

Усилитель головных телефонов Lунх HA46

История создания устройства, которому посвящена данная статья, насчитывает уже несколько лет. А началось всё с того, что при разборе старых запасов, я нашел несколько десятков транзисторов ГТ402 и ГТ404, оставшихся еще со школьных лет от периода увлечения конструированием переносных кассетных магнитофонов. Первоначально я хотел их выбросить, но передумал и отдал эти приборы приятелю, вставшему на путь «аудиофилии». Через некоторое время он пригласил меня послушать то, что сделал из этих транзисторов – телефонный усилитель. Схема использовалась очень простая, тоже «из годов нашей молодости» – К237УН2 и пара повторителей МП39+МП40 и ГТ402+ГТ404. Отличия от стандартной схемы, применявшейся в большом количестве радиоприемников в 70...80 годы прошлого века, заключались лишь в дополнительных резисторах между базами и эмиттерами повторителей, что смягчало процесс открывания транзисторов, работавших без начального смещения, и уменьшало искажения типа «ступенька». На удивление, этот усилитель звучал очень неплохо даже при работе на довольно качественные наушники Sennheiser HD 580. Учитывая невысокую стоимость комплектации, такой усилитель вполне мог оказаться удачным решением для работы со многими, в том числе и низкоомными, головными телефонами.

Однако, ему были свойственны и многие недостатки. Относительно большой уровень искажений микросхемы К237УН2, работа выходных повторителей в классе В и низкое напряжение питания (+12В), ограниченное свойствами УН2-й, наличие разделительных конденсаторов на входе и выходе усилителя ограничивали потенциальное качество, достижимое для примененных транзисторов.

Следует заметить, что германиевые транзисторы ГТ402 и ГТ404 – это довольно линейные приборы, изменение «беты» в диапазоне токов коллектора от 3 до 300мА у них официально нормируется не более, чем в 1.5 раза (уникальный случай для транзисторов советского производства!). Большой допустимый ток коллектора позволяет им успешно работать с низкоомными нагрузками, а весьма высокая для мощных германиевых транзисторов граничная частота в 1МГц определяет и хорошую работу на верхних звуковых частотах. Практически полное отсутствие порогового эффекта для германиевого PN-перехода делает возможным построение работающего в классе В симметричного повторителя на комплементарных транзисторах с достаточно низкими искажениями по сравнению с аналогичным устройством на кремниевых приборах, но всё-таки, для высококачественного усилителя желательна работа с начальным током покоя. Относительно большой размер корпуса ГТ402/404 способствует хорошему отводу тепла от кристалла, что немаловажно для обеспечения температурной стабильности усилителя.

Взяв за основу указанные транзисторы, я решил разработать усилитель, пригодный для любых типов динамических головных телефонов с сопротивлением более 8 Ом и обеспечивающий высокое качество звучания. Кроме того, по опыту работы с разными типами «ушных» усилителей, обязательной является система защиты наушников от постоянного тока на выходе устройства. Выход из строя усилителя не должен приводить к порче дорогостоящих головных телефонов. Для удобства запуска и эксплуатации, «ушной» усилитель желательно объединить в единый конструктив с его источником питания. С целью «выдержать идеологическую линию» применения германиевых приборов, я решил, что выпрямители и стабилизаторы питания устройства также должны быть выполнены на основе таких транзисторов и диодов. Исключение было сделано лишь для входной части, поскольку найти германиевые ОУ не удалось ☺

Принципиальная электрическая схема усилителя приведена на рис.1. Основа устройства – усилительный каскад на ОУ AD823AN, отличающимся как достаточно высокими электрическими параметрами, так и великолепным субъективным звучанием. Выход ОУ укомплектован симметричным повторителем на германиевых транзисторах VT5, VT6 (VT7, VT8), работающем в классе АВ с током покоя около 20мА. При питании +/-15В на каждом из выходных транзисторов рассеивается мощность около 0.3Вт, что существенно ниже предельно допустимой. Ток покоя выходного каскада задается германиевыми диодами VD5, VD6 (VD7, VD8) смещенными в прямом направлении током от ГСТ на транзисторах VT1, VT2 (VT3, VT4).

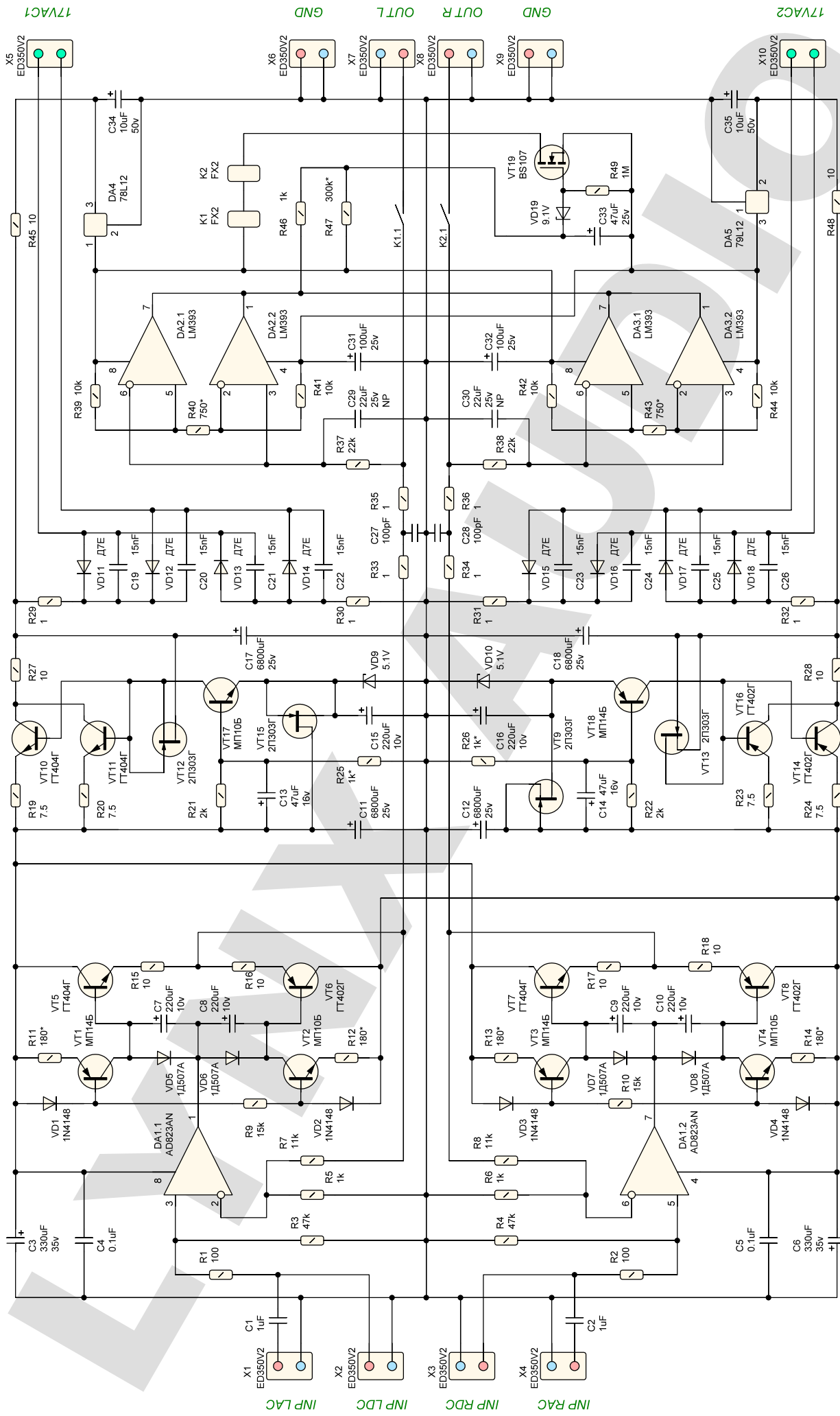


Рис. 1



Такое построение повторителя позволяет получить каскад с достаточной термостабильностью и низкими собственными искажениями, а также исключить дополнительную нагрузку выхода ОУ по переменному току цепями питания элементов смещения.

Стабилизаторы питания выполнены общими для обоих каналов по типовой схеме компенсационного стабилизатора напряжения. В качестве регулирующих транзисторов применяются соединенные по два в параллель ГТ402 и ГТ404. Нагрузка усилительного каскада – активная, в виде ГСТ на полевом транзисторе с PN-переходом. Питание опорного стабилитрона осуществляется с выхода стабилизатора через свой ГСТ. Это позволяет существенно увеличить коэффициент стабилизации и снизить уровень пульсаций выходного напряжения. Проблем с запуском стабилизатора в данном случае не возникает из-за большого тока утечки германиевых транзисторов. При настройке таких стабилизаторов следует обратить внимание на то, чтобы начальный ток стока транзисторов ГСТ питания стабилитрона был как минимум в 1.5...1.8 раза больше, чем начальный ток стока транзисторов активной нагрузки усилительного каскада.

Выпрямители питания устройства выполнены на германиевых диодах типа Д7, шунтированных емкостями поглощения энергии обратного восстановления.

Устройство защиты нагрузки от постоянного напряжения на выходе усилителя особенностей не имеет и представляет собой двухпороговые компараторы, управляющие общей цепью реле, коммутирующих нагрузку.

Для питания усилителя требуется трансформатор с двумя независимыми обмотками с напряжением 16...20В при токе нагрузки до 200мА.

Усилитель собран на двухсторонней печатной плате размерами 80 × 165 мм. Внешний вид смонтированного устройства приведен на рис.2:

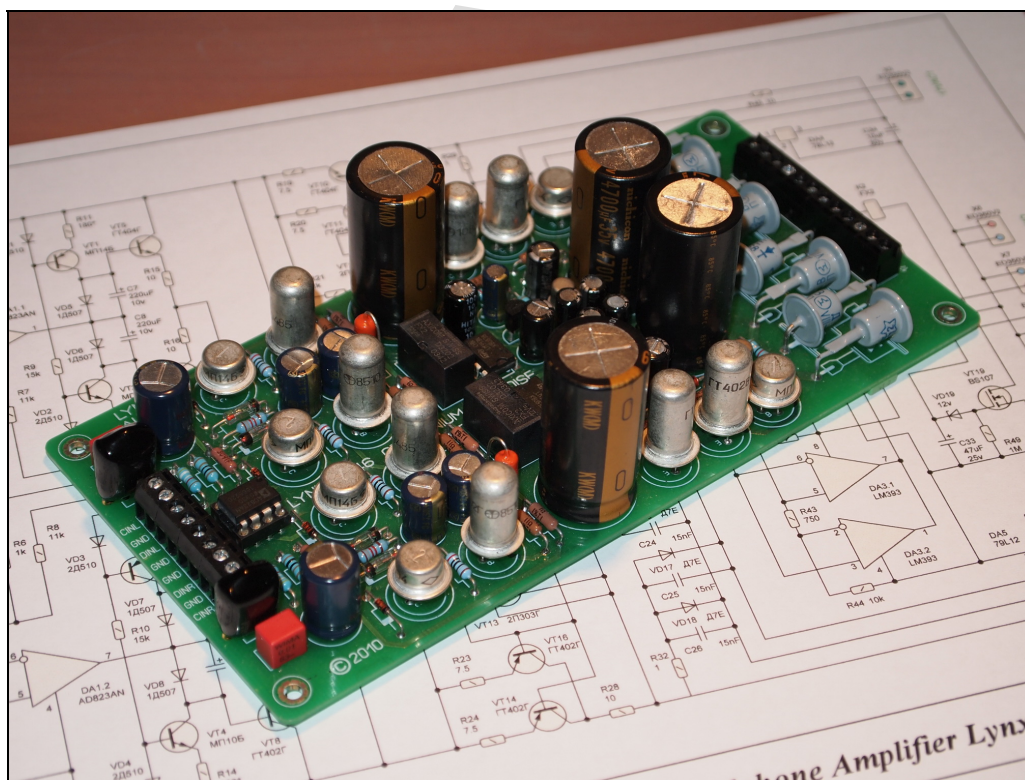


Рис. 2. Усилитель Lynx HA40

В усилителе применены пленочные конденсаторы Wima FKP2 и Wima MKS2, керамические группы NP0 типоразмера 1206 на напряжение не ниже 50В (шунты выпрямительных диодов), электролитические конденсаторы Panasonic FK и Nichicon KZ (для цепей питания и сигнальных) и любых типов – для вспомогательных. Все резисторы в сигнальных цепях – Dale RNC55, в цепях компараторов защиты – SMD типоразмера 1206. Транзисторы VT5, VT6 (VT7, VT8) нужно подобрать в пары, кроме того, их «бета» должна быть не ниже 80 (желательно от 100 и выше). Диоды VD5, VD6 (VD7, VD8) подбираются с одинаковой величиной прямого напряжения при токе 1...3мА. Остальные элементы схемы

усилителя подбора не требуют. В качестве транзисторов выходного каскада желательно применять транзисторы с буквенным индексом «Г». Возможно применение транзисторов «Б», но при этом нужно будет понизить выходное напряжение стабилизаторов до $\pm 12\text{В}$. Диоды выпрямителей можно применить с любым буквенным индексом, либо заменить на диоды Шоттки с обратным напряжением не ниже 50В .

На рис.3 показана спектрограмма выходного сигнала усилителя при работе на нагрузку $40\ \Omega$ и амплитуде сигнала 4.1В . Измерения производились с помощью АЦП АК5394, обеспечивающем динамический диапазон с учетом программной калибровки около 120дБ (что многократно превышает возможности любых старых аппаратных низкочастотных спектроанализаторов, независимо от количества золота и железа в них ☺).

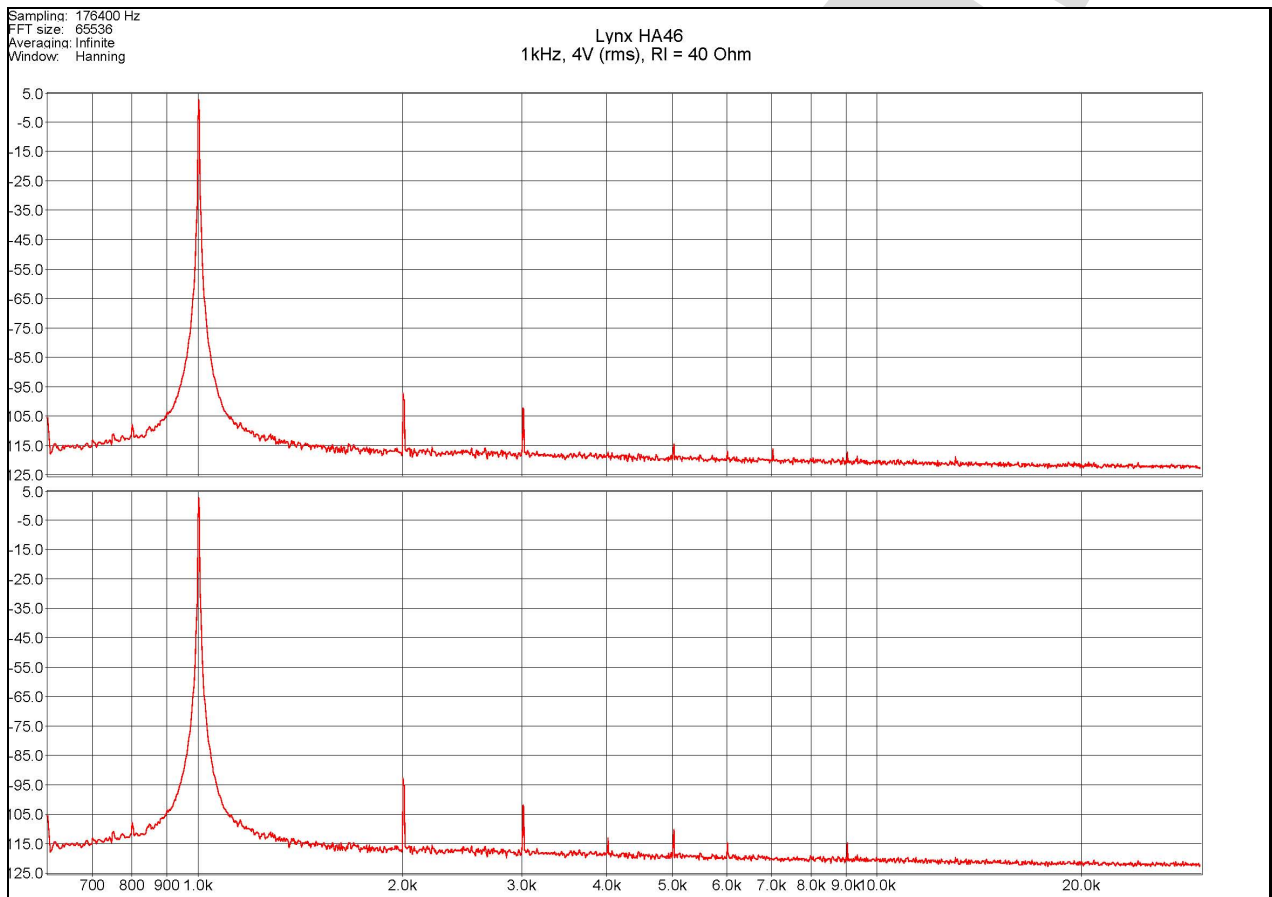


Рис. 3. Спектр сигнала на выходе при напряжении 4.1В (rms)

Авторский экземпляр устройства обладает следующими параметрами:

- 1) относительный уровень шумов на выходе в полосе 100кГц , дБ ниже -110
- 2) относительный уровень гармонических искажений и помех в полосе частот $50\ \text{кГц}$ при работе на нагрузку $40\ \Omega$ и амплитуде выходного напряжения 6В , дБ ниже -100
- 3) максимальная амплитуда тока нагрузки, мА не менее 500
- 4) минимально допустимое сопротивление нагрузки, Ом не менее 4

Субъективно, при работе на телефоны Audio-technica ATH-A900, усилитель обеспечивает очень мягкое, комфортное звучание, позволяющее прослушивать музыку в наушниках достаточно длительное время без негативных ощущений.

В процессе испытаний в качестве ОУ DA1 были отслушаны несколько типов ОУ: AD823, OP249, LM4562, NE5532, LM6172, OPA2604, OPA2132, M5238. Смена типа ОУ не приводила к принципиальному изменению характера звучания, но несколько изменяла его оттенки.

AD823 – спокойный прозрачный звук, немного легковесный.

OP249 – более насыщенный по сравнению с AD823.

LM4562 – масштабный, «большой» звук, но напряженный, слушать долго было тяжело.

LM6172 – легче и светлее по сравнению с LM4562, хорошо воспринимается воспроизведение рок-музыки и экспрессивных классических композиций.

OPA2132 – излишне мягкий, «ватный» звук, неплох для малых составов, вокала, но в реальных условиях более 10 минут я слушать не мог.

OPA2604 – похож на OPA2132, но грязнее.

M5238 – спокойный приятный звук, хорошая детальность, воздух. Очень достойный ОУ.

NE5532 – обеспечивает объективно самый низкий уровень искажений среди опробованных типов приборов, но звук резковатый, напряженный. Лучше, чем OPA и LM.

В качестве эксперимента рассматриваемый усилитель подключался в качестве усилителя мощности к АС Dynaudio Focus 220. Несмотря на низкое значение импеданса АС, Lynx HA46 и в данном случае показал себя с хорошей стороны, обеспечив хоть и негромкое, но достаточно качественное и приятное звучание. Конечно, он не предназначен для эксплуатации в таком режиме, но подобный эксперимент подтверждает высокую нагрузочную способность выходного каскада усилителя.

В заключение хотелось бы искренне поблагодарить за помощь и поддержку моих товарищей и коллег Сергея Жукова (г. С.-Петербург), Андрея Попцова (г. С.-Петербург), Илью Романова (г. Саратов), Андрея Смирнова (г. Великие Луки), Николая Кочановского (г. С.-Петербург), а также компании – поставщики электронных компонентов «Платан», «Элтех», «Вест-Эл», «Элкомаг», «Симметрон».

Дмитрий Андронников.

Санкт - Петербург

Июль - октябрь 2010 г.