

AUDIO HI-FI УМЗЧ без тепловых и коммутационных искажений

Александр Петров, г.Могилев

На эту статью меня натолкнуло упоминание о новых исследованиях Дугласа Селфа [1], который для устранения недостатков двухтактного эмиттерного повторителя пришел к решению, уже давно применяемому для повышения линейности ОУ. На мой взгляд это решение не исключает проблему до конца, коммутационные искажения перенесены в сторону (рис. 9 [1]), т.е. смещены выше; дополнительно нагружено одно плечо усилителя, что снижает его надежность.

Еще более 15 лет назад М. Дорофеев [2] отметил, что выходной каскад УМЗЧ выгоднее строить по схеме генератора тока, нежели по схеме генератора напряжения. В усилителях тока сигнал на транзистор подается от источника с большим внутренним сопротивлением, т.е. от генератора тока. В этом случае ток в цепи базы мало зависит от входного сопротивления и определяется в основном внутренним сопротивлением источника тока. Кривая зависимости тока коллектора от тока базы проходит через начало координат и на начальном участке практически линейна.

Поэтому для себя с некоторых пор я уже решил: нет двухтактного эмиттерного повторителя, нет и проблем. Мало того, что ему свойственны тепловые искажения, а также коммутационные искажения при переходе через ноль, но гораздо большие искажения происходят из-за ЭДС самоиндукции динамических головок на протяжении всего сигнала.

Вся беда заключается в том, что нагрузка УМЗЧ носит в лучшем случае индуктивный характер - просто динамическая головка, а в случае нагрузки в виде пассивной многополосной акустической системы на различных частотах могут одновременно присутствовать нагрузки в виде параллельного, последовательного контура и просто индуктивная нагрузка.

Поскольку нагрузка в большей степени все же носит индуктивный характер, то любое изменение тока (приращение, убывание) приводит к возникновению ЭДС самоиндукции (напряжение противоположное по знаку напряжению, вызвавшему изменение тока).

До тех пор, пока оба выходных транзистора УМЗЧ класса АВ открыты, выходное сопротивление двухтактного эмиттерного повторителя имеет более или менее симметричное выходное сопротивление и противодействует ЭДС самоиндукции. Известно, что по достижении определенного выходного напряжения одно из плеч закрывается и выходной каскад переходит в режим класса В. Предположим, на выходе УМЗЧ положительная часть сигнала. В момент кратковременного спада сигнала (в базе верхнего транзистора напряжение уменьшается) ЭДС самоиндукции будет препятствовать этому спаду (т.е. в эмиттере транзистора будет кратковременно нарастать напряжение), что может приводить к кратковременной отсечке и верхнего плеча двухтактного эмиттерного повторителя и соответственно к полному раздмппированию громкоговорителя. Поскольку пограничное напряжение отсечки нижнего плеча очень мало, то в такие моменты будет иметь место его постоянное включение и выключение, чем и объясняется резкий прирост искажений высшего порядка. А теперь достаточно посмотреть на осциллограмму звукового сигнала в растянутом виде (сколько таких перепадов на одной половине сигнала) и все станет ясно. В несколько лучшем положении находятся усилители с полевыми транзисторами на выходе, т.к. порог их открывания находится в пределах 2...4 В против 0,5...0,6 В у биполярных транзисторов.

Выходные каскады подавляющего большинства ламповых усилителей работают в режиме с общим катодом. Аналогично и транзисторные усилители с общим эмиттером (как работающие в режиме генератора тока) меньше подвержены реакции со стороны нагрузки. В [3] была опубликована схема УМЗЧ, которая не сразу привлекла мое внимание. Но спустя некоторое время я все же решил ее промоделировать и проверить, так ли все хорошо на самом деле, как там написано. Модернизированный вариант усилителя был опубликован в [4]. Дальнейшая работа над усилителем была направлена на введение защиты, увеличение выходной мощности и снижение искажений. Результат моделирования представлен на рис. 1.

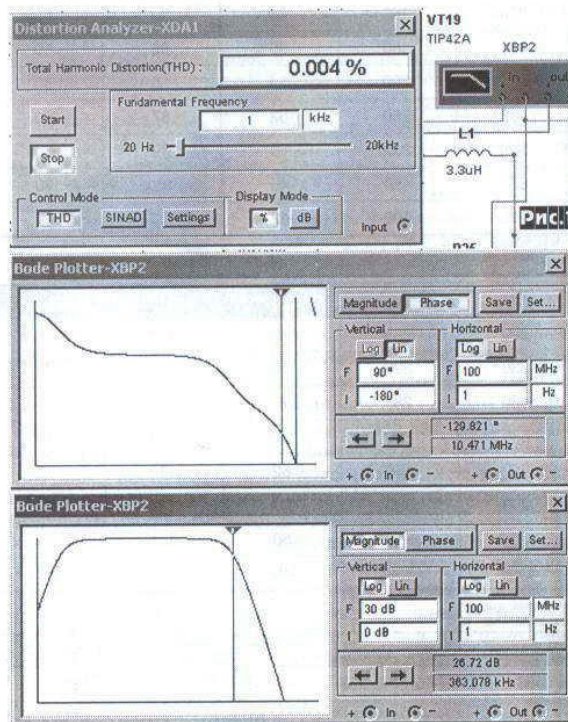


Схема усилителя представлена на рис. 2. Входной дифференциальный каскад выполнен по каскодной схеме. Поскольку правое плечо дифкаскада имеет небольшое усиление по напряжению, то оно практически не подвержено эффекту Миллера, а потому оставлено обычным. Каскодное исполнение дифкаскада расширяет полосу его пропускания, увеличивает коэффициент усиления по напряжению и выходное сопротивление. В качестве выходных использованы транзисторы фирмы Toshiba с высокой граничной частотой (30 МГц), имеющие стабильный статический коэффициент передачи тока базы при токах коллектора практически от нуля до 10 А и более. Полоса пропускания усилителя ограничена на входе уже ставшей стандартной цепочкой R1, C2.

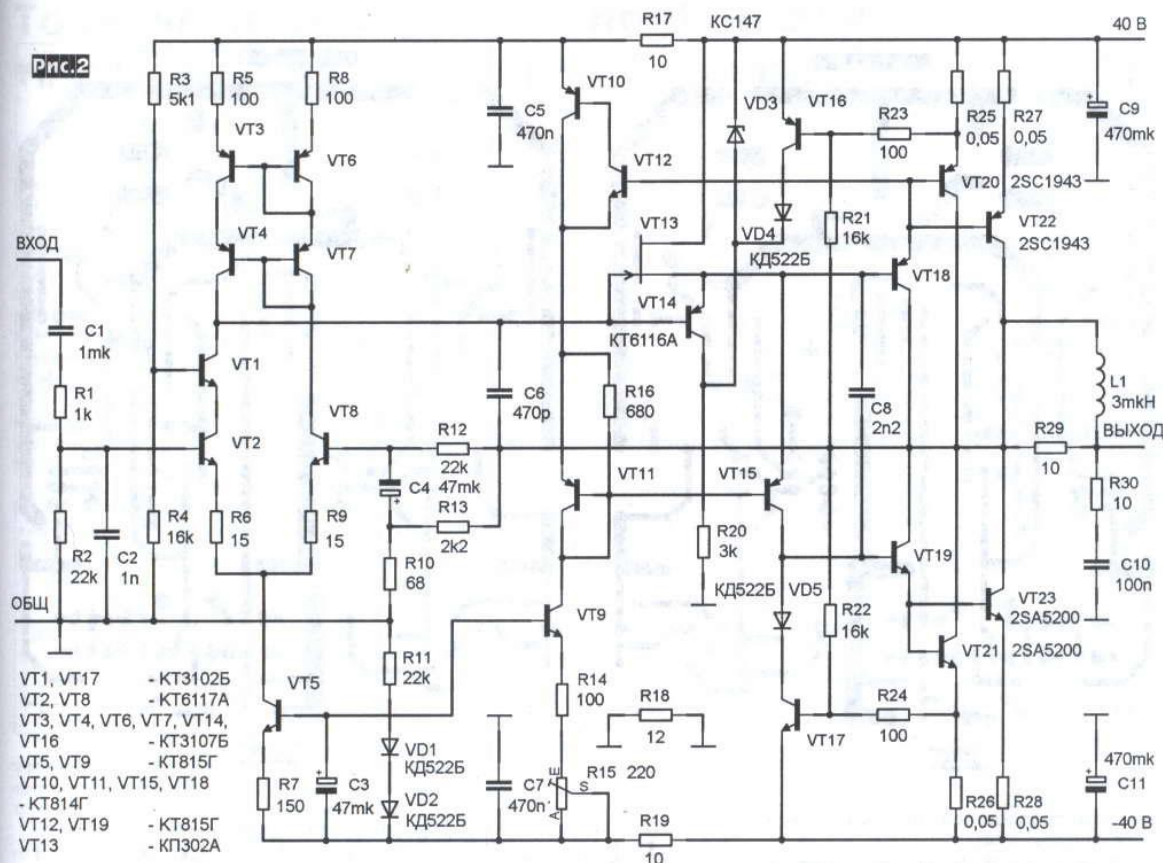
На транзисторах VT13, VT14 выполнен гибридный двухтактный повторитель напряжения, который согласует высокое выходное сопротивление дифкаскада с относительно низким входным сопротивлением выходного каскада.

Выходной каскад УМЗЧ выполнен на составных транзисторах по схеме с общим эмиттером. Причем для увеличения выходной мощности, снижения выходного сопротивления и повышения надежности выходные транзисторы спаренные. Усилитель со спаренными выходными транзисторами более «честно» отрабатывает сигнал, имеет более плотный, напористый звук. Емкость конденсаторов по питанию желательно иметь не менее 10...20 тыс. мкФ на плечо канала. С целью повышения выходной мощности напряжение питания может быть увеличено до ± 45 В. Дальнейшее повышение напряжения питания потребует замены транзисторов КТ814Г и КТ815Г на более высоковольтные, например, КТ850, КТ851 или зарубежные.

Защита УМЗЧ от перегрузки и КЗ в нагрузку выполнена по одной из известных схем [5] на транзисторах VT16, VT17.

Характерная особенность усилителя в том, что он практически полностью использует напряжение питания, что благоприятно сказывается на его КПД и надежности.

Данный усилитель тестировался музыкантами и сравнивался с профессиональным усилителем фирмы Toshiba мощностью 200 Вт с полевыми транзисторами на выходе. Все едино-



душно отдали предпочтение данному усилителю, как имеющему более чистое и прозрачное звучание, более плотный и напористый звук, который не утомляет при длительном прослушивании на любой громкости. По выражению одного из музыкантов, он звучит «вкуснее». УМЗЧ имеет следующие **технические характеристики**:

Чувствительность, мВ	775
Выходная мощность на нагрузке 4 Ом, Вт	150
Полоса частот, Гц	10...100000
Полоса пропускания без R1, C2 и L1, кГц	360
Частота единичного усиления, МГц	10
Запас по фазе, градусов	50
Коэффициент гармоник, %, не более	0,01
Динамический диапазон, дБ	90
Коэффициент усиления по напряжению, дБ	29,6

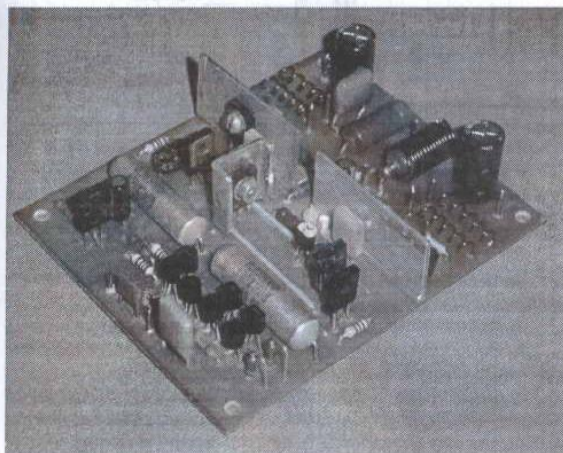


Рис. 3

Конструкция и детали. Фото внешнего вида собранной платы показано на **рис. 3**. Транзисторы VT11, VT15 установлены на небольшом общем теплоотводе (П-образном «флажке»), что способствует улучшению термостабилизации. Причем транзистор VT11 установлен через слюдяную прокладку. Теплоотводы транзисторов VT18, VT19 представляют собой «флажки» длиной 35 мм и выполнены из алюминиевого уголка 15х15 мм. Одна полка удалена почти полностью, за исключением небольшого участка сбоку для крепежного резьбового отверстия (см. **рис. 6**). Конденсаторы C6, C8 слюдяные (К31-11 или аналогичные) с рабочим напряжением 250 В. Конденсаторы C5, C7 типа К73-17 на 160 В, их емкость (в случае отсутствия необходимых) может быть уменьшена до 0,1...0,25 мкФ, можно использовать и бумажные. Конденсаторы C9, C11 должны быть с рабочим напряжением 50 В и более. С целью уменьшения габаритов стабилизатор VD3 использован в пластмассовом корпусе.

Транзисторы дифкаскада VT2, VT8 и VT3, VT6 желательно подобрать с близкими коэффициентами усиления.

Транзисторы VT3, VT4, VT6, VT7, VT14 и VT16 можно заменить на КТ3107И, транзисторы VT5, VT9 - на КТ602Б, транзисторы КТ814, КТ815 должны быть с буквой Г и желательно минского завода Интеграл (частота единичного усиления 40 МГц), можно заменить на BD140 и BD139 соответственно. При питании ± 30 В и менее вместо транзисторов КТ814 и КТ815 можно использовать более высокочастотные транзисторы КТ626В и КТ646. В качестве выходных транзисторов с несколько худшим результатом можно использовать и отечественные транзисторы типов КТ818ГМ, КТ819ГМ. Поскольку выходные транзисторы объединены коллекторами, то их можно устанавливать на один изолированный теплоотвод без прокладок, что благоприятно сказывается на улучшении отвода тепла.

Примечание. Необходимо помнить, что цоколевка транзисторов КТ6116, КТ6117, КТ626 зеркальная по сравнению с КТ3107, КТ3102 и КТ814 соответственно. Осо-

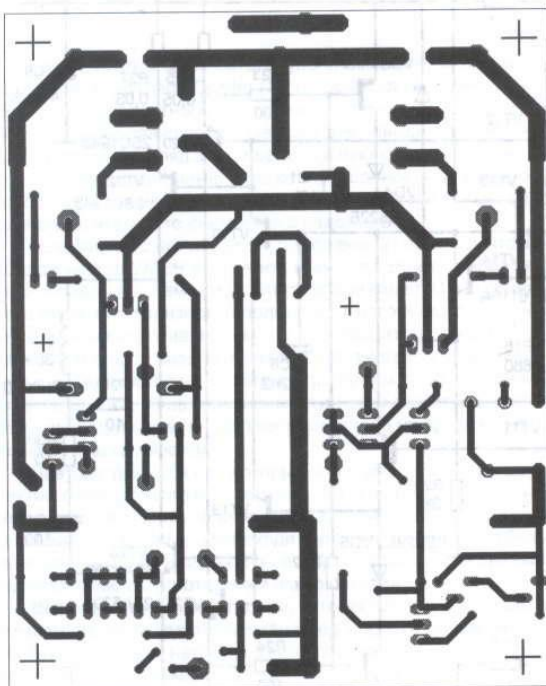


Рис.4

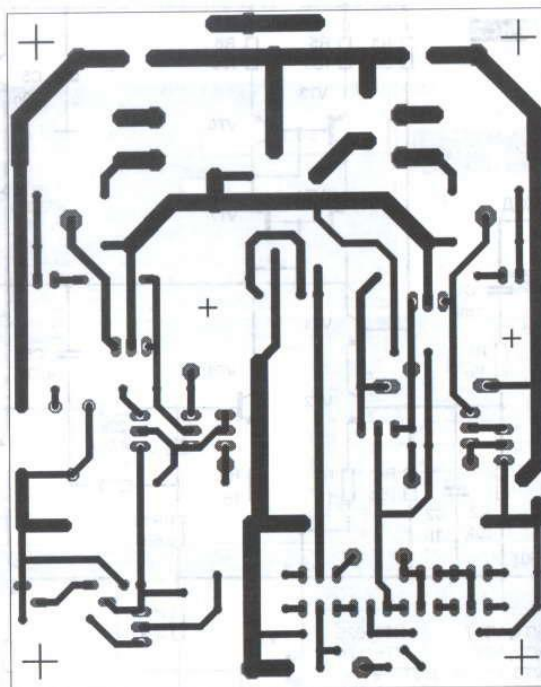


Рис.5

бенности подбора полевого транзистора VT13 описаны в [4].

Резисторы R25 - R28 проволочные, намотаны манганиновым проводом диаметром 0,8 мм и длиной 6 см. Дроссель L1 намотан проводом ПЭВ-2 диаметром 0,67 мм поверх резистора МЛТ мощностью 2 Вт до заполнения.

Рисунок печатной платы «на просвет» размером 100x80 мм (для лазерно-утюжной технологии) показан на рис.4, со стороны проводников - на рис.5, сборочный чертеж - на рис.6.

Плату усилителя желательно располагать недалеко от выходных транзисторов. Соединительные провода берут достаточного сечения и минимально возможной длины, распаивают на усиленные подпаянные точки и свивают в жгут. Базовый провод можно взять несколько меньшего сечения. Общий провод на выходные клеммы необходимо взять непосредственно с блока питания (с фильтрующих конденсаторов). Усилитель желательно оснастить и схемой защиты громкоговорителей от постоянного напряжения на выходе.

Налаживание. Первое включение усилителя («оживление») рекомендуется выполнить при пониженном питании, например ± 15 В. Для нормальной работы транзистора VT14 параллельно резистору R20 необходимо временно припаять резистор сопротивлением 1 кОм. Только после того как вы убедитесь, что усилитель работает правильно и ток покоя выставляется в заданных пределах можно отпаять резистор 1 кОм и подать полное напряжение питания. Если ток покоя велик, необходимо подобрать резистор R16.

Налаживание усилителя сводится к установке тока потребления усилителем в пределах 150...250 мА подстроечным резистором R15.

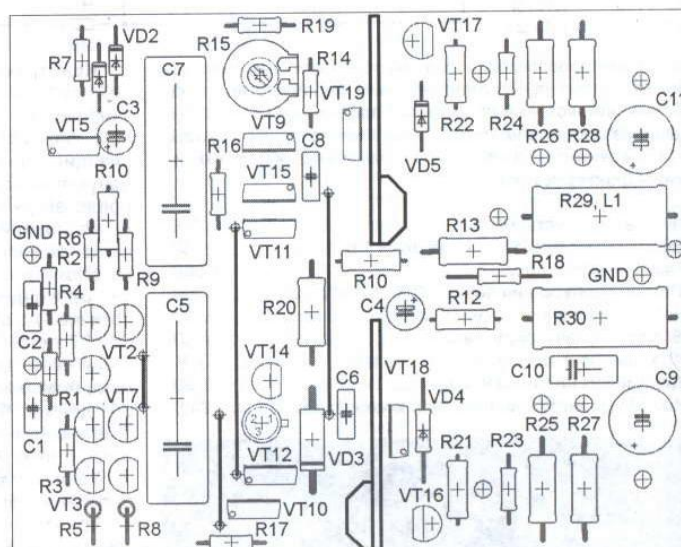


Рис.6

Литература

1. Радиолюбби 1/2007, с.14-16.
2. М.Дорофеев. Режим В в усилителях мощности ЗЧ. Радио 3/1991, с.53...56.
3. Радиолюбби 1/2000, с.8-10.
4. А.Петров. Активный трехполосный кроссовер. Радиомир 12/2006, с.5...7.
5. П.Шкритек. Справочное руководство по звуковой схемотехнике, М, Мир, 1991