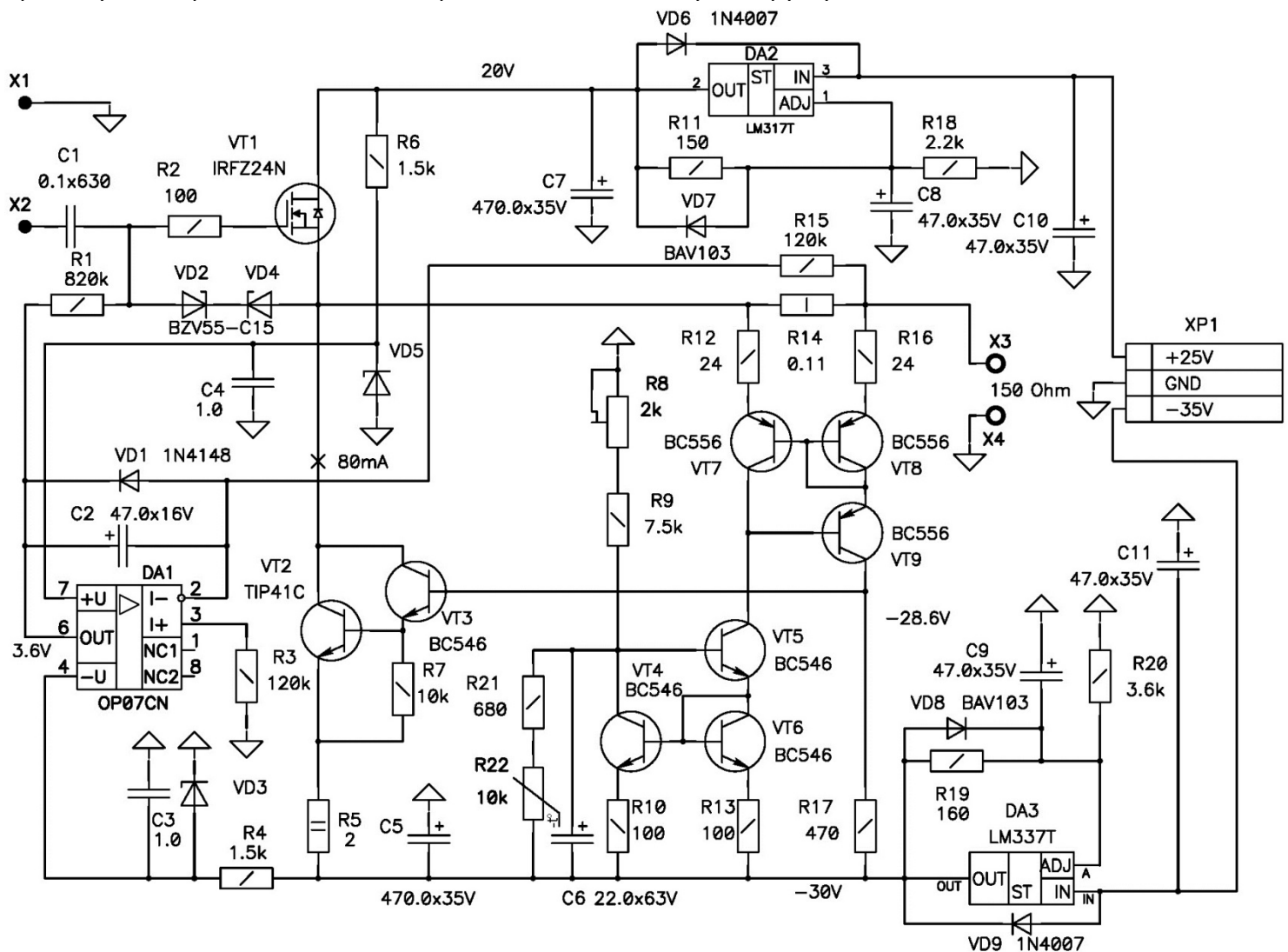


Рисунок 3

Очень низкочастотная ОС на ОУ DA1 обеспечивает удержание ноля на выходе каскада. Информация о токе нагрузки снимается с датчика тока R14 и усиливается транскондуктансным усилителем на транзисторах VT2÷VT9. Терморезистор R22 с отрицательным ТКС стабилизирует ток покоя каскада при изменении температуры выходного транзистора. Ток покоя выходного каскада задается резистором R8.

Для уменьшения взаимного влияния каналов каждый выходной каскад имеет собственные стабилизаторы – DA2, DA3.

Номинальная нагрузка каскада 150 Ом. Каскад непосредственно нагружен на согласующий автотрансформатор, который и определяет его частотную характеристику. Согласующий автотрансформатор украинского производства типа [ТВЗ ТУ8-600](#) (с очень даже неплохими параметрами). Каскад прекрасно работает и без трансформатора на выходе и хорошо масштабируется по выходной мощности.

Конструктивно выходной каскад реализован как функционально законченный модуль. Транзисторы VT1, VT2 должны находиться на одном радиаторе, и с этим радиатором необходимо обеспечить хороший тепловой контакт терморезистора. Подключать мощные транзисторы и микросхемы стабилизаторов проводами – крайне не желательно.

Система питания

В усилителе был использован централизованный линейный стабилизатор с регулирующим элементом на первичной стороне силового трансформатора [2]. Плюс такого подхода – хорошее подавление шумов сети и возможность снизить до минимума потери в стабилизаторах выходных каскадов. Минус – достаточно высокая сложность и необходимость использовать не стандартный силовой трансформатор. В принципе, именно такое решение совсем не обязательно, все можно реализовать проще без существенных потерь в качестве. Поэтому я не буду приводить схемы, а остановлюсь на необходимых параметрах напряжений на выходах каналов.

Напряжения на выходе канала, питающего выходные каскады, выбирается исходя из заложенной нестабильности сети и, в худшем случае, должно превышать выходные напряжения стабилизаторов на 2-3 вольта. Допустимый уровень пульсаций - $200 \div 300 \text{mV}$. Суммарный ток потребления выходных каскадов около 200mA. Естественно, в этом случае потребуется увеличить площадь радиаторов микросхем стабилизаторов.

Высокое напряжение питания драйвера необходимо стабилизировать. Так как ток потребления драйвера маленький (около 17mA) и постоянный, то можно обойтись обычным параметрическим стабилизатором на стабилитроне. Основное требование: минимальный уровень шумов и пульсации на уровне $200 \div 300 \mu\text{V}$. В усилителе был использован многосвязный RC фильтр, второе и третье звено фильтра размещены непосредственно на плате драйвера.

К параметрам вспомогательного напряжения особых требований нет. Так же надо учесть нестабильность сети для нормальной работы 12-вольтового стабилизатора и обеспечить уровень пульсаций порядка 50mV. По этому каналу максимальный потребляемый ток около 30mA.

Прототип

Для более обстоятельной проверки звуковых свойств и выявления спрятавшихся «чертей», был реализован прототип усилителя (Рис. 4). Такая конструкция корпуса не является обязательной, но при изготовлении или выборе корпуса надо учесть несколько важных моментов.

В первую очередь надо позаботиться о максимальном разнесении в пространстве силового и выходных трансформаторов или подумать об их хорошем магнитном экранировании. Также следует обеспечить достаточное охлаждение выходных каскадов. Суммарно, рассеиваемая мощность на силовых транзисторах выходного каскада около 5W. Если система питания реализована без первичного стабилизатора, то надо учесть и мощность, выделяемую на стабилизаторах выходного каскада при максимальном напряжении сети (ток потребления каждого выходного каскада около 90mA). В прототипе охладителями

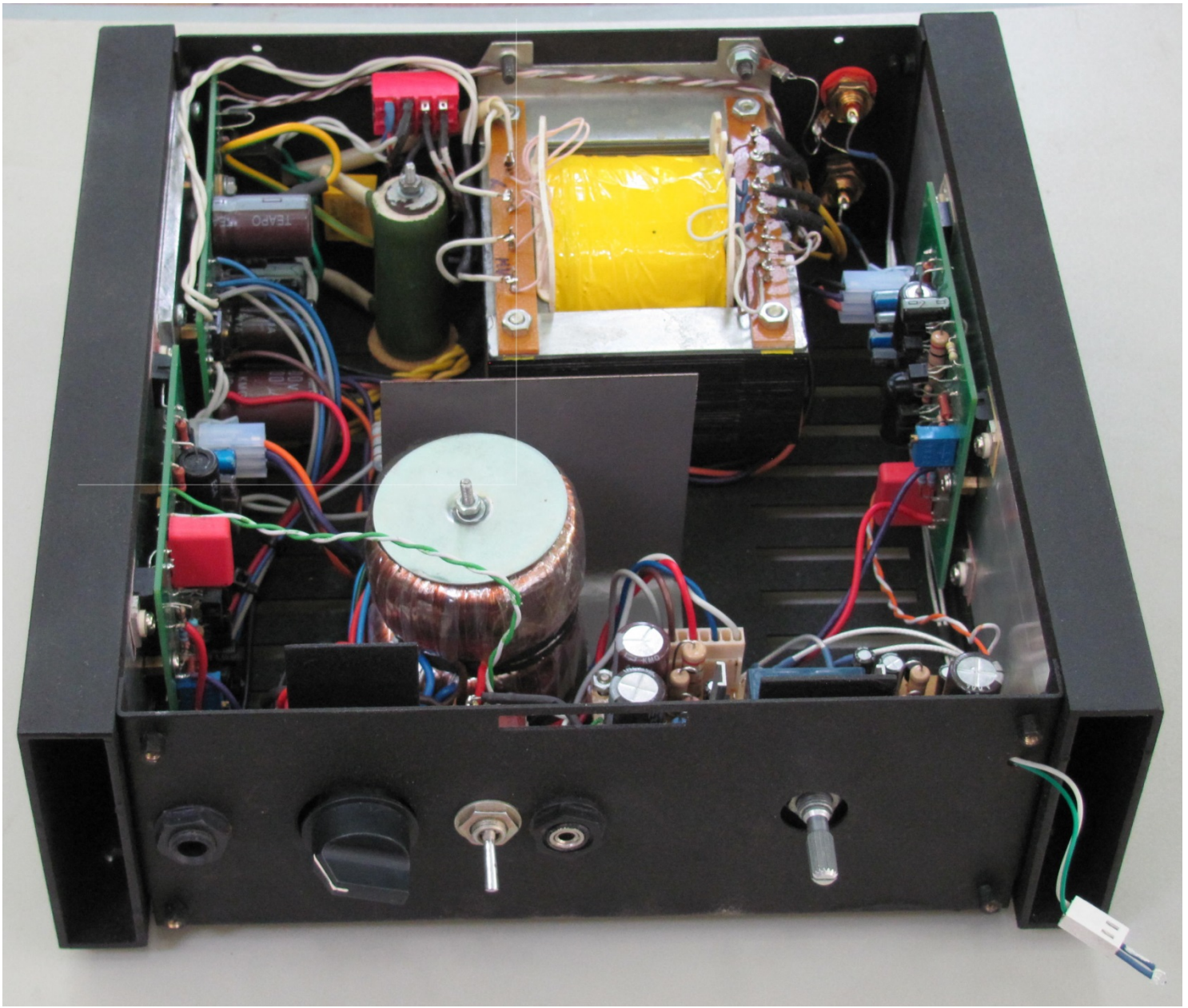


Рисунок 4

служат боковые стенки корпуса, изготовленные из толстостенной прямоугольной алюминиевой трубы. Габариты корпуса – 240x240x80 мм.

Литература

1. [Е.В. Карпов, Гибридный мир \(стр.12\); 2003г.](#)
2. [Е.В. Карпов, Стабилизированный источник питания лампового усилителя; 2006г.](#)

Опубликованный в статье материал предназначен исключительно для личного некоммерческого использования. Для коммерческого использования и получения всей необходимой информации для повторения усилителя – свяжитесь с автором.