

ИЗУЧЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО КАСКАДА ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ В КУРСЕ ЭЛЕКТРОНИКИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Кыргызский национальный университет им. Ж.Баласагына, Бишкек, ул. Фрунзе, 547

Одним из основных видов усилительных устройств, применяемых в различных устройствах техники, в том числе и в аппаратуре связи, в настоящее время является операционный усилитель (ОУ).

Первоначально эти усилители предназначались для выполнения различных математических операций - сложения, умножения, интегрирования и т.д. При создании на дискретных элементах ОУ оказывались очень громоздкими и дорогостоящими, так как для выполнения заданных операций требовались сложнейшие схемы, состоящие из десятков усилительных элементов, диодов, и поэтому они применялись довольно редко.

Только внедрение ИМС позволило построить на их базе ОУ обладающие многофункциональными возможностями, малыми габаритными размерами и большой надежностью, простотой в эксплуатации.

Следует отметить, что ОУ в интегральном исполнении «визуально» состоит из корпуса и множество выводов, поэтому в таком виде изучаемый прибор являются малоинформативным, либо изучение ОУ в виде дискретных элементов электроники студентам дают полное объяснение схемного расположения «внутри» прибора. Поэтому, изучение ОУ в виде дискретных элементах электроники, а также в интегральном исполнении являются актуальными задачами для студентов младших курсах факультета. Для этих целей мы предлагаем изучение ОУ в виде лабораторного макета.

Лабораторный макет ОУ.

Изучаемый макет ОУ собран в виде дифференциального каскада (рис.1), с применением дискретных элементов электроники и в виде интегральном исполнении на основе микросхемы К140УД1 (рис.2).

Чтобы изучить структуру дифференциального каскада, сначала рассмотрим усилителей постоянного тока (УПТ). УПТ называют такие приборы, которые могут усиливать медленно меняющиеся электрические сигналы, т.е. они способны усиливать не только переменные, но и постоянные составляющие напряжения и тока.

Амплитудно-частотная характеристика УПТ обычно равномерна (рис.3), так как связь между каскадами выбирается таким образом, чтобы обеспечивалось прохождение постоянной составляющей. Такие условия достигается с исключением трансформатора и конденсатора на межкаскадной связи, либо связь между каскадами осуществляется или через резисторы (см. рис.1), или непосредственно с помощью соединительных проводников.

В УПТ необходимо обеспечить условие, чтобы в отсутствие входного сигнала на выходе отсутствовали как переменная, так и постоянная составляющие сигналы, иначе нарушится пропорциональность между входным и выходным напряжениями. Однако если не будут приняты соответствующие меры, то в УПТ возникают температурная и временная нестабильность параметров усилительных элементов, резисторов и источников питания, а также низкочастотные шумы и помехи. Поэтому, при реализации схемы дифференциального каскада нами было выбрано источник питания высокого напряжения.

Дифференциальный каскад представляет собой мостовую схему (рис.1), в плечах которой включены идентичные элементы резисторов, которые подключается на эмиттерный вход транзистора типа КТ815Б. Технические характеристики и его электрические параметры транзистора типа КТ815Б описаны в работе [1-4].

Из рис.1 видно, что на входе дифференциального каскада имеется два конденсатора одинаковой емкости С1 и С2 для сглаживания сигнала. Для подстройки сигнала эмиттерного

входа транзистора применяется резистор R2. Подстроечный резистор R9 (0-140 кОм) играет роль обратной связи дифференциального каскада. В аналоговых интегральных микросхемах вследствие того, что все элементы создаются в едином технологическом процессе, практически обеспечивается идентичность резисторов и транзисторов. ДК питается от двуполярного источника питания с заземленной средней точкой, что позволяет подавать сигналы непосредственно на базы транзисторов. Если входы транзисторов заземлены, то токи транзисторов одинаковы, и вследствие идентичности резисторов R1 и R3, тогда напряжение на дифференциальном выходе $U_{вых}$ между коллекторами будет равно нулю. Если на входы схемы поданы сигналы одинаковые по величине и фазе, называемые синфазными, то токи обоих транзисторов будут изменяться на одинаковую величину, соответственно будут изменяться напряжения $U_{вых}$, а напряжение $U_{вых}$ по-прежнему будет сохраняться равным нулю. Если на входы схемы поданы одинаковые по величине, но сдвинутые по фазе (на 180°) сигналы - называемые дифференциальными, то возрастание тока в одном плече будет сопровождать уменьшению тока в противоположной плече. Вследствие этого на дифференциальном выходе появится напряжение. Таким образом, схема в идеальном случае реагирует на дифференциальный сигнал и не реагирует на синфазный. Изменение температуры, паразитные наводки, старение элементов, флуктуация параметров транзисторов можно рассматривать как синфазные входные воздействия. Следовательно, ДК обладает очень высокой устойчивостью работы и малочувствителен к помехам.

Анализ схем операционного усилителя ОУ140УД1

Рассмотрим принципиальную схему ОУ140УД1, что позволяет проследить основные принципы схемного расположения ОУ. Данный ОУ (рис.4), является одним из первых, но его до сих пор широко применяют в аппаратуре связи и вещания. На входе расположен дифференциальный каскад на транзисторах VT1 и VT2 с нагрузкой R1, R2 и R8. Имеются два входа - инвертируемый 9 и неинвертируемый 10. Дифференциальный каскад усиления на входе обеспечивает все достоинства, присущие этой схеме, для всего ОУ. В цепь эмиттеров транзисторов VT1 и VT2 включен генератор стандартных сигналов (ГСТ), собранный на транзисторе VT3 и обеспечивающий стабильный ток $I_{Э1}$ и $I_{Э2}$. Стабилизация режима транзистора VT3 производится с помощью транзистора VT4 в диодном включении. Транзистор VT3 обладает очень большим выходным сопротивлением переменному току и имеет небольшое падение напряжения постоянного тока. Сопротивление R3 создает отрицательный обратный связь (ООС) по току и тем самым увеличивает выходное сопротивление (R-вых) транзистора VT3. Для синфазной составляющей входного напряжения на ГСТ в эмиттерной цепи создается очень глубокая ООС и происходит ее сильное подавление. Усиленный дифференциальный сигнал, поданный на дифференциальные входы 9 и 10, снимается с коллекторной нагрузки первого каскада и подается на следующий каскад - дифференциальный усилитель, собранный на транзисторах VT5, VT6. Благодаря тому, что транзистор VT5 собран по схеме с общим коллектором (ОК), осуществляется переход от дифференциального выхода первого каскада к одиночному выходу второго каскада. С нагрузки VT5, т.е. R6, снимается выходное напряжение, которое поступает на вход транзистора VT6, собранного по схеме с общим эмиттером (ОЭ), на базу этого же транзистора поступает напряжение с выхода транзистора VT1. Нетрудно убедиться, что оба сигнала поступают на вход транзистора VT6 в фазе. Например, если на вход VT1 подается переменное напряжение $+U_1$, то с коллекторной нагрузки VT1 снимается напряжение $-KU_1$, и с этим знаком поступает на базу VT6, в то же время на вход VT2 подается напряжение $-U_2$, которое также усиливается и в коллекторной цепи меняет свою фазу на $-|KU_2$.

Эмиттерный повторитель на транзисторе VT5 сохраняет фазу поданного напряжения и практически его величину, так как $|\xi/i| = |\xi/2|$, то на переход эмиттер - база транзистора VT6 поступает удвоенное напряжение с выхода первого каскада.

Таким образом, парафазное напряжение первого каскада с помощью второго усиливается и преобразуется в однофазное, которое снимается с нагрузки транзистора $VT6$ и поступает на схему сдвига уровня, собранного на транзисторе $VT7$, в эмиттерную цепь которого включена нагрузка - делитель напряжения, состоящий из $R9$ и ГСТ на транзисторе $VT8$. Стабилизация режима $VT8$ происходит с помощью $VT4$ в диодном включении. Напряжение, снимаемое с нагрузки $VT6$, имеет определенный положительный потенциал даже при $U_{BX}=0$. В то же время при $U_{BX} = 0$ $U_{ВЫХ}$ должно быть также равно нулю.

Таким образом, схема сдвига уровня должна обеспечить нулевой потенциал на базе $VT9$ выходного каскада. Для того чтобы не ослаблять полезный сигнал, второе плечо делителя нагрузки в цепи эмиттера $VT7$ - ГСТ на $VT8$ имеет очень большое сопротивление, и с него практически снимается полное напряжение, которое было подано на вход.

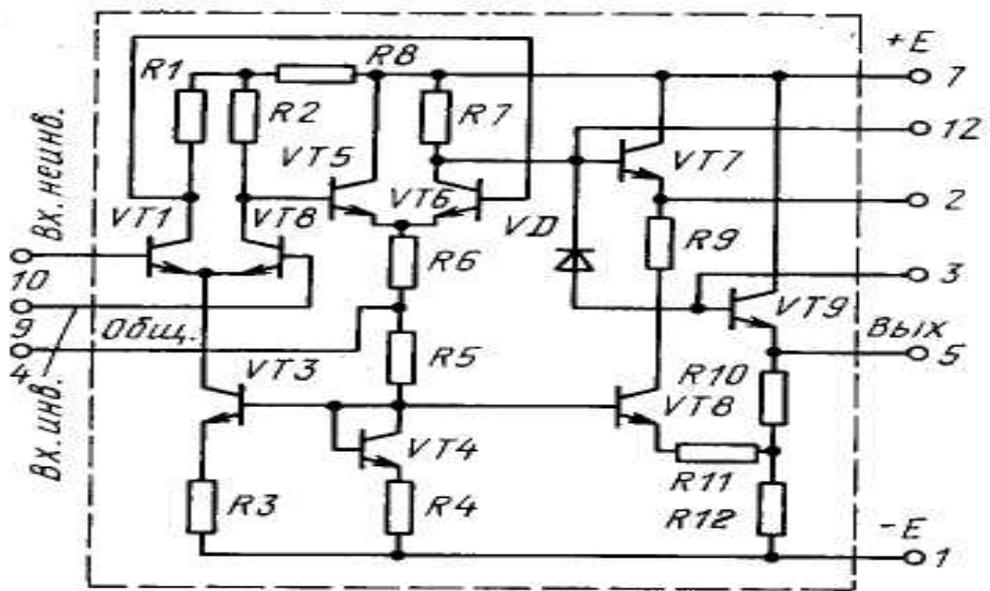
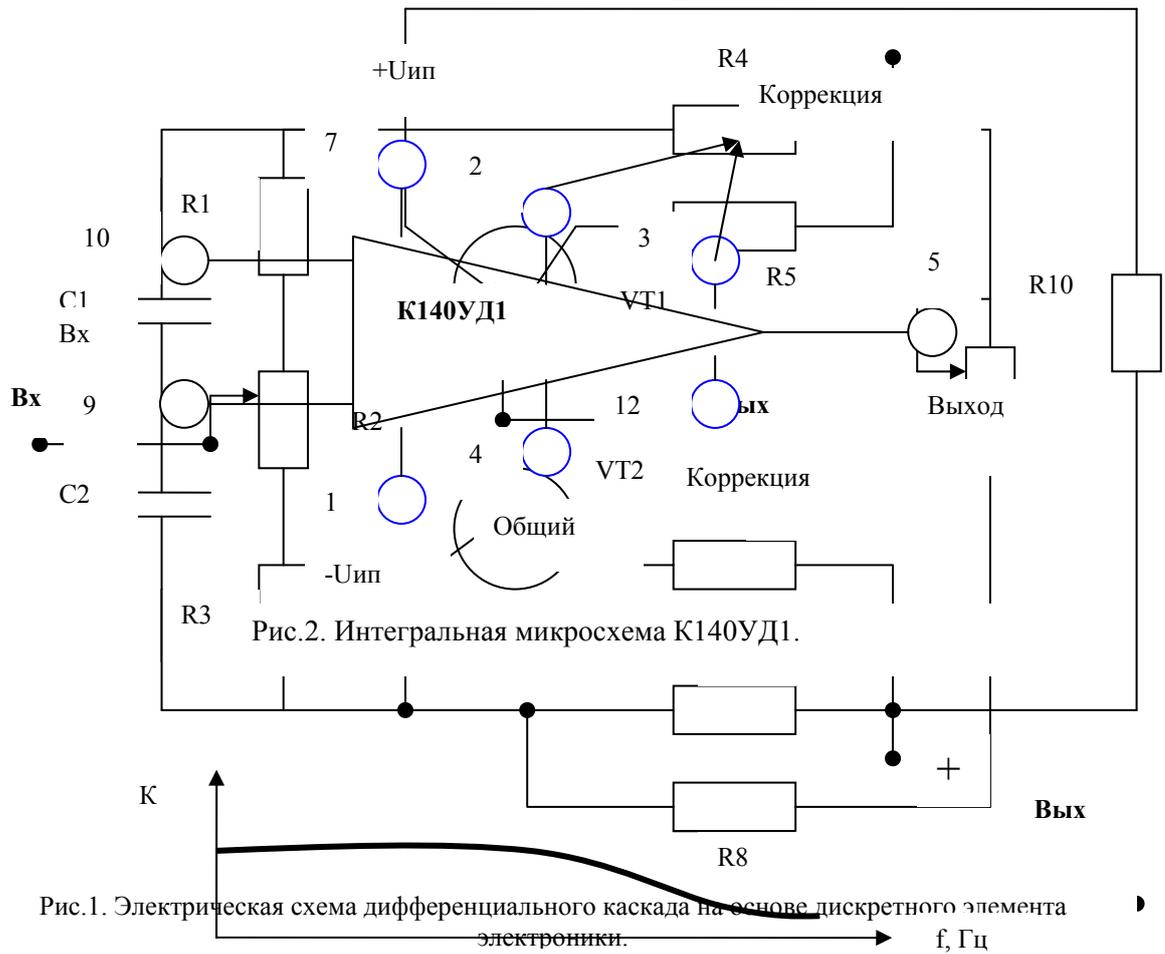
Схема сдвига благодаря тому, что собрана по схеме с ОК, обладает большим входным сопротивлением $R_{ВХ}$ и не шунтирует нагрузку предыдущего каскада. Выходной каскад собран по одноконтурной схеме с ОК на транзисторе $VT9$. Схема с ОК обеспечивает очень малое выходное сопротивление операционного усиления. Чтобы несколько повысить коэффициент усиления выходного каскада, он охватывается слабой положительной обратной связью.

Для этого часть выходного напряжения с $R12$ снимается и через $R11$ и $VT8$ подается обратно на базу $VT9$. Если в обычном эмиттерном повторителе (ЭП) коэффициент усиления меньше 1, то благодаря положительной обратной связи (ПОС) в данной схеме коэффициент усиления примерно 2,5.

Положительная обратная связь слабая, и условие самовозбуждения не может быть выполнено, т. е. схема работает устойчиво. Диод VD , включенный под обратное напряжение, играет роль емкости, ускоряющей процесс нарастания и спада напряжения на входе $VT8$, и тем самым уменьшает переходные искажения.

Таким образом, для исследования дифференциального каскада с применением ГСТ на вход ДК подаем синусоидальный сигнал (источника питания ~ 36 В) (см. рис.5). Сигнал, проходя через дифференциальный каскад, описывает на осциллографе несколько синусоидальных, смещенных по фазе и амплитуде колебаний. Причем амплитуда сигнала на выходе несколько порядков выше, чем истинного значения, распределения тока в электрической цепи дифференциального каскада осуществляется с помощью резисторами $R5; R6$ и $R7$ и т.д.

Для усиления сигнала источника имеющего большое внутреннее сопротивление, используются ОУ с большим входным сопротивлением, поэтому изучаемый ОУ типа К140УД1 имеет входное сопротивление $\sim R_{ВХ} = 3$ МОм, и коэффициентом усиления $\sim K_{min} = (60-1000)$ раз.



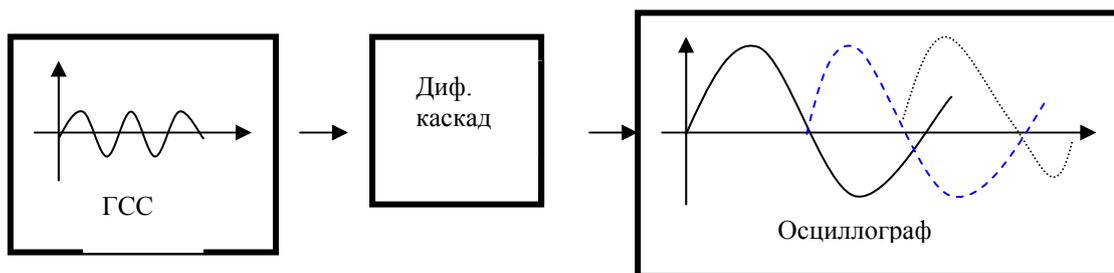


Рис5. Работа дифференциального каскада: генератор – дифференциальный каскад – осциллографирование.

Литература

1. Справочная книга радио-любителя. Под ред. Н.И.Чистякова - М.: Радиосвязь, 1990.
2. А.Г. Морозов. Электротехника, электроника и импульсная техника – М.: ВШ, 1977.
3. П. Хоровиц, У.Хилл. Искусство схемотехники, том 2., М: Мир, 1986.
4. Ф. Мейзда. Интегральные схемы. Технология и применение. - М: Мир, 1986.