Техническое описание усилителя

Устройство было спроектировано для работы с ортодинамическими стереотелефонами с сопротивлением 40 - 100 *Ом*.

Рассматривалась двухтактная топология. В то же время, было желание проверить свойства биполярных транзисторов при токовом управлении. При удачной реализации в выходном каскаде можно использовать режим B, сохранив приемлемый уровень искажений усилителя.

Считается, что у биполярных транзисторов зависимость тока коллектора от тока базы более линейна, чем зависимость тока коллектора от напряжения база - эмиттер. Для германиевых транзисторов зависимость тока коллектора от тока базы практически не имеет начального порога, т.е. коллекторный ток начинает течь сразу же, как только появится ток базы. У кремния ток коллектора потечет, когда ток базы достигнет некоторой величины. Возможно, это связано с различными потенциальными барьерами переходов и различной работой выхода носителей заряда для этих материалов. Возможно, β германиевых транзисторов при малых токах коллектора больше, чем у кремниевых. Однако реализация токового управления в выходном каскаде в режиме B на германиевых транзисторах значительно упрощается, по сравнению с каскадом на кремнии, где пришлось бы задавать начальный ток баз транзисторов. Таким образом, была выбрана старая элементная база для постройки усилителя.

Несмотря на столь “древнюю” элементную базу, усилитель обладает неплохими характеристиками:

При нагрузке 40 *Ом*

Выходная мощность, мВт 800

Полоса до 150 кГц по уровню -3 дБ

Неравномерность АЧХ (в диапазоне 40 Гц - 15 кГц), дБ +0.36, -0.37

Уровень шума, дБ (А) -89.0

Динамические диапазон, дБ (А) 89.0

Гармонические искажения, % 0.033

Интермодуляции на 10 кГц, % 0.069

При нагрузке 16 *Ом*

Гармонические искажения, % 0.057

Интермодуляции на 10 кГц, % 0.104

Схема повторяет традиционный трехкаскадный ОУ, охваченный обратной связью по напряжению глубиной около -26,5*дб* (на средних частотах).

Первый каскад – дифференциальный, построен на лампе Л1, источнике тока на T2 и токовом зеркале Видлара (T1, D2, R5, R7). Такое построение позволило обеспечить близкое к токовому управление транзистором Т3, на котором реализован второй каскад усиления напряжения. Его нагрузкой служит источник тока на транзисторе T4. В целом, схема на T1, T3, D2, R5, R7 может рассматриваться, как токовое зеркало Вильсона.

Особенность первых каскадов – применение электровакуумного прибора, призванного улучшить характеристики дифференциального усилителя, для снижения динамических искажений, и асимметричное питание +30*в*; -9*в*. Для лампового каскада ЭДС анодного источника можно было бы взять побольше, но низкие пробивные напряжения старых транзисторов накладывают некоторые ограничения.

Изначально хотелось получить, по возможности, универсальный усилитель, способный эффективно работать с разными наушниками, имеющими различное сопротивление.

Учитывая, что усилитель задумывался, как система с малым выходным сопротивлением, желаемую универсальность можно получить, рассчитав напряжение питания усилителя для получения необходимой мощности на сопротивлении нагрузки, соответствующем сопротивлению наиболее часто используемых наушников. Наушники с меньшим сопротивлением могут быть раскачаны полностью (до паспортной мощности). Более высокоомные телефоны, как правило, обладают большей чувствительностью, что может компенсировать недостаток мощности.

Какое же напряжение сигнала должен обеспечивать усилитель на заданной нагрузке?

Советские ЭХО Н16 - 40С, согласно руководства по эксплуатации, имеют 750 милливатт паспортной мощности, однако допускают 6 вольт эффективного напряжения (в руководстве по эксплуатации этот параметр оговорен отдельно), что составит 900 милливатт. Для 100 - омного варианта наушников 9 вольт и 810 милливатта соответственно. Сходные по параметрам и конструкции преобразователей ТДС – 5 имеют 1000 милливатт паспортной мощности.

Остановимся на 40 – омной версии ЭХО Н16 (на сегодня доступны в состоянии NOS). Для получения 750 милливатт на 40 – омной нагрузке нам понадобится:

Учитывая напряжение насыщения выходного транзистора (для ГТ402, ГТ404 – 0,3 *в*), а так же минимальное падение напряжения на источнике тока, получаем ЭДС источника питания:

*Eпит*=7,7459*в*+0,3*в*+1,65*в*=9,6959*в*.

При этом максимальный ток в нагрузке:

,

что для наших условий составит:

Таким образом, для двухполярного источника можно применить стандартные интегральные стабилизаторы напряжения на 9 - 10 *в*.

Что будет, если к усилителю подключить наушники со значительно большим сопротивлением, скажем, распространенные Sennheiser HD600? Эти наушники обладают сопротивлением 300 *Ом*, уровнем характеристической чувствительности(SPL) 97*дБ/мВт*, паспортной мощностью 200 милливатт. Максимально возможный уровень звукового давления можно определить, как десять десятичных логарифмов подводимой мощности над уровнем звукового давления, соответствующего чувствительности излучателя, или:

Р(*дБ*) = SPL(*дБ/вт*) + 10log(P(*вт*))

Максимальное напряжение, развиваемое усилителем, составляет 7,7459*в*, на 300*Ом* выделится мощность:

,

При такой подводимой мощности наушники создадут уровень звукового давления:

,

что на 3*дб* меньше максимально возможного, для этих наушников. Вряд ли будет ощущаться недостаток громкости (случайное подтверждение “правила трех децибел”: при удвоении подводимой мощности уровень звукового давления изменяется на 3дб).

Выходной каскад – двухтактный, собран на транзисторах Т5, Т6, Т7, Т8, по комплиментарной схеме Шиклаи. Особенностью каскада является токовое управление. Резисторы R13, R14 предназначены для измерений и могут быть исключены. Для получения обратной связи переставьте их в “эмиттеры” составных транзисторов. Для повышения устойчивости усилителя, нагрузка подключена к выходу через дроссель индуктивностью около 5*мкгн* (39 витков проводом диаметром 0,69мм на каркасе диаметром 7мм, намотка в два слоя). Если планируется использование телефонов с импедансом 16 *Ом*, выходные транзисторы желательно снабдить теплоотводами (для таких нагрузок можно рекомендовать параллельное включение выходных транзисторов – повысится надежность).

Питание усилителя осуществляется от трансформатора, мощностью 20 - 30*вт*. В авторском варианте использован трансформатор на броневом сердечнике из штампованных пластин с сечением сердечника 6,25см2 и площадью окна 7,5см2. Сетевая обмотка (1 - 2) содержит 1955 витков проводом диаметром 0,3мм, межобмоточный экран (3) из алюминиевой фольги, обмотка питания входного каскада (4 - 5), 270 витков проводом диаметром 0,2мм, обмотки двухполярного источника питания выходных каскадов (6 – 7, 7’ - 8)по 96 витков проводом диаметром 0,69мм (для лучшей симметрии намотаны сразу в два провода) и обмотка накала ламп (9 – 10) – 57 витков проводом диаметром 0,8мм. Межслоевая и межобмоточная изоляция – калька, кабельная бумага и лакоткань.

Выпрямители и стабилизаторы общие, на оба канала. В выпрямителях можно применять любые диоды на соответствующее напряжение и ток. Интегральные стабилизаторы типов 7809 и 7909 или их аналоги установлены на теплоотводах. Стабилизатор напряжения питания +30*в* выполнен на операционном усилителе DA1, транзисторах T9, T10.

Усилитель снабжен устройством защиты, на основе двухпорогового компаратора DA2, отключающим наушники при появлении постоянного напряжения любой полярности на выходе любого канала. Задержка подключения нагрузки обеспечивается временем прогрева лампы, при этом усилитель разбалансирован.

В качестве DA1 и DA2 можно использовать любые операционные усилители общего назначения.

Транзисторы T1 и Т3 желательно подобрать по коэффициенту передачи тока ( β около 80) и обратному току коллектора ( ˂18 *μA*). Транзисторы Т2 и Т4 подбираются с максимально возможным β, и малым обратным током коллектора. Предвыходные и выходные транзисторы объединяют в пары со сходными параметрами, для обеспечения наилучшей симметрии. Транзисторы подбирать не обязательно, однако объективные и субъективные параметры устройства в таком случае могут оказаться заметно хуже заявленных.

Оба канала усилителя, устройство защиты, стабилизаторы и выпрямители с фильтрующими конденсаторами размещаются на общей печатной плате размером 180,5 Х 160 мм.

Вся конструкция смонтирована на стальном шасси, верхняя крышка – алюминиевая с просечками для вентиляции корпуса. На передней панели закреплены тумблер питания, индикатор включения сети, регулятор громкости и гнездо подключения стереотелефонов, установлена фальшпанель из дерева.

На задней панели установлены гнезда входных разъемов, ввод кабеля питания, колодка предохранителя.

Монтаж выполнен многожильным проводом в виниловой изоляции. Экранированный провод от входных разъемов до регулятора громкости и от регулятора громкости до платы усилителя – немецкий одножильный с фольговым экраном в тканевом пролаченом “чулке”, производства 60– х годов.

Земля схемы соединяется с корпусом в одной точке – у входных гнезд.

Наладка усилителя сводится к проверке питающих напряжений и установке с помощью резистора R7 смещения нуля хорошо (около получаса) прогретого усилителя.

При горячем подключении наушников необходимо вывести регулятор громкости, а само подключение производить, по возможности, быстро. Это связано с конструкцией разъема подключения наушников, допускающего кз при коммутации.