

Тема Операционный усилитель

Операционный усилитель (ОУ) -это усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления, большим входным коэффициентом усиления, большим входным и малым выходным сопротивлением.

Усилитель постоянного тока (УПТ) называется устройство, которое усиливает не только переменные, но и постоянные токи или напряжения. Диапазон рабочих частот лежит в пределах 10^{-2} в 2 степени - 10^8 в 8 степени.

УПТ обычно строятся на основе резисторных усилителей на транзисторах с непосредственной связью на каскадах.

Свое название операционные усилители получили, т.к. использовались для выполнения математических операций в аналоговых вычислительных машинах.

В настоящее время ОУ является элементарной базой радиотехнических схем обработки сигналов, устройства управления технологическими процессами, устройствами измерительной техники.

Достоинства:

- универсальность
- возможность миниатюризировать электронную аппаратуру

ОУ обозначается треугольником имеет два входа и один выход.

Напряжение можно подавать на любой вход.

Инвертирующий вход ОУ по старому ГОСТу обозначается значком «минус», по новому — «пузырьком». Сигнал, поданный на инвертирующий вход, на выходе имеет фазу, противоположную входному. Неинвертирующий вход ОУ по старому ГОСТу обозначается значком «плюс».

Современные ОУ выпускаются в виде интегральных микросхем. Как правило, ОУ содержит 2...3 усилителя. Первый каскад ОУ выполняется по схеме дифференциального усилителя (см. пред лекцию) ДУ в операционном усилителе обеспечивает большое входное сопротивление и ослабление синфазного сигнала. Второй каскад — усилитель напряжения, работающий в

режимы кл «А» или «АВ». Третий каскад — усилитель мощности (режимы кл. «АВ», или «В»)

Один вход из которого меняет полярность напряжения – инвертирующий (-)

Другой е меняет полярность напряжения – неинвертирующий (+)

Параметры ОУ представлены на данном слайде

Есть два основных правила:

1) Выход ОУ стремиться к тому, чтобы дифференциальное напряжение (разность между напряжением на инвертирующем и неинвертирующем входах) было равно нулю.

Это правило реализуется за счет обратной связи, т.е. напряжения передается с выхода на вход, т.о. разность потенциалов равна нулю.

2) Входы ОУ не потребляют тока

$$U_{\text{ВЫХ}} = (U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}}) * G$$

$U_{\text{ВЫХ}}$ – напряжение на выходе

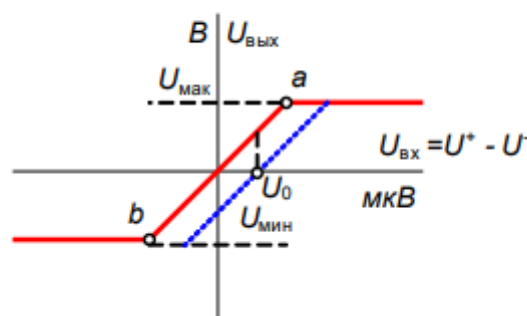
$U_{\text{ВХ1}}$ - напряжение на неинвертирующем входе

$U_{\text{ВХ2}}$ – напряжение на инвертирующем входе

G – коэффициент усиления без обратной связи

Технические характеристики ОУ

Дифференциальный коэффициент усиления ОУ — это коэффициент усиления ОУ по напряжению при отсутствии обратной связи. Иначе этот параметр называется собственным коэффициентом усиления ОУ; его величина лежит в пределах от 10^4 до 10^6 .



На рис. приведена типовая зависимость выходного напряжения ОУ от входного ($U_{\text{вх}} = U_+ - U_-$) в режиме дифференциального сигнала, когда на входы ОУ поступают два напряжения, одинаковые по величине, но противоположные по фазе.

В диапазоне от минимального значения выходного напряжения ОУ до максимального передаточная характеристика имеет почти линейный характер. Этот диапазон выходного напряжения (ab) называется областью усиления; при работе ОУ с напряжением питания от ± 15 В типовой диапазон области усиления по выходному напряжению составляет ± 12 В. По обе стороны этого диапазона ОУ переходит в режим насыщения, при этом искажается форма выходного напряжения, так как происходит его ограничение.

Напряжение смещения нуля.

На рис.10.2 приведена передаточная характеристика идеального ОУ. Для реального ОУ эта характеристика несколько сдвигается (пунктирная линия). Чтобы устранить дрейф нуля на выходе ОУ, на вход ОУ необходимо подать некоторую разность напряжений, которая была названа напряжением смещения нуля (U_0). Напряжение смещения нуля обычно составляет несколько милливольт и, во многих случаях, это напряжение может не приниматься во внимание, но если этой величиной пренебречь нельзя, то принимают специальные меры для того, чтобы свести это напряжение до нуля (на многих интегральных схемах ОУ для этого имеются специальные клеммы). Следовательно, если напряжение смещения нуля скомпенсировано, то можно считать: $U_{\text{вых}} = K_{\text{диф}} U_{\text{вх}} - U_0$ и, таким образом, в пределах динамического диапазона выходное напряжение ОУ пропорционально разности входных напряжений.

Коэффициент усиления синфазного сигнала « $K_{\text{синф}}$ ». В режиме синфазного сигнала на входы ОУ поступают два одинаковых по величине и совпадающие по фазе сигналы. В идеальных ОУ коэффициент усиления синфазного сигнала $K_{\text{синф}} = 0$, а в реальных ОУ он отличается от нуля.

$$K_{\text{синф}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{синф}}}$$

Коэффициент ослабления синфазного сигнала «Косл.синф»

Коэффициент ослабления синфазного сигнала характеризует неидеальность ОУ, то есть, этот параметр показывает, какое значение дифференциального входного напряжения следует приложить к входу усилителя, чтобы скомпенсировать усиление синфазного сигнала на выходе усилителя.

$$K_{\text{осл. синф}} = \frac{K_{\text{диф}}}{K_{\text{синф}}} = \frac{\Delta U_{\text{синф}}}{\Delta U_{\text{диф}}} \Big|_{\text{при } U_{\text{вх}} = \text{const}} \quad \Big| \quad \frac{\Delta U_{\text{синф}}}{\Delta U_{\text{диф}}}$$

Коэффициент усиления дифференциального сигнала по определению всегда положителен. А вот коэффициент ослабления синфазного сигнала может принимать и положительные и отрицательные значения (в справочных данных обычно приводятся абсолютные значения Косл.синф). Одним из способов увеличения ослабления синфазного сигнала состоит в использовании ООС по синфазному сигналу. С помощью классической схемы первого каскада ОУ — дифференциального усилителя — можно добиться ослабления синфазного сигнала до уровня порядка 60 db. При этом ослабления дифференциального сигнала в схеме ДУ не происходит.

Выходное сопротивление ОУ. Малое выходное сопротивление ОУ получают за счёт включения на его выходе каскада с малым внутренним сопротивлением. Между ними включают усилительные каскады, позволяющие получить достаточно большой коэффициент усиления ОУ. При этом нельзя забывать о требовании к полосе пропускания, которая должна быть достаточно широкой. Выходные каскады содержат обычно элементы защиты от перегрузок, от короткого замыкания (КЗ).

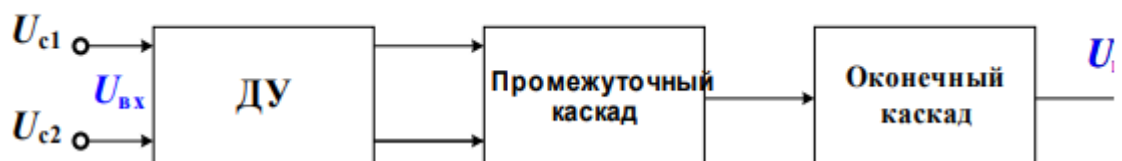
Входное сопротивление ОУ. Входное сопротивление ОУ определяется первым каскадом — ДУ. Наиболее простой метод, позволяющий повысить входное сопротивление ОУ, состоит во введении в ДУ последовательной ООС, но при этом уменьшается коэффициент усиления Кдиф, поэтому такой

метод используется редко. Более распространенными методами повышения входного сопротивления являются: а) введение дополнительных эмиттерных повторителей; б) использование составных транзисторов ($\beta \approx \beta_1 \beta_2$ – при 2-х VT); в) использование полевых транзисторов.

Зависимость коэффициента усиления от частоты- **амплитудно-частотная характеристика** (АЧХ) типична для усилителя постоянного тока.

Зависимость выходного напряжения от входного напряжения называют **передаточной характеристикой**

Что нужно знать, чтобы определить, какой тип ОУ подходит для конкретного случая его использования? Во первых — знание его основных характеристик. Во вторых, в некоторых особых случаях, — знание их внутренней структуры.



ДУ – обеспечивает высокое входное сопротивление и высокий коэффициент усиления по напряжению в широком диапазоне частот (вплоть до 0 – постоянное напряжение). Первый каскад ОУ – дифференциальный усилитель, он имеет высокий коэффициент усиления по отношению к дифференциальному сигналу и низкий по отношению синфазному.

Промежуточный усилитель (ПУ) – обеспечивает дополнительное усиление напряжения после ДУ, а также, обеспечивает необходимое согласование симметричных входов ДУ и несимметричных входов окончного каскада усиления. Этот каскад часто строится также по схеме ДУ.

Оконечный каскад усиления – обеспечивает необходимое для потребителя усиление по мощности. Все ОУ работают с ООС: ООС позволяет получить от ОУ необходимые характеристики.

На упрощенной принципиальной схеме ОУ дифференциальный каскад выполнен на транзисторах VT1, VT2, VT3

Вх1 – инвертирующий, т.к. при заземленном входе 2 сигнал поданный на инвертирующий вход на выходе окажется сдвинутый по фазе на 180 градусов.

При подачи сигнал на вход 2 (неинвертирующий) выходной сигнал окажется синфазным с сигналом на входе.

За входным сигналом следует один или несколько промежуточных, которые обеспечивают усиление входного сигнала по току и напряжению.

В качестве промежуточного каскада используется дифференциальный усилитель на транзисторах VT4 и VT5.

Окончательный каскад имеет низкое выходное сопротивление ОУ и обеспечивает ток достаточный для питания ожидаемой нагрузки. Обычно в качестве окончного каскада используется простой эмиттерный повторитель (транзисторы VT7, VT8).

Инвертирующий усилитель (слайд 8)

В схеме вход «+» ОУ заземлен ($U_+ = 0$) сигнал поступает на инвертирующий вход, поэтому такая схема называется инвертирующим включением ОУ

На инвертирующий вход через резистор R1 от внешнего генератора подаётся сигнал U_c . Резистор R1 играет роль сопротивления источника сигнала. Напряжение ОС подаётся на вход ОУ через резистор R2 ($R_2 = R_{oc}$). Прямой (неинвертирующий) вход заземлён. Инвертирующий вход имеет большое входное сопротивление, поэтому потенциал этого входа можно также считать равным нулю, то есть состояние инвертирующего входа можно назвать «мнимым заземлением». При таких условиях падение напряжения на R1 будет равно U_c , а падение напряжения на R2 $= -U_{вых}$. Через входную цепь усилителя ток не проходит (входное сопротивление идеального усилителя равно бесконечности), поэтому $I_1 = I_2$.

$$I_1 = \frac{U_c - 0}{R_1} = \frac{0 - U_{\text{вых}}}{R_2}, \text{ а потому:}$$

$$K_{\text{yc}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_2}{R_1}.$$

Таким образом, коэффициент усиления ОУ не зависит от схемного решения ОУ, а лишь зависит от соотношения элементов ОС и для их расчёта необязательно точно знать параметры ОУ. Знак минус в формуле означает, что фаза напряжения на выходе противоположна фазе входного напряжения. Максимальный коэффициент усиления зависит от предельно допустимого значения сопротивления R_2 , которое определяется из условия линейности режима ОУ ($|U_{\text{вых}}| < E$)

Неинвертирующий усилитель (слайд 9)

Входной сигнал поступает на прямой (неинвертирующий) вход, а напряжение ОС — на инвертирующий вход. Напряжение ОС снимается с делителя из R_1 и R_2 :

$$U_{\text{ос}} = U_{\text{вых}} \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя будет равен:

$$K_{\text{yc}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{(R_1 + R_2)}{R_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Таким образом, и для этой схемы коэффициент усиления зависит только от параметров цепи обратной связи. Входное сопротивление неинвертирующего усилителя очень велико (порядка 100 Мом), выходное сопротивление мало и составляет доли Ома.

Повторитель напряжения на основе ОУ (слайд 10)

При таком включении ОУ в его схеме: действует 100%-я ООС по напряжению, следовательно, усиления по напряжению в схеме не будет ($K < 1$)

очень большое входное сопротивление, что позволяет не нагружать входной источник; усиление по току хорошее, так как, при таком большом

входном сопротивлении ОУ, можно считать, что $I_{вх} \approx 0$; происходит полная развязка нагрузки и источника сигнала.

Показанная схема – это фактически модификация инвертирующей схемы для двух или более входных сигналов. Входные напряжения поступают на инвертирующий вход ОУ через резисторы R_1 и R_2 . В соответствии с 1 –м законом Кирхгофа $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ для узла «В» В соответствии со 2 –м законом Кирхгофа (обход по часовой стрелке)

Теоретическое обобщение по теме. Номенклатура выпускаемых в настоящее время ОУ очень обширна. В основу классификации ОУ положено его назначение. По этому признаку ОУ выделены в несколько групп. Основные из них: • ОУ общего назначения. Эта группа ОУ используется в аппаратуре, к параметрам которой не предъявляют жёстких требований; • ОУ быстродействующие (200 ... 500 в/мкс); • ОУ прецизионные (малый уровень шумов, высокий коэффициент усиления); • ОУ микромощные (потребляемый ток от источника питания менее 1 мА) Интегральные схемы ОУ изготавливаются как на биполярных так и на полевых транзисторах (преобладает КМОП-технология)