

Работа 4.7. Исследование многокаскадных усилителей мощности

Одиночные усилительные каскады, как правило, не могут обеспечить требуемый коэффициент усиления напряжения, тока и мощности. Для получения необходимого усиления используют усилители, состоящие из нескольких каскадов. Промышленность выпускает многокаскадные усилители различного назначения в виде интегральных схем. Интегральный усилитель представляет законченный функциональный блок, изготовленный в одном корпусе.

Наиболее распространенными интегральными усилителями являются ОУ, рассмотренные в работе 4.5. Другим важным классом аналоговых интегральных схем являются усилители мощности. Они компактны, не требуют дополнительных внешних элементов, содержат устройства защиты от коротких замыканий и перегрузок. Мощность таких усилителей достигает нескольких Вт.

4.7.1. Простейший усилитель мощности

Схема трехкаскадного усилителя мощности показана на рис. 4.7.1. Первый каскад выполнен по дифференциальной схеме на *p-n-p* транзисторах VT1 и VT2.

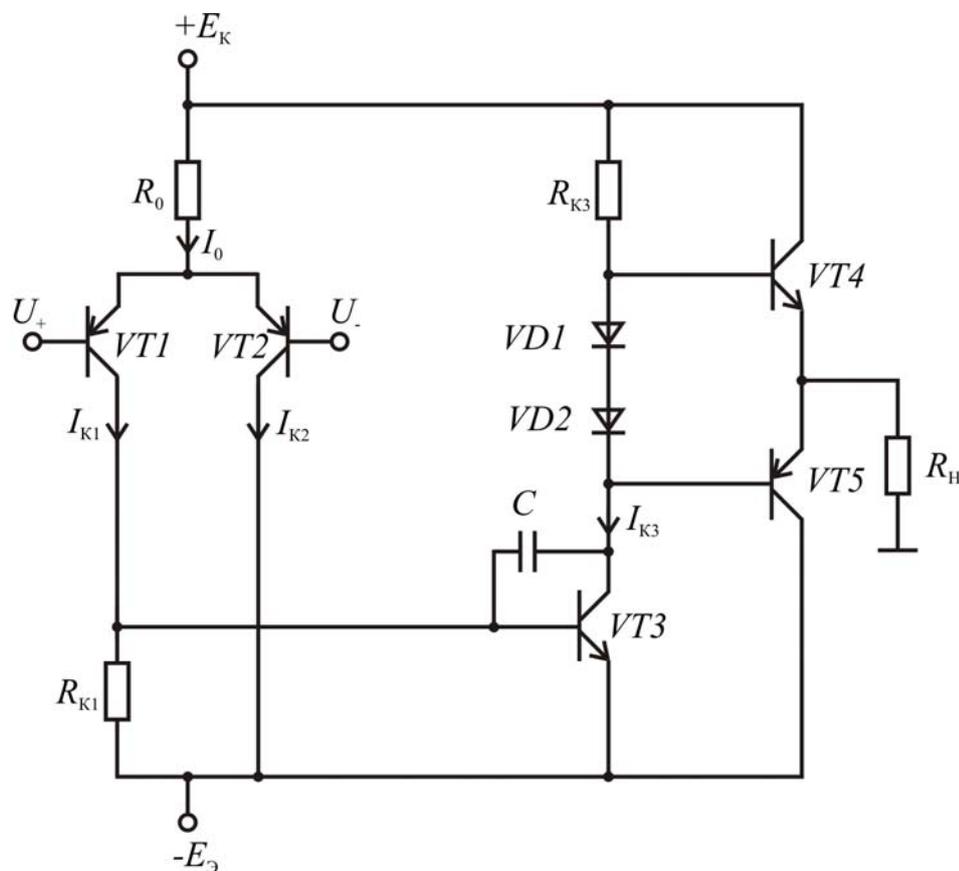


Рис. 4.7.1

Второй каскад реализован на транзисторе VT3, включенном по схеме с общим эмиттером. Второй каскад обеспечивает основную часть коэффициента усиления напряжения. Конденсатор С предназначен для коррекции частотной характеристики усилителя. Такая коррекция необходима для того, чтобы исключить возникновение паразитных колебаний при включении внешней цепи обратной связи.

Использование в первом и втором каскадах транзисторов с различными типами проводимости обеспечивает сдвиг уровня постоянного напряжения. Подобный прием используется и в простейших операционных усилителях (см. работу 4.5).

Третий каскад, выполненный на транзисторах VT4 и VT5, обеспечивает усиление мощности выходного сигнала. Он является двухтактным эмиттерным повторителем, работающим в режиме АВ. Диоды VD1 и VD2, включенные в цепь коллектора VT3, обеспечивают смещение рабочих точек транзисторов VT4 и VT5. Это позволяет уменьшить искажения выходного сигнала, вызванные нелинейностью передаточной характеристики двухтактного усилителя.

Для обеспечения стабильного коэффициента усиления и уменьшения нелинейных искажений выходного сигнала усилитель охватывается внешней цепью отрицательной обратной связи.

Расчет постоянных составляющих токов и напряжений в схеме на рис. 4.7.1.

Для упрощения расчетов полагаем, что коэффициент $\beta \gg 1$, так что для всех транзисторов $I_{\kappa} \approx I_{\varepsilon}$. Все транзисторы работают в активном режиме, поэтому $|U_{\varepsilon\alpha}| = 0.7 \text{ В}$.

1. Токи покоя транзисторов VT1 и VT2

$$I_{\kappa 1} = I_{\kappa 2} = I_{\varepsilon 1} = I_{\varepsilon 2} = \frac{E_{\varepsilon} - U_{\varepsilon\alpha}}{2R_0} = \frac{E_{\varepsilon} - 0.7}{2R_0}.$$

2. Ток коллектора VT3

$$I_{\kappa 3} = \frac{E_{\kappa} - U_{\varepsilon\alpha 4}}{R_{\kappa 3}}.$$

Расчет коэффициентов усиления отдельных каскадов.

1. Дифференциальный каскад. Коэффициент усиления дифференциальной составляющей

$$K_{\partial} = \frac{1}{2} \frac{R_{\kappa 1}}{r_{\varepsilon 1}}.$$

Здесь $r_{\kappa 1} = Vt/I_{\kappa 1}$ – динамическое сопротивление эмиттерного перехода транзистора VT1.

Коэффициент усиления синфазной составляющей

$$K_{сф} = \frac{1}{2} \frac{R_{\kappa 1}}{r_0}.$$

2. Второй каскад. Коэффициент усиления напряжения

$$K_2 = \frac{R_{\kappa 3}}{r_{\kappa 3}}.$$

Здесь $r_{\kappa 3}$ – динамическое сопротивление эмиттерного перехода транзистора VT3.

3. В качестве третьего каскада используется двухтактный эмиттерный повторитель с единичным коэффициентом усиления напряжения.

4.7.2. Усилитель мощности LM 380

На рис. 4.7.2 представлена более совершенная схема усилителя мощности. Она представляет упрощенный вариант интегральной схемы LM 380 и характеризует основные особенности схемотехники ИС усилителей мощности.

Входным каскадом является дифференциальный усилитель на $p-n-p$ транзисторах VT1 и VT2, работающий в режиме эмиттерного повторителя. Нагрузкой каскада является токовое зеркало на транзисторах VT3 и VT4.

Второй каскад усиления реализован на транзисторе VT10, включенном по схеме с заземленным эмиттером. В цепи коллектора включен источник тока на транзисторе VT9. Конденсатор C обеспечивает частотную коррекцию усилителя.

Нагрузкой второго каскада является входное сопротивление двухтактного эмиттерного повторителя на транзисторах VT5 – VT7, работающего в режиме AB . Диоды VD1 и VD2 обеспечивают начальное смещение на базах транзисторов эмиттерного повторителя. За счет этого уменьшаются переходные искажения. Комбинированная схема, образованная $p-n-p$ транзистором VT6 и $n-p-n$ транзистором VT7, используется в качестве составного $p-n-p$ транзистора.

Резисторы R_2 и R_3 обеспечивают отрицательную обратную связь между выходом схемы и эмиттером транзистора VT2. Это увеличивает линейность передаточной характеристики усилителя. Наличие встроенной отрицательной обратной связи обеспечивает фиксированный коэффициент усиления схемы. Детальный анализ показывает, что при заданных сопротивлениях R_2 и R_3 коэффициент усиления равен 50.

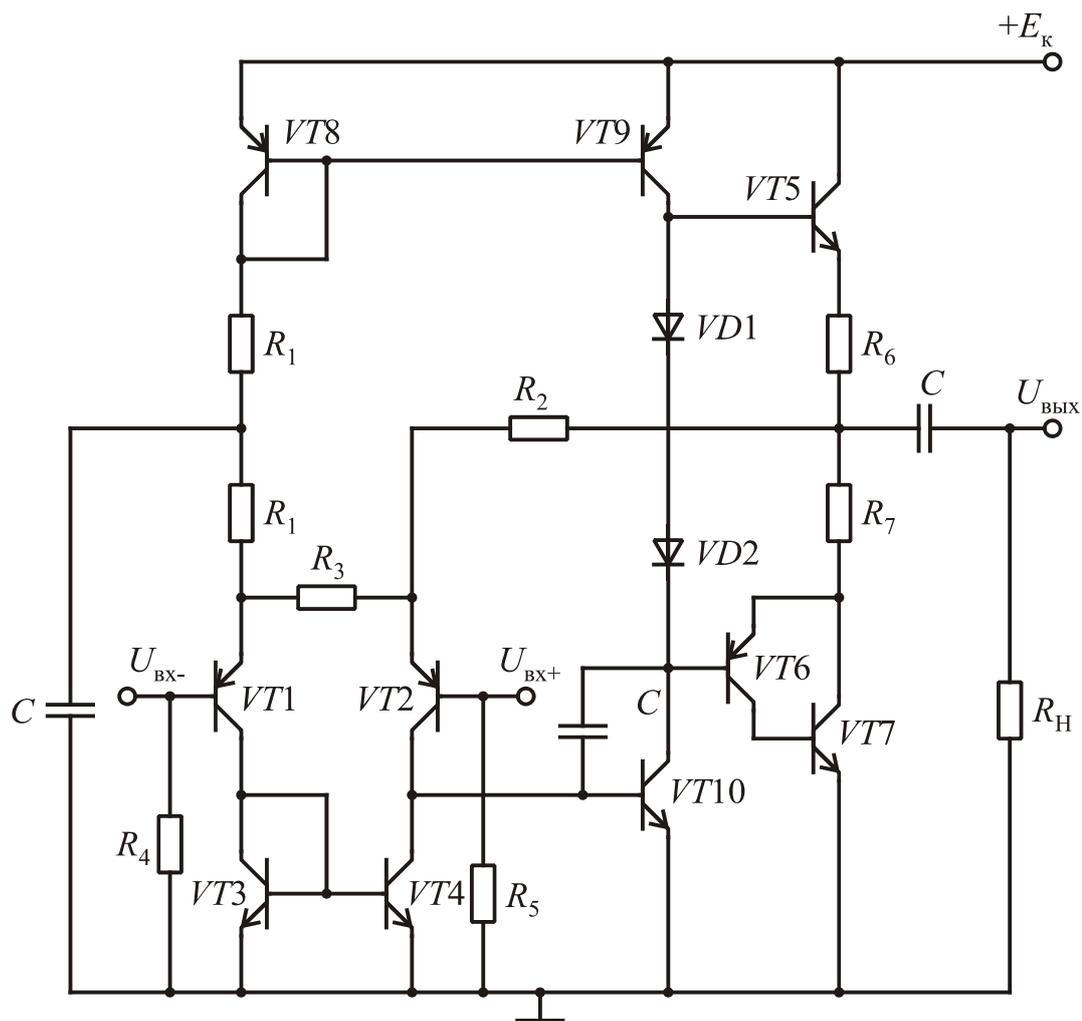


Рис. 4.7.2

Рассмотренные структуры являются типовыми для ИС усилителей мощности. Перечислим их основные особенности.

1. Входным каскадом является дифференциальный усилитель, обеспечивающий высокое входное сопротивление, подавление синфазной составляющей сигнала и линейность передаточной характеристики. Наличие дифференциального входа позволяет легко включить внешнюю цепь отрицательной обратной связи. Для увеличения входного сопротивления в первом каскаде часто используют составные транзисторы.
2. Второй каскад реализован на основе схемы с заземленным эмиттером.
3. Для обеспечения стабильного коэффициента усиления и уменьшения нелинейных искажений выходного сигнала используется отрицательная обратная связь.

Заметим, что архитектура ИС усилителей мощности на рис. 4.7.1 и 4.7.2 мало отличается от стандартной архитектуры интегральных ОУ.

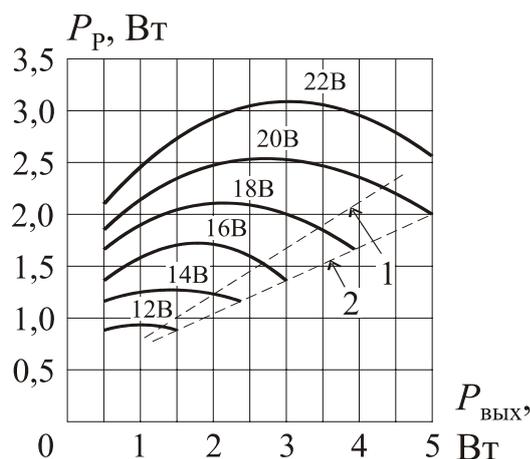


Рис. 4.7.3

ИС LM 380 может работать в диапазоне напряжений питания от 12 до 22 В. Выбор величины напряжения питания зависит от сопротивления нагрузки R_H и требуемой выходной мощности. На рис. 4.7.3 показаны графики зависимости мощности, рассеиваемой микросхемой усилителя в зависимости от мощности нагрузки. Они позволяют выбрать требуемую величину напряжения питания.

4.7.3. Рекомендации по сборке схем

При сборке схем усилителей использовать модель *n-p-n* транзистора Q2N3904 и модель *p-n-p* –транзистора Q2N3906 из библиотеки EVAL.slb. Примеры схем можно найти в файлах W4_7_1 и W4_7_2 в папке Electronics\Labs.

Рекомендуемая литература

1. Гусев, В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2004. – 790 с.
2. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл: пер. с англ. – 6-е изд. – М.: Мир, 2003. – 704 с., ил.
3. Довгун, В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2 / В. П. Довгун. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 252 с.