

Ультралинейный одноканальный транзисторный усилитель

Игорь Кацай

Как известно, аудио усилители по своему назначению условно делятся на 3 группы: очень мощные (где главное – это мощность, достаточная для озвучивания больших пространств, а качество звука, хоть и немаловажно, но вторично), средней мощности (предназначенные для небольших помещений, для домашнего использования –

здесь гораздо больший упор делается на качество звука, особенно если речь идёт о студийной технике), и так называемые «аудиофильские» (где главное – это качество звука «на слух», а всё остальное вторично).

Одним из ярких представителей этой третьей группы, безусловно, является усилитель английского инженера-электронщика Джона

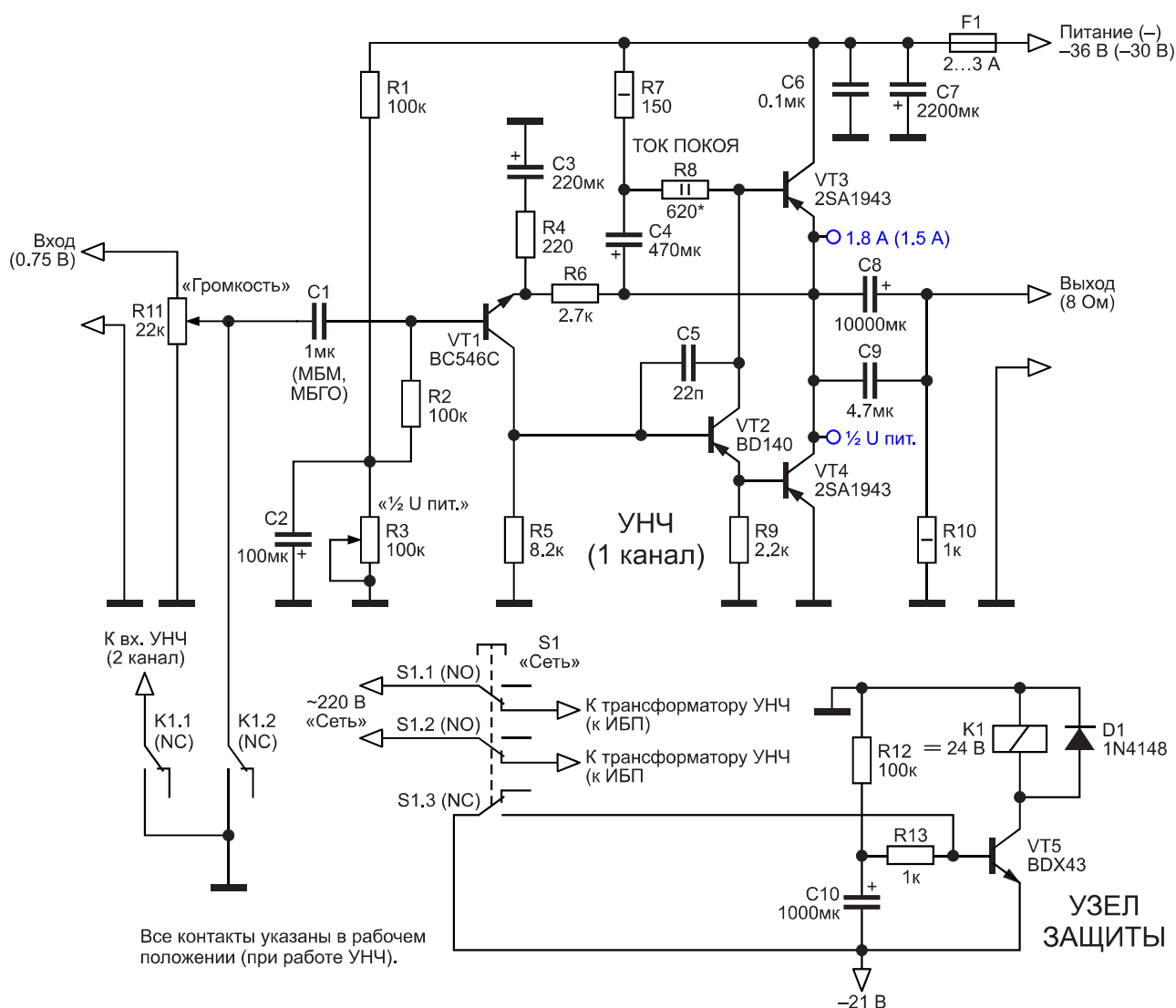


Рисунок 1. Схема усилителя.

Лоуренса Линсли-Худа (JLH), схема которого была впервые опубликована в 1969 году. Это так называемая однотактная схема с разделённой нагрузкой. При использовании качественной высокочувствительной акустики и хорошего источника звука этот транзисторный усилитель обеспечивает по-настоящему великолепное качество звучания, ничем не уступающее лампе, — такой же быстро ниспадающий спектр гармоник, практическое отсутствие гармоник высших порядков, минимальный уровень интермодуляции в системе УНЧ-акустика, очень высокая линейность (в полосе 20 Гц - 1 МГц) и низкий уровень шумов. Вряд ли найдётся человек, которому звук этого усилителя не понравится.

Впоследствии были предприняты многократные попытки (в том числе и самим Худом) улучшить схему, но все они приводили к ухудшению звука, даже если и улучшались объективные параметры УНЧ. По признаниям самого Худа, даже добавление «одного правильного транзистора в правильное место» (вольный перевод) негативно сказывается на звуке, хотя параметры и улучшаются.

Поэтому на Рисунке 1 представлена оригинальная схема JLH 1969 на современной элементной базе.

А на Рисунке 2 показан спектр гармоник усилителя при подаче на вход синусоидального сигнала частотой 5 кГц.

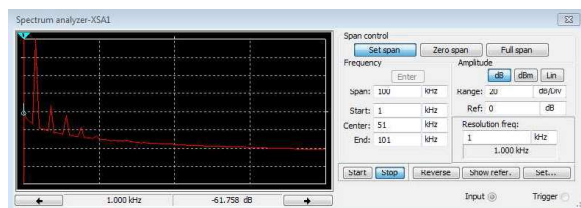


Рисунок 2. Спектр усилителя на частоте 5 кГц.

Схема предельно проста, но для получения хорошего качества необходимо использовать транзисторы с высоким коэффициентом усиления тока (β , бета):

1. Бета транзистора VT1 — не менее 600 (я ставил 650).
2. Бета транзистора VT2 — не менее 250 (нашёл даже 340).
3. Бета VT3 и VT4 — не менее 100. Причём бета VT4 должна быть больше, чем бета VT3.

И очень желательно измерять бета мощных транзисторов при токе коллектора 1.5 А.

Конструкция и детали

Мощные выходные транзисторы можно использовать только настоящие, оригинальные (в моём случае — Toshiba) с маркировкой «О». (Это классификация по коэффициенту усиления). Так как из всех имеющихся у меня настоящих транзисторов 2SC5200 с высокой бетой нашлись лишь два, я решил использовать 2SA1943 (4 из которых были с бетой от 132 до 155), изменив схему Худа на отрицательное питание. Хотя раньше и считалось, что транзисторы этой проводимости чуть «медленнее», никаких видимых и слышимых изменений не произошло.

Транзистор VT2 надо установить на маленький радиатор.

Все резисторы с неуказанной мощностью — по 0.25 Вт. (Можно по 0.5 Вт).

Для лучшего звука конденсатор C1 должен быть типа МБМ или МБГО. Он может быть номиналом 1...2 мкФ. При использовании МБГО его надо предварительно «раздеть», сломав стеклянные изоляторы, аккуратно разобрав корпус и удалив картон. Затем конденсатор на 1...2 секунды опускается в расплавленный парафин, а после остывания на него в 2 слоя надевается термоусадочная трубка. Греть «термоусадку» надо быстро и аккуратно, чтобы не перегреть сам конденсатор. Выводы изгибаются в стороны. Первый слой надевается вдоль, усаживается, выводы изгибаются вниз, а второй слой из большей трубки — поперёк. Так достигается полная герметизация.

(Обратите внимание! Старые (или б/у) конденсаторы МБМ часто имеют утечку. Такие использовать нельзя! Перед использованием обязательно надо измерять их ёмкость. Если она больше указанного значения с учётом номинального допуска, значит конденсатор неисправен).

Конденсатор C9 можно использовать К73-17, К73-16. А конденсатор C8 лучше составить из двух параллельно соединённых по 4700 мкФ.

При питании 30 В мощность усилителя составит 12.5 Вт, а при 36 В — 15 Вт (на нагрузке 8 Ом).

При питании 30 В ток покоя должен быть установлен на уровне 1.5...1.6 А, при 36 В – 1.8...1.9 А (также при нагрузке 8 Ом).

Чувствительность УНЧ – 0.75 В (действующее); уровень гармоник – 0.02% (1 кГц), 0.04% (20 кГц).

Усилитель идеально работает на нагрузку 8 Ом. Он будет хорошо работать и на 4 Ом, но при работе на 4 Ом надо вдвое увеличить ток покоя, а это приведёт к «тяжёлому» режиму работы выходных транзисторов и к большому тепловыделению.

Реле К1 узла защит – малогабаритное на постоянное напряжение 24 В, с двумя группами посеребренных контактов (Ni-Ag), с сопротивлением обмотки 1.4...1.5 кОм. Оно включается после подачи питания (S1) с задержкой, а выключается при отключении питания моментально, что предотвращает любые щелчки и т.д. в акустике. Транзистор VT5 узла защит можно заменить на BDX53, KT972. Радиатор ему не нужен. Питается узел защит

(вместе с вентилятором) от отдельного блока питания 21 В, но здесь возможны любые другие варианты.

В качестве сетевой кнопки (S1) используется выключатель с тремя независимыми контактами (два нормально разомкнутых и один нормально замкнутый) – импортный аналог ПКН-41.

Настройка

R11 устанавливается в «0». Вместо R8 впаявается потенциометр 1.5...2.5 кОм, предварительно установленный на максимальное сопротивление. Через амперметр на УНЧ подаётся питание. С помощью R3 в точке соединения выходных транзисторов устанавливается ровно половина напряжения питания. (Внимание! Из-за C2 изменения происходят с некоторой задержкой). Затем с помощью R8 устанавливается требуемый ток покоя. После прогрева радиаторов, возможно, потребуется повторить эти регулировки.

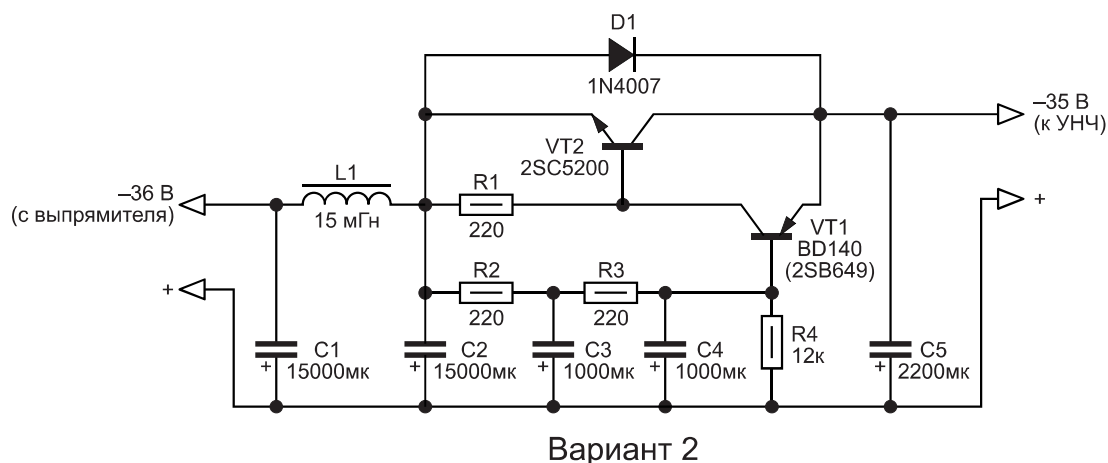
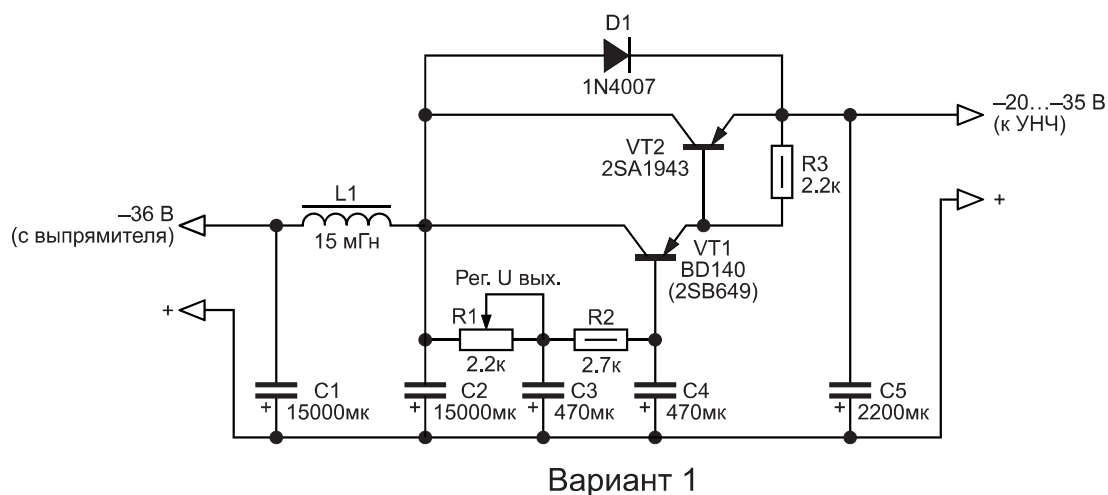


Рисунок 3. Фильтры питания для УНЧ.

Выключается питание, потенциометр аккуратно выпаивается, измеряется его номинал и на его место впаивается 2-ваттный резистор этого номинала (возможно, его придётся собрать из нескольких).

При использовании указанных транзисторов и соблюдении номиналов деталей я ни разу не столкнулся с генерацией при сборке этого УНЧ. Поэтому стандартную цепочку Цобеля здесь не использую. Если же у вашего усилителя появится генерация – добавьте её.

Питание и охлаждение

Для питания УНЧ класса А идеален либо импульсный стабилизатор напряжения, либо просто импульсный блок питания (ИБП). Я использовал купленный ИБП Schneider мощностью 240 Вт, прикрепив его задней стенкой к корпусу УНЧ для лучшего отвода тепла. Правда, этот ИБП был рассчитан на 24 В (регулируемое выходное напряжение от 21.5 до 27.5 В), и пришлось переделать его на 36 В (от 27.5 до 36 В). Использование ИБП раз и навсегда избавляет от НЧ фона, наводок и необходимости правильной и аккуратной разводки «земли». Если же вы предпочитаете использование трансформатора, то надо следовать простым правилам:

1. Установить после выпрямителя активный фильтр, например, один из изображённых на Рисунке 3 или подобный. (В варианте 1 фильтра возможна замена 2SA1943+BD140 на один KT825).
2. Зашунтировать диоды выпрямителя ёмкостями по 0.01...0.1 мкФ.
3. Разъём входного аудио сигнала не должен своей «массой» касаться корпуса устройства.
4. Соединение «массы» блока питания с корпусом устройства должно быть только в одном месте (после фильтра блока питания).
5. Экранировать трансформатор либо разместить его в отдельном экранированном отсеке устройства.
6. Разводить на плате «землю» звездой.

Выходные транзисторы устанавливаются на радиатор через изоляторы из тонкой слюды, смазанные термопастой с обеих сторон. При использовании пассивного охлаждения радиаторы должны быть с вертикальным



Рисунок 4. Внешний вид усилителя.



Рисунок 5. Расположение УНЧ в корпусе.

рёбрами и иметь площадь не менее 2500...3000 см² на каждый канал. При питании 30 В, нагрузке 8 Ом и токе покоя 1.5 А в своём усилителе я применил активное охлаждение (вентилятор) и радиатор с горизонтальными рёбрами площадью 2000 см², как это видно на Рисунках 4 и 5. При этом вентилятор желательно использовать качественный, тихий (на шарикоподшипниках, а не на подшипниках скольжения) и достаточно мощный. Например, я установил вентилятор на 12 В и 0.45 А, снабдив его простым устройством автоматической термозависимой плавной/дискретной регулировки оборотов двигателя. При нормальной температуре в помещении он крайне редко повышает обороты выше среднего и не создаёт шума. А температура радиаторов немного превышает 40 °С. И только в очень жаркие дни и при плохой циркуляции воздуха в помещении иногда доходит до 45...50 °С. Тогда ненадолго повышаются и обороты.

Схема УНЧ проста, и изготовление печатной платы не составляет большого труда. Я делал плату вручную, надёжно, но не очень



Рисунок 6. Фото передней панели.



Рисунок 7. Фото задней стенки.

красиво, поэтому не привожу её чертёж. Остальное зависит от вашего вкуса. Например, я кроме основного и главного RCA (тюльпан) аудио входа для CD установил ещё оптический и коаксиальный входы, Bluetooth 5.0 и слот для подключения SD-карты, хотя лично я всем этим и не пользуюсь. Фото готового устройства представлены на Рисунках 6 и 7. [РЛ](#)

Материалы по теме

1. [Datasheet Toshiba 2SA1943](#)
2. [Datasheet Toshiba 2SC5200](#)
3. [Datasheet Fairchild BC546C](#)
4. [Datasheet STMicroelectronics BD140](#)
5. [Datasheet Philips BDX43](#)