

УДК 681.3

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЛИНЕЙНОСТИ ПЕРВОГО КАСКАДА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Чеушев Н.Е.

Научный руководитель – МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Рассмотрим простую классическую схему «простого усилителя», по которой было построено большинство усилителей мощности звуковой частоты (УМ) в 70-х годах, например, усилителя «Радиотехника 020» (рисунок 1).

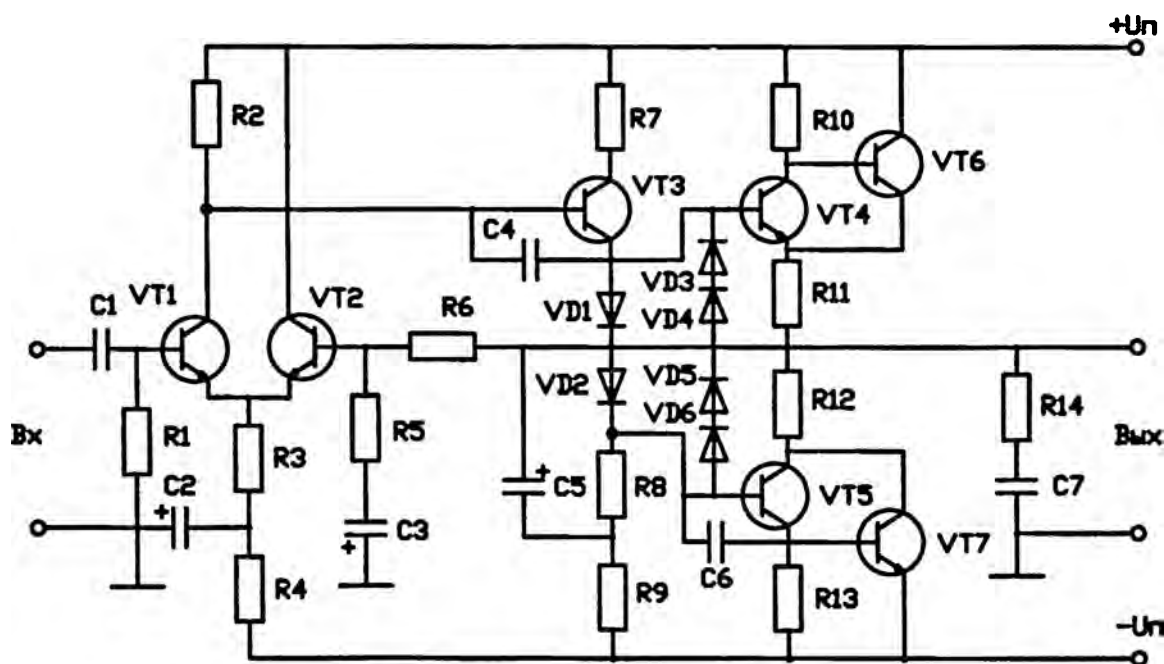


Рисунок 1. Электрическая схема усилителя «Радиотехника 020»

Он имеет следующие параметры: Сопротивление нагрузки – 4 Ом. Номинальная мощность – 50 Вт, коэффициент усиления с обратной связью – 28 дБ, отношение сигнал-шум (при мощности 50 Вт) – 89 дБ, полоса частот в режиме малого сигнала (при 1 Вт) по уровню – 3 дБ – 20 Гц – 50 кГц, коэффициент искажений на 20 кГц до 0,2 %.

Как видно из этих данных – это «медленный» усилитель. Его нелинейные искажения достаточно велики, а, учитывая его «медленность», можно ожидать, что и интермодуляционные искажения такого усилителя тоже достаточно велики.

Первый каскад усилителя состоит из входной цепочки, состоящей из разделительной ёмкости $C1$ по постоянному току и резистора $R1$, определяющего в основном входное сопротивление усилителя; дифференциального входного каскада на транзисторах $VT1$ и $VT2$ и цепи, подключенной к базе транзистора $VT2$, состоящей из резисторов $R5$ и $R6$ и конденсатора $C3$. Цепь обратной связи определяет коэффициент усиления усилителя с обратной связью: по постоянному току он равен 1, а по переменному в звуковом диапазоне частот $(R6 / R5 + 1)$. Ёмкость на входе вместе с входным резистором $R1$ и ёмкость обратной связи $C3$ вместе с резистором обратной связи $R5$ определяют нижнюю границу частотного диапазона усилителя. Второй каскад усилителя с общим эмиттером на транзисторе $KT814B$ с вольтодобавкой на ёмкости $C5$, подсоединенной одним концом к выходу усилителя, а другим – в точке соединения резисторов $R8$ и $R9$.

Вольтдобавка позволяет получить большой размах выходного напряжения, но вносит свои искажения. Конденсатор С4 и С6 является конденсаторами коррекции «на запаздывание» и обеспечивает устойчивость, т. е. отсутствие возбуждения на высокой частоте. Цепочка из двух диодов VD1 и VD2 создает напряжение смещения на базах транзисторов VT4–VT6 выходного каскада, каждое плечо которого построено на транзисторах разной проводимости, обеспечивая вместе с резисторами R11 и R12 определенный начальный ток. Выходной каскад работает в режиме АВ, т. е. начальный ток не равен нулю (в режиме В начальный ток равен нулю и выходные транзисторы закрыты в отсутствие сигнала) и существенно меньше максимальных рабочих токов. Цепь R14-С7 с выхода усилителя на землю обеспечивает дополнительную устойчивость работы усилителя при разных нагрузках и без них.

Рассмотрим, как можно усовершенствовать простой усилитель.

Нас не устраивает в рассмотренной схеме:

- большие нелинейные и интермодуляционные искажения;
- малая полоса частот;
- малая скорость нарастания выходного сигнала.

Многое можно улучшить простой заменой сравнительно низкочастотных транзисторов в этой схеме на более высокочастотные транзисторы. Но также необходимо внести изменения в отдельные каскады схемы, которые приведут к улучшению электрических параметров усилителя.

Для начала, нужно отметить, что многие УМ во многом повторяют электрические схемы ОУ и представляют собой двухкаскадную или трехкаскадную схему с гальваническими связями. Под количеством каскадов понимается количество каскадов, усиливающих напряжение, поэтому выходной двухтактный эмиттерный или другой повторитель, присутствующий во многих УМ и имеющий коэффициент усиления менее 1, здесь не учитывается.

Однако попытки прямого повторения структуры быстродействующих ОУ не приносят пока желаемых результатов, поскольку их схемотехника оптимизирована под особенности интегральной технологии и весьма далека от совершенства для дискретного исполнения. В частности, это относится к построению входного каскада и стабилизации температурных режимов.

В простейших схемах усилитель напряжения (первые каскады) и выходной повторитель (эмиттерный или другой) вносят примерно одинаковый вклад в искажения входного сигнала. В УМ высокого качества слабым звеном является выходной каскад.

Поэтому входной каскад УМ должен вносить минимальные искажения в усиленный сигнал.

Рассмотрим, как, для начала, можно улучшить работу входного дифференциального каскада (рисунок 2).

Резисторы в цепи эмиттеров на рисунке 2 уменьшают коэффициент усиления каскада, но при этом улучшается его линейность и расширяется его полоса пропускания. Балансировка нужна для точной установки нуля на выходе всего усилителя. Наличие постоянного напряжения на выходе приводит к росту нелинейных искажений низкочастотной головки громкоговорителя и сам усилитель, при этом, имеет больший уровень нелинейных искажений, поэтому балансировка желательна. Ввести балансировку можно, изменяя резисторы в цепи эмиттеров и добавляя (отнимая) напряжение к напряжению эмиттер-база соответствующего транзистора (рисунок 2б). Разность этих напряжений и вызывает смещение нуля на выходе усилителя. Можно изменять одно или оба нагрузочных резистора, как на рисунке 2в. В первом случае меняется режим транзистора по постоянному току, но снижаются искажения каскада, второй может считаться предпочтительным.

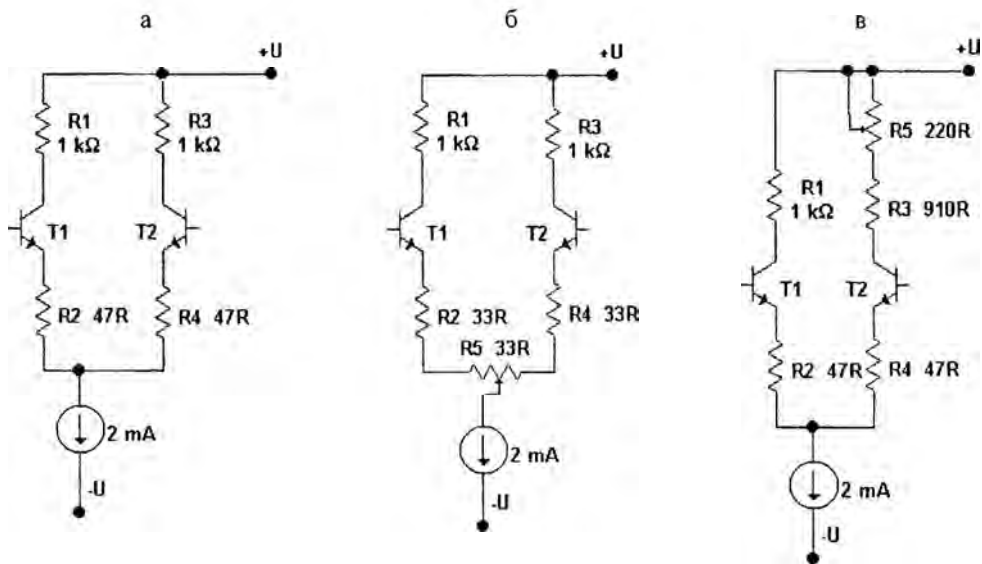


Рисунок 2. Варианты измененного дифференциального каскада

На рисунке 3 вместо резистора, служащего источником тока дифференциального каскада изображён генератор тока в 2 мА. Генератор тока имеет в идеале бесконечное выходное сопротивление, а резистор – конечное и сравнительно весьма малое.

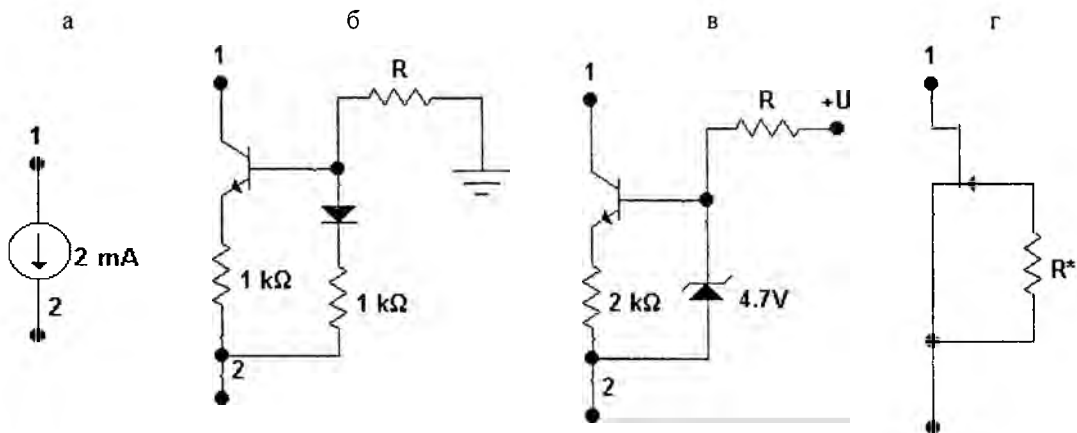


Рисунок 3. Три возможные схемы для построения генератора стабильного тока

На рисунке 3 показаны три возможные схемы для построения генератора стабильного тока (ГСТ). На рисунке 3б показана стандартная схема. Резистор R с диодом и правым резистором 1 кОм образуют делитель напряжения, задающий режим транзистора вместе с левым резистором. Без диода можно было бы обойтись, но он компенсирует изменение напряжения эмиттер – база транзистора при изменении температуры, а, следовательно, и температурную нестабильность тока ГСТ. Вместо стабилитрона, чтобы уменьшить шумы, лучше использовать несколько светодиодов, включённых в прямом направлении.

На рисунке 3в диод и правый резистор заменены стабилитроном, однако надо учитывать, что стабилитрон лавинного пробоя, обладает высоким уровнем собственных шумов. Этот фактор увеличивает шумовой уровень усилителя в целом, как за счет собственно шумов стабилитрона, так и за счет интермодуляционных составляющих этого шума с сигналом, и температурный коэффициент стабилитрона может иметь не

тот же знак, что и напряжение эмиттер – база транзистора.

На рисунке 2г показана схема ГСТ на полевом транзисторе (ПТ). Он очень прост, но резистор R со звездочкой нужно подбирать для каждого экземпляра транзистора.

Есть еще широко применяемая схема на двух транзисторах, но она здесь не показана. ГСТ уменьшает коэффициент влияния источника питания или коэффициент ослабления пульсаций и коэффициент усиления синфазного напряжения. Это приводит к уменьшению интермодуляционных искажений.

Нагрузка дифференциального каскада в виде «токового зеркала», изображенная на рисунке 4, позволяет увеличить коэффициент усиления каскада за счет: замены нагрузочных резисторов на «динамическую нагрузку», сопротивление которой считается, так же, как и выходное сопротивление ГСТ на биполярном транзисторе и может составлять величину более 100 кОм.

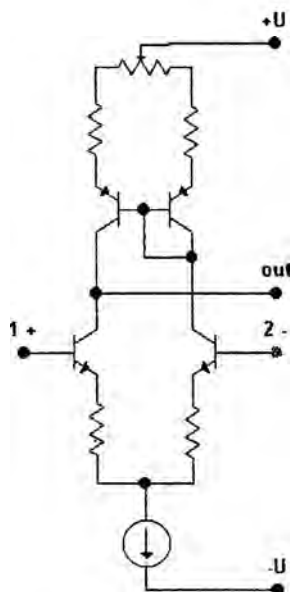


Рисунок 4. Схема дифференциального каскада с нагрузкой в виде «токового зеркала»

На рисунке 4 приведена еще одна схема балансировки усилителя, применяемая для балансировки большинства ОУ.

Вариант двухтактного дифференциального каскада (симметричного) изображен на рисунке 5. Он позволяет симметрично раскачать второй каскад усилителя и, таким образом, повысить его коэффициент усиления без обратной связи в 2 раза. Часто правые по схеме нагрузочные резисторы не устанавливаются. Такой каскад имеет намного меньший входной ток, т. к. базовые токи транзисторов с разной проводимостью взаимно компенсируются. Если транзисторы подобраны идеально, то через входной резистор, подсоединенный к входу 1, и резистор обратной связи, подсоединенный к входу 2, ток вообще не течет, и поэтому они могут принимать разные значения, а на схеме «простого усилителя» они равны.

Подбор транзисторов по коэффициенту усиления нужен для уменьшения напряжения смещения на выходе усилителя.

Во входных каскадах для увеличения входного сопротивления можно применять полевые транзисторы.

Однако входной каскад на комплементарных ПТ при всех своих достоинствах обладает все же немного большей собственной нелинейностью, чем четырехтранзистор-

ный биполярный каскад, в основном за счет четных гармоник из-за меньшей степени комплементарности ПТ, чем биполярных транзисторов (БТ).

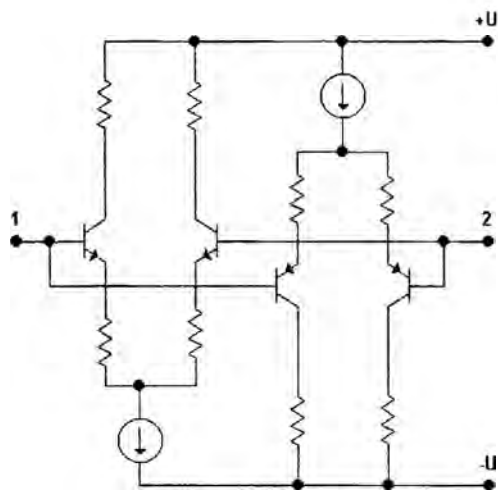


Рисунок 5. Схема двухтактного дифференциального каскада

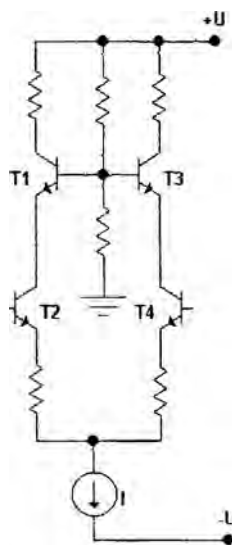


Рисунок 6. Схема двухтактного каскадного каскада

На рисунке 6 показан вариант первого каскада с использованием каскадной схемы. Кроме некоторого улучшения частотных свойств такая схема может пригодиться при использовании низковольтных малошумящих транзисторов в качестве входных: T2 и T4. При этом транзисторы T1 и T3 должны быть высоковольтными.

УДК 621.3

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАКЕТОВ В КУРСЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Пашковский А.А., Раткевич А.Г.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент НОВАШ И.В.

Дисциплина «Теоретические основы электротехники» требует от студентов практических навыков работы с различными электронно-вычислительными устройствами и системами программирования, начиная от инженерного калькулятора до ПЭВМ. Если для работы с комплексными числами достаточно калькулятора с тригонометрическими функциями, то решение систем алгебраических уравнений с гиперболическими функциями или дифференциальных уравнений требует более сложных вычислительных устройств и специализированных программных средств. В качестве программных средств все чаще используются специализированные математические пакеты.

При исследовании электрических цепей часто приходится оценивать влияние изменения частоты электрического сигнала на режим работы цепи. Выполнение расчетов в этом случае проводится для достаточно большого числа частот в некотором заданном диапазоне. Такие расчеты наиболее удобно проводить в компьютерной системе MathCAD, которая позволяет не только программировать и выполнять повторяющиеся вычисления, но и достаточно просто визуализировать результаты расчетов в виде графиков, диаграмм и т. п.