

Усилитель головных телефонов Lynx HA84

За прошедшие со времен разработки получивших широкое признание и популярность «наушниковых» усилителей Lynx HA61 и Lynx HA49 мы стали свидетелями существенных изменений в сегменте средств индивидуального прослушивания музыки.

Существенно вырос технический уровень источников звуковых программ, появились новые модели высококачественных стереотелефонов, резко расширился ассортимент таковых в средней ценовой категории. И, соответственно, для предельной реализации всех возможностей стереотелефонов, потребовался новый специализированный усилитель.

Анализ отзывов о работе и технических параметров двух наиболее популярных моделей HA61 и HA49 привел к выводу о том, что «наушниковый» усилитель, способный реализовать все возможности наиболее качественных стереотелефонов должен обладать одновременно и высочайшей линейностью, и хорошей нагрузочной способностью, т.е. не давать резкого роста искажений при снижении импеданса нагрузки. Самой высокой линейностью обладают «композитные» усилители с многопетлевыми ООС, позволяющими получать исчезающе малые уровни искажений, именно по такой структуре был выполнен Lynx HA49. Но отсутствие до недавнего времени мощных интегральных ОУ с хорошей нагрузочной способностью (лучший из доступных в прежние годы приборов, AD815, позволял работать без быстрого роста искажений до сопротивлений не ниже 50...60 Ом) оставляло данную структуру актуальной лишь для наушников с импедансами от 50 до 200...300 Ом (верхнее значение ограничивалось величиной напряжения питания ОУ +/-15В, что не позволяло получить на нагрузке 300 Ом выходную мощность более 0.3 Вт). И, хотя и эти значения далеко превосходили то, что реализовано в подавляющем большинстве промышленных устройств, всегда хочется немного большего. Дальнейшего расширения диапазона нагрузок можно достичь либо усложнением схемы и введением дополнительных мощных каскадов с более высокими значениями напряжения питания и максимального выходного тока. Но прямая реализация таких схем обычно ведет к резкому увеличению габаритов и стоимости устройства, а также к усложнению настройки ввиду снижения запаса устойчивости из-за дополнительных каскадов и ухудшению термостабильности.

Устройства с однопетлевой ООС по типу ОУ + буфер в цепи ОООС (так реализован Lynx HA61) менее критичны к низким сопротивлениям нагрузки, т.к. буфер несложно сделать достаточно мощным и/или двухкаскадным, практически исключая влияние нагрузки на «слабенький» выход ОУ. Но такие устройства требуют внешних дискретных каскадов, средств температурной стабилизации работы, а при работе на большие сопротивления нагрузки ограничены всё тем же пятнадцативольтовым питанием ОУ. Уровень искажений устройств с однопетлевой ООС в общем случае выше, да и его частотная зависимость выражена сильнее, чем у устройств с многопетлевой ООС.

К сожалению, существенное влияние на топологию «наушникового» усилителя оказывает схема подключения стереотелефонов. Самая неудачная со всех точек зрения – архаичная трехпроводная (в которой общий провод единый для левого и правого наушника) с разъемом-штеккером. При такой схеме имеется существенное взаимовлияние каналов из-за единого общего провода, и (что, на мой взгляд, более существенно) создаются условия для образования замкнутых «земляных петель» с соответствующим возникновением фона и дополнительных помех. Четырехпроводная схема несравненно более удачна, но, к сожалению, реализуется в основном только в самых высококачественных головных стереотелефонах.

Новый усилитель для стереотелефонов Lynx HA84 был разработан с учетом многих факторов, отзывов о работе предыдущих моделей, ряда пожеланий и предложений, а также вышеизложенных моментов. За основу была принята «композитная» схема с многопетлевой ООС, как практически безальтернативная для сверхлинейных усилителей, но с использованием более совершенных мощных ОУ ADA4870 в выходном каскаде, позволяющих работать с напряжениями питания до +/-20В на сопротивлениях нагрузки от 15...30 Ом с намного меньшими искажениями, чем AD815, AD816, TPA6120 и THS6012. Это позволило расширить диапазон использования усилителя по сопротивлениям нагрузки от 25 Ом до 600 Ом (при той же максимальной мощности 0.3 Вт на наиболее высокоомной нагрузке)

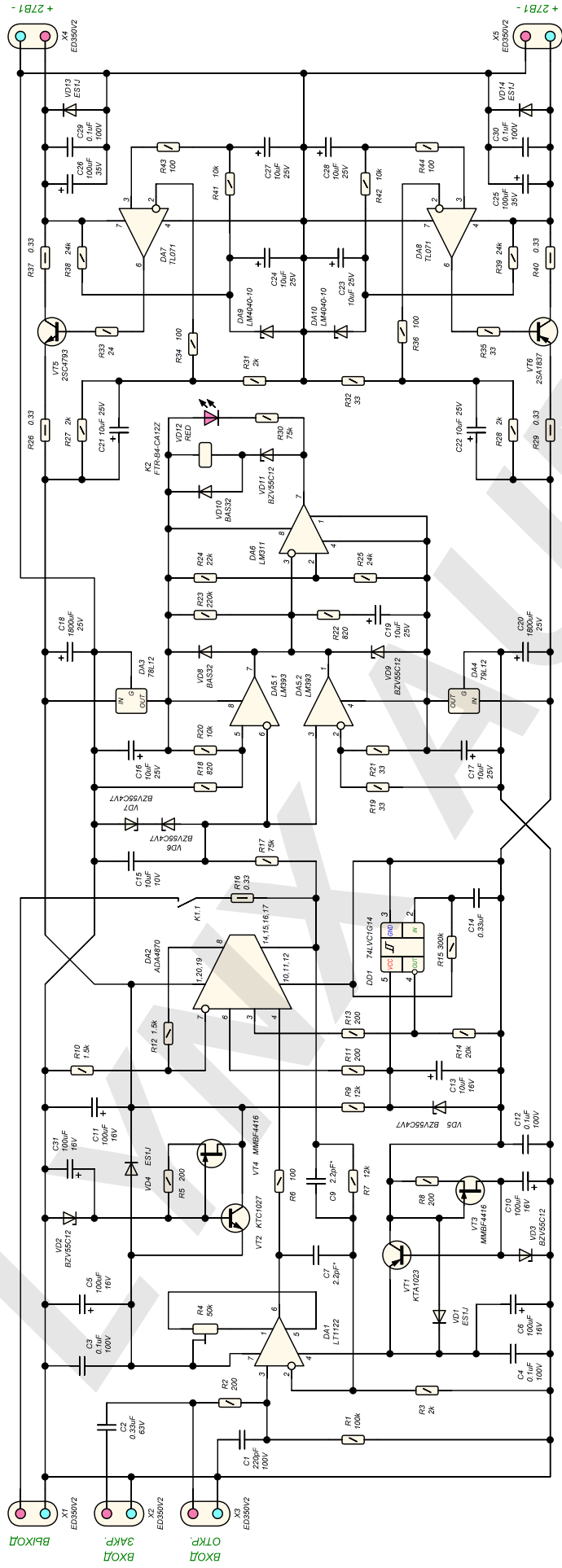


Рис. 1

Конструктивно усилитель выполнен по топологии «двойное моно» - для каждого канала используется отдельная плата. Размещение каждого канала на своей плате позволяет гибко формировать желаемую структуру стереофонического устройства с различными вариантами соединения «земель» и схем подключения наушников. Возможно также использование усилителей в мостовом режиме при условии подачи на входы противофазных сигналов, сформированных, например, с помощью Lynx SDC62. В этом случае обязательна четырехпроводная схема подключения стереотелефонов, но, зато амплитуда сигнала на них может достигать 35В, что позволяет полностью раскрыть возможности очень высокоомных наушников, с сопротивлением до 2 кОм и более (есть такие или нет – мне сиё неведомо, но, т.к. время от времени меня спрашивают о работе с наушниками 1 кОм, то, допускаю, что есть)

На плате размещены все элементы усилителя и системы защиты одного канала, за исключением выпрямителей питания. Это позволяет не лимитировать энерговооруженность первичных источников питания из-за ограниченных габаритов платы, а использовать любое первичное питания желаемого вида и мощности, как сетевое, так и аккумуляторное.

Принципиальная электрическая схема платы усилителя Lynx HA84 приведена на рис.1 На ОУ DA1 и DA2 реализован композитный усилитель с двухпетлевой ООС. Мощный ОУ ADA4870 снабжен служебной схемой запуска на микросхеме DD1, осуществляющей регламентированную даташитом процедуру включения. Схема защиты нагрузки от переходных процессов при включении и при появлении постоянного напряжения на выходе – стандартная, на основе «окошного» компаратора на DA5 и реле времени на DA6. Общее питание устройства – стабилизированное $\pm 20\text{В}$, осуществляется от параметрических высоколинейных стабилизаторов на DA7, DA9, VT5 (+20В) и DA8, DA10, VT6 (-20В). Этими напряжениями непосредственно питается мощный ОУ композитного усилителя. Для получения питания $\pm 12\text{В}$ для входного ОУ используются малошумящие стабилизаторы на VT2, VT4, VD2 и VT1, VT3, VD3. Питание $\pm 12\text{В}$ для системы защиты формируется с помощью интегральных стабилизаторов DA3, DA4.

Все элементы одноканального усилителя размещены на четырехслойной печатной плате размерами 155 x 45 мм. Внешний вид собранной платы приведен на рис. 2

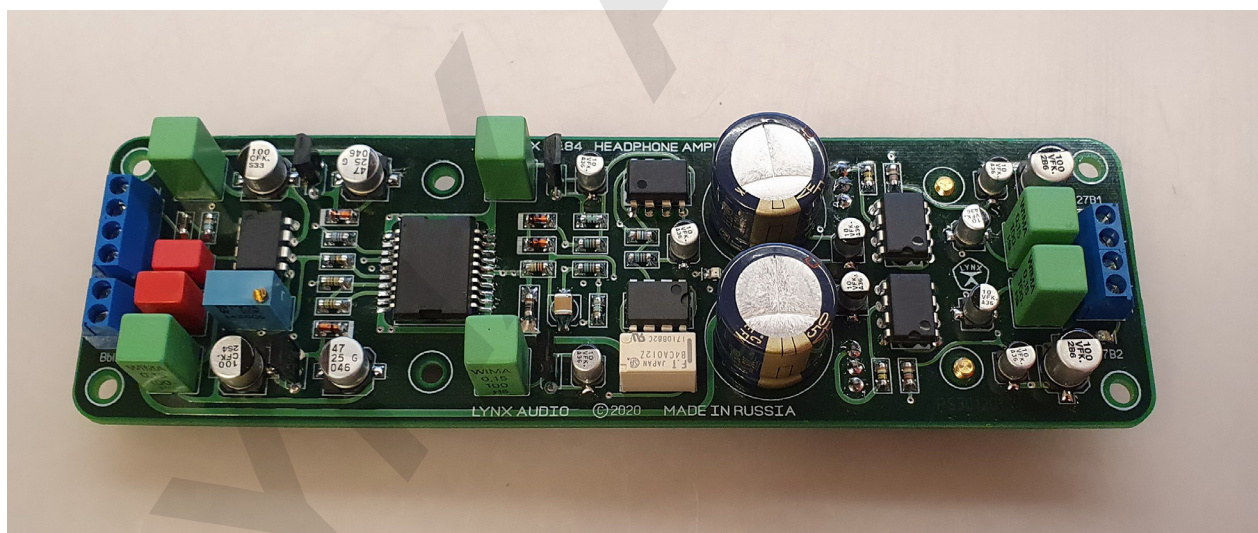


Рис. 2. Усилитель Lynx HA84 (один канал)

Конструктивно плата предназначена для установки на теплоотводящую поверхность – транзисторы стабилизаторов VT5 и VT6 устанавливаются с нижней стороны платы теплоотводящей «подошвой» корпуса наружу. Для отвода тепла от DA2 необходимо использовать специальный теплопровод из алюминия или меди, устанавливаемый в вырез (размером 13 x 8 мм) в печатной плате под DA2. При проектировании платы Lynx HA84 я осознанно отказался от рекомендованного AD и «модного» у многих производителей электроники отвода тепла через металлизацию отверстий платы под микросхемой. Такое решение было принято с целью минимизации температуры остальных компонентов усилителя, что благоприятно сказалось на величине теплового дрейфа «нуля» и надежности.

Кроме того, топология проводников и контактных площадок платы выполнена таким образом, что можно использовать все микросхемы (кроме ADA4870) как в корпусах DIP8, так и в SOIC8.

В усилителе применены пленочные конденсаторы Wima FKP2 и Wima MKP2, электролитические конденсаторы Panasonic FK и FC, керамические конденсаторы Murata. Резисторы в сигнальных цепях – Vishay MMA0204 и MMB0207.

В качестве ОУ DA1 можно использовать широкополосные ОУ с полевыми транзисторами на входе, такие, как AD845, AD744, LT1122, OPA627, OPA827, 544УД2 и ряд других. На плате предусмотрены специальные площадки-перемычки, позволяющие собирать схему балансировки конкретного примененного типа ОУ. Регулирующие транзисторы стабилизаторов могут быть практически любых типов с параметрами не ниже примененных (смотрим даташиты самостоятельно). Общий коэффициент усиления устройства определяется соотношением резисторов R7 и R3 и может быть установлен в пределах от 2 до 100. При этом для выбранного коэффициента усиления нужно подобрать элементы коррекции (C7, C9) по критерию либо максимальной скорости нарастания, либо максимально плоской переходной характеристики. Установка нуля на выходе при отсутствии входного сигнала производится потенциометром R4 после 5-минутного прогрева усилителя в рабочих условиях отвода тепла. Постоянное напряжение на выходе не должно превышать $\pm 1 \dots 2$ мВ.

Остальные элементы схемы усилителя подбора не требуют.

Lynx HA84 обладает исключительно низким уровнем искажений. На рис.3 приведены спектрограммы тестового сигнала при работе усилителя на нагрузку 60 Ом и амплитуде сигнала на выходе 9В. Верхняя спектрограмма – сигнал на выходе усилителя, нижняя спектрограмма – сигнал на входе усилителя (естественно, сигналы нормализованы с учетом коэффициента усиления). Нетрудно видеть, что спектр сигнала на выходе усилителя практически идентичен спектру на входе, из чего следует, что собственные искажения HA84 в указанных условиях, как минимум не выше $-130 \dots -135$ дБ.

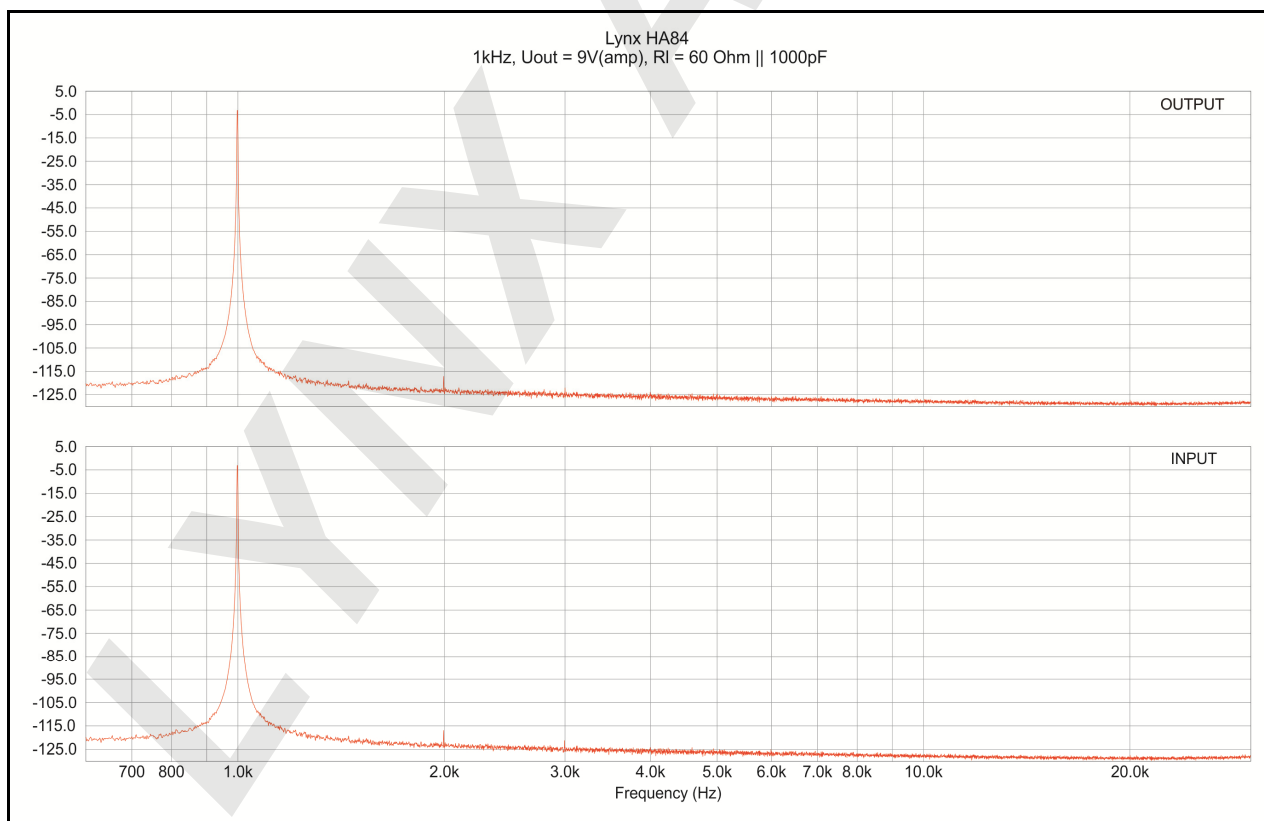


Рис. 3. Спектры сигнала на входе (нижний) и на выходе (верхний) усилителя Lynx HA84

Авторский экземпляр устройства обладает следующими параметрами:

1. Номинальный диапазон частот при неравномерности АЧХ
не более 0.5дБ, Гц, не менее (без входного ФНЧ)..... 0 - 1000000
2. Относительный уровень шумов на выходе в
полосе 100кГц, дБ, не выше..... -120
3. Относительный уровень гармонических искажений
и помех в полосе частот 80 кГц при работе на
нагрузку 60 Ом и амплитуде выходного
напряжения 9В, дБ, не выше..... -133
4. Максимальная амплитуда тока нагрузки, мА, не менее..... 1000
5. Максимальная амплитуда напряжения на выходе, В, не менее..... 18
6. Минимально допустимое сопротивление нагрузки, Ом..... 8
7. Максимальная выходная мощность на нагрузке 32 Ом, Вт..... 5
8. Скорость нарастания выходного напряжения при коррекции
по критерию плоской ПХ (DA1 = LT1122), в/мкс, не менее..... 160
9. Скорость нарастания выходного напряжения при коррекции
по критерию максимального быстродействия, в/мкс, не менее..... 230

На рис. 4 и рис. 5 приведены форма синусоидального сигнала частотой 500кГц при работе на нагрузку 75Ом с параллельной емкостью 470пФ и форма переходной характеристики при таких же параметрах нагрузки

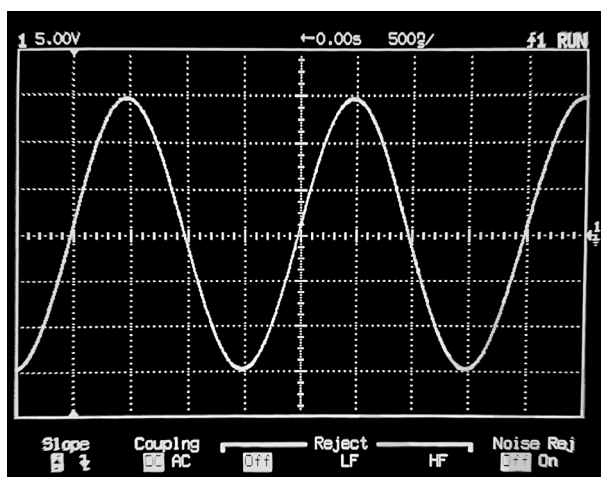


Рис. 4. 500 кГц 15 В

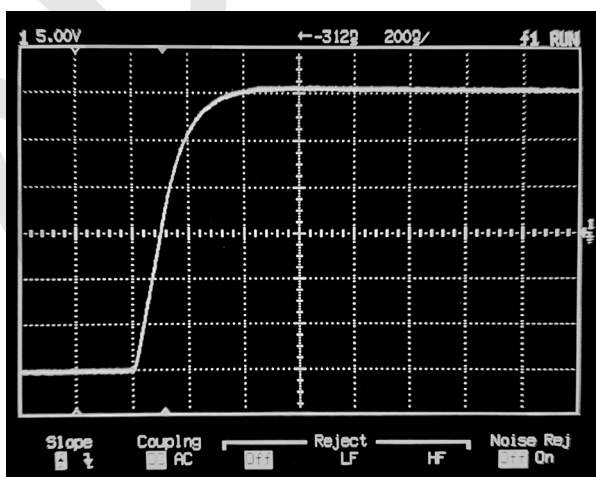


Рис. 5. 160 В/мкс

Субъективно усилитель проверялся при работе на телефоны Audio-Technica ATH-A950, Audio-Technica ATH-L5000, AKG K-1000 и Focal Utopia. Со всеми указанными наушниками усилитель обеспечивает отличное звучание с высочайшим разрешением, позволяющее прослушивать музыку самых разных жанров и стилей достаточно длительное время без малейшего утомления. Он отлично справляется как с низкоомными устройствами, требующими для работы достаточно большой ток при относительно небольших напряжениях, так и с высокоомными, которым требуется приличная амплитуда напряжения. Оказавшийся под рукой во время экспериментов ЦАП-усилитель Focal Arche не смог составить даже отдаленной конкуренции и был отстранен от сравнений уже после первых минут.

Дмитрий Андронников (Lynx Audio)
Сергей Жуков (Lynx Audio)
Малая Вишера,
Санкт – Петербург, Москва
Весна-лето 2020