Операционные усилители на МОП-транзисторах

Операционным усилителем (ОУ) называют усилитель напряжения, имеющий большой коэффициент усиления и высокое входное сопротивление. В настоящее время операционные усилители выпускают в виде интегральных микросхем. Они содержат большое число элементов (транзисторов и диодов), но по размерам и стоимости близки к отдельным транзисторам.

Благодаря совершенным характеристикам операционных усилителей на их основе возможна реализация большого числа как линейных, так и нелинейных устройств. Вследствие своей надежности и универсальности операционный усилитель стал самым массовым элементом аналоговой схемотехники.

Рассмотрим структуру типового ОУ на МОП-транзисторах.

Операционные усилители часто изготавливают на одном кристалле с другими функциональными узлами, предназначенными для аналоговой или цифровой обработки сигналов. Поскольку доминирующими элементами больших интегральных схем (БИС) являются МОП-транзисторы, то ОУ, входящие в состав БИС, реализуют по КМОП-технологиям. Использование транзисторов с каналами разной проводимости дает возможность реализовать источники тока с большим внутренним сопротивлением и за счет этого увеличить коэффициенты усиления каскадов.

МОП-операционные усилители реализуют по двухкаскадной схеме. Первый каскад выполняется по дифференциальной схеме. Вторым каскадом является усилитель на МОП-транзисторе, выполненном по схеме с общим истоком. Нагрузкой обоих каскадов являются отражатели тока. Коэффициент усиления таких ОУ не превышает 5000. Поскольку повторитель напряжения в схеме отсутствует, выходное сопротивление велико и составляет несколько десятков килоом. Поэтому такие усилители не могут работать на низкоомную нагрузку.

Распространенная схема двухкаскадного операционного усилителя на МОП-транзисторах показана на рис. 12.27. Первый каскад ОУ образован дифференциальной парой VT1–VT2 и отражателем тока VT3 – VT4. Вторым каскадом является усилитель с общим истоком на транзисторе VT6. Нагрузкой в цепи стока VT6 является транзистор VT7. Конденсатор *C* является цепью отрицательной обратной связи между первым и вторым каскадами.

Цепью смещения для обоих каскадов служит отражатель тока на *p*-канальных транзисторах VT8, VT5 и VT7. В качестве источника тока J можно использовать внешний резистор, подключенный к источнику $-E_и$, либо дополнительное токовое зеркало.

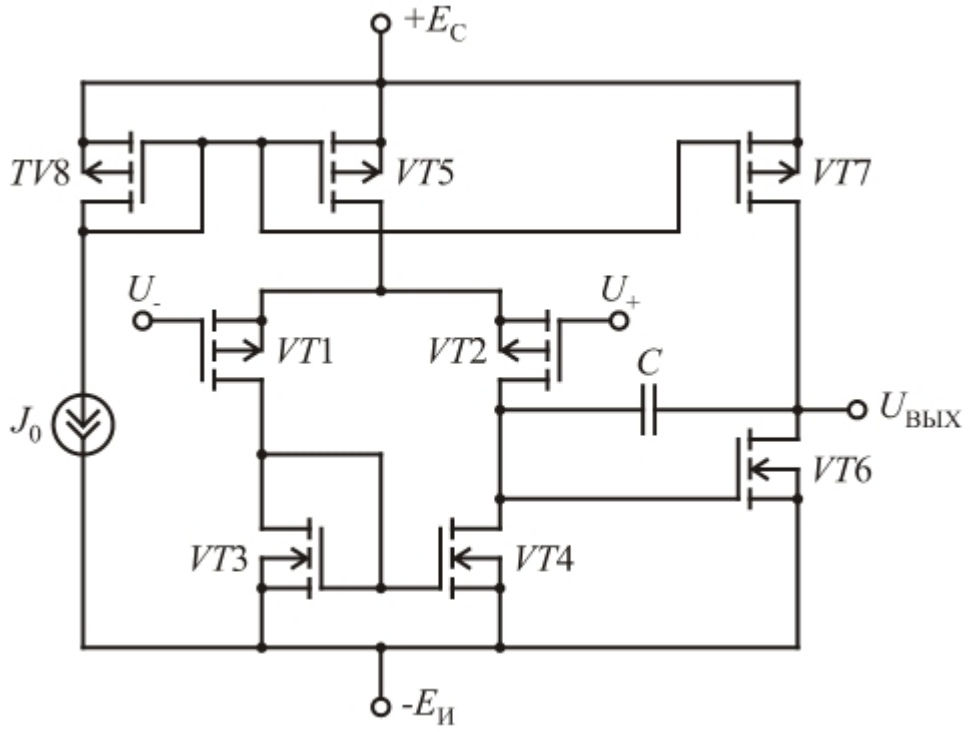

Рис. 12.27

ОУ на МОП-транзисторах, показанный на рис. 12.27, использует расщепленный источник питания, напряжение которого зависит от используемой технологии производства ИС. Напряжение питания ОУ, изготавливаемых по технологии 0.25 мкм, составляет ± 2.5 В. У ОУ, реализованных на транзисторах с длиной канала 0.18 мкм, $U_{пит} = \pm 0.9\,B$.

Двухкаскадные КМОП-операционные усилители стали весьма популярны среди разработчиков БИС благодаря своей простоте, технологичности и малой площади, которую они занимают на кристалле.

Первые операционные усилители использовались для выполнения математических операций (сложения, вычитания, интегрирования) в аналоговых вычислительных машинах. Отсюда и произошло название этих устройств. Современные ОУ является универсальными ИС, на основе которых можно построить множество различных электронных узлов. Операционные усилители стали наиболее массовыми активными приборами современной аналоговой схемотехники.

В линейных устройствах операционные усилители используются с глубокой отрицательной обратной связью. При этом параметры реализуемых схем практически полностью определяются цепью обратной связи. Используют ОУ и для реализации нелинейных устройств (компараторов, триггеров Шмитта, генераторов сигналов различной формы). Примеры типовых устройств на основе интегральных ОУ рассмотрены в [1, 4, 5].

Рекомендации по сборке схем

В схеме ОУ на рис. 4.5.1 использовать модель *n-p-n* транзистора Q2N3904 (кроме VT6) и модель *p-n-p* –транзистора Q2N3906 из библиотеки EVAL.slb. Транзистор VT6 реализовать в виде параллельного соединения двух *n-p-n* транзисторов Q2N2222. В схеме ОУ на рис. 4.5.2 использовать модель *n-p-n* транзистора Q2N3904 и модель *p-n-p* –транзистора Q2N3906 (VT3) из библиотеки EVAL.slb. Примеры схем можно найти в файлах W2_5_1, W2_5_2 в папке MsimEv_8\Labs.

Рекомендуемая литература

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.

Быстров, Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: учеб. / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. – М.: Высш. шк., 2002. – 384 с.: ил.

Степаненко, И. П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И.П. Степаненко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. – 488 с.: ил.

Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл: пер. с англ. – 6-е изд. – М.: Мир, 2003. – 704 с., ил.

Довгун, В. П. Электротехника и электроника: учеб. Пособие: в 2-х ч. Ч. 2 / В. П. Довгун. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 252 с.

Крекрафт, Д. Аналоговая схемотехника. Схемы, системы, обработка сигнала / Д. Крекрафт, С. Джерджли. – М. Техносфера, 2005 – 360 с.