

## Основы электроники 47 группа на 14.02.2022 Андреева НИ

Записать конспект в тетрадь. Придёте в техникум проверю и поставлю оценку.

### Тема 2.3.Б Операционные усилители (2) + Тема 2.4.

**Операционный усилитель (ОУ)** — усилитель постоянного тока с дифференциальным входом и, как правило, единственным выходом, имеющий высокий коэффициент усиления.

ОУ используются в схемах с глубокой отрицательной обратной связью, которое *уменьшает* действие входного сигнала на систему), которая, благодаря высокому коэффициенту усиления ОУ, полностью определяет коэффициент усиления/передачи полученной схемы.

**Дифференциальный усилитель** электронный усилитель с двумя входами, выходной сигнал которого равен разности входных напряжений, умноженной на константу. Применяется в случаях, когда необходимо выделить небольшую разность напряжений на фоне значительной синфазной составляющей.

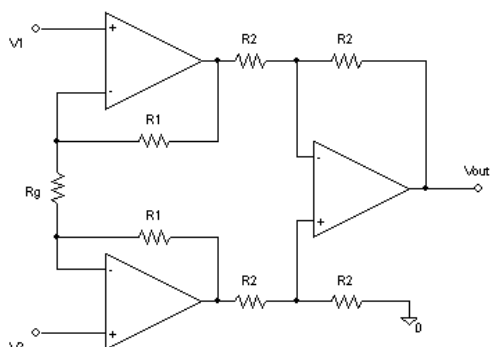


Схема инструментального дифференциального усилителя на базе ОУ

На рисунке показано схематичное изображение операционного усилителя. Выводы имеют следующие значения:

- $V_+$  — неинвертирующий вход;
- $V_-$  — инвертирующий вход;
- $V_{out}$  — ВЫХОД;
- $V_{S+}$  — плюс источника питания (также может обозначаться как  $V_{DD}$ ,  $V_{CC}$  или  $V_{CC+}$ );
- $V_{S-}$  — минус источника питания (также может обозначаться как  $V_{SS}$ ,  $V_{EE}$  или  $V_{CC-}$ ).

Указанные пять выводов присутствуют в любом ОУ и необходимы для его функционирования.

Однако, существуют операционные усилители, не имеющие неинвертирующего входа. В частности, такие ОУ находят применение в аналоговых вычислительных машинах (АВМ).

ОУ, применяемые в АВМ, принято делить на пять классов, из которых ОУ первого и второго класса имеют только один вход.

Операционные усилители первого класса — усилители высокой точности (УВТ) с одним входом.

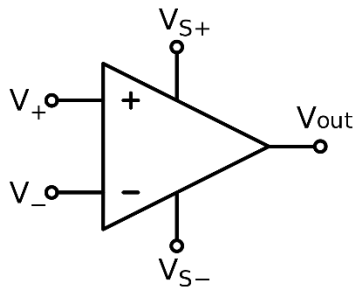
Предназначены для работы в составе интеграторов, сумматоров, устройств слежения-хранения. Высокий коэффициент усиления, предельно малые значения смещения нуля, входного тока и дрейфа нуля, высокое быстродействие обеспечивают снижение погрешности, вносимой усилителем, ниже 0,01 %.

Операционные усилители второго класса — усилители средней точности (УСТ), имеющие один вход, обладающие меньшим коэффициентом усиления и большими значениями смещения и дрейфа нуля. Эти ОУ предназначены для применения в составе электронных устройств установки коэффициентов, инверторов, электронных переключателей, в функциональных преобразователях, в множительных устройствах.

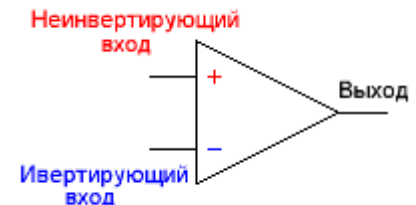
ОУ могут иметь дополнительные выводы.

Выводы питания ( $V_{S+}$  и  $V_{S-}$ ) могут быть обозначены по-разному. Часто выводы питания не рисуют на схеме, чтобы не загромождать её. При обозначении ОУ на схемах можно менять местами инвертирующий и неинвертирующий входы, если это удобно; выводы питания, как правило, всегда располагают единственным способом (положительный вверху).

*Обозначение операционного усилителя на схемах*



Два входа ОУ - Инвертирующий и Неинвертирующий названы так по присущим им свойствам. Если подать сигнал на Инвертирующий вход, то на выходе мы получим инвертированный сигнал, то бишь сдвинутый по фазе на 180 градусов - зеркальный; если же подать сигнал на Неинвертирующий вход, то на выходе мы получим фазово не измененный сигнал.



## Основы функционирования

### Питание

В общем случае ОУ использует двухполярное питание, то есть источник питания имеет три вывода со следующими потенциалами:

- $U_+$ , к которому подключается  $V_{S+}$ ;
- 0 (нулевой потенциал);
- $U_-$ , к которому подключается  $V_{S-}$ .

Вывод источника питания с нулевым потенциалом непосредственно к ОУ обычно не подключается, но, как правило, является сигнальной землёй и используется для создания обратной связи.

Часто вместо двухполярного используется более простое однополярное, а общая точка создаётся искусственно или совмещается с отрицательной шиной питания.

ОУ способны работать в широком диапазоне напряжений источников питания, типичное значение для ОУ общего применения от  $\pm 1,5$  В до  $\pm 15$  В при двухполярном питании (то есть  $U_+ = 1,5 \dots 15$  В,  $U_- = -15 \dots -1,5$  В, допускается значительный переко).

### Простейшее включение ОУ

Рассмотрим работу ОУ как отдельного дифференциального усилителя, то есть без включения в рассмотрение каких-либо внешних компонентов. В этом случае ОУ ведёт себя как обычный усилитель с дифференциальным входом, то есть поведение ОУ описывается следующим образом:

$$V_{out} = (V_+ - V_-) \cdot G_{openloop}$$

где

- $V_{out}$  — напряжение на выходе;
- $V_+$  — напряжение на неинвертирующем входе;
- $V_-$  — напряжение на инвертирующем входе;
- $G_{openloop}$  — коэффициент усиления при разомкнутой петле, то есть собственный коэффициент усиления ОУ, без обратной связи.

Все напряжения считаются относительно общей точки схемы. Рассматриваемый способ включения ОУ (без обратной связи) практически не используется вследствие присущих ему серьёзных недостатков:

- собственный коэффициент усиления нормируется в очень широких пределах и может изменяться в тысячи раз (зависит сильнее всего от частоты сигнала и температуры);
- собственный коэффициент усиления очень велик (типичное значение  $10^6$  на постоянном токе) и не поддается регулировке;
- точка отсчета входного и выходного напряжений не поддается регулировке.

## Классификация ОУ

### По типу элементной базы

- На полевых транзисторах
- На биполярных транзисторах
- На баллистических транзисторах
- На электронных лампах

### По области применения

- **Индустриальный стандарт.** Так называют широко применяемые, очень дешевые ОУ общего применения со средними характеристиками. Пример «классических» ОУ: с биполярным входом — LM324, с полевым входом — TL084.
- **Прецизионные ОУ** имеют очень малые напряжения смещения, применяются в точных измерительных схемах. Обычно ОУ на биполярных транзисторах по этому показателю несколько лучше, чем на полевых. Также от прецизионных ОУ требуется долговременная стабильность параметров. Исключительно малыми смещениями обладают стабилизированные прерыванием ОУ. Примеры: AD707, AD708, с напряжением смещения 30 мкВ, а также новейшие AD8551 с типичным напряжением смещения 1 мкВ.
- **С малым входным током (электрометрические) ОУ.** Все ОУ, имеющие полевые транзисторы на входе, обладают малым входным током. Но среди них существуют специальные ОУ с исключительно малым входным током. Чтобы полностью реализовать их преимущества, при проектировании устройств с их использованием необходимо даже учитывать утечку тока по печатной плате. Пример: AD549 с входным током  $6 \cdot 10^{-14}$  А.
- **Микроомощные и программируемые ОУ** потребляют малый ток на собственное питание. Такие ОУ не могут быть быстродействующими, так как малый потребляемый ток и высокое быстродействие — взаимоисключающие требования. Программируемыми называются ОУ, для которых все внутренние токи покоя можно задать с помощью внешнего тока, подаваемого на специальный вывод ОУ.
- **Мощные (сильноточные) ОУ** могут отдавать большой ток в нагрузку, то есть допустимое сопротивление нагрузки меньше стандартных 2 кОм, и может составлять до 50 Ом.
- **Низковольтные ОУ** работоспособны при напряжении питания 3 В и даже ниже. Как правило, они имеют *rail-to-rail* выход.
- **Высоковольтные ОУ.** Все напряжения для них (питания, синфазное входное, максимальное выходное) значительно больше, чем для ОУ широкого применения.
- **Быстродействующие ОУ** имеют высокую скорость нарастания и частоту единичного усиления. Такие ОУ не могут быть микроомощными, и, как правило, выполнены на биполярных транзисторах.
- **Малозумящие ОУ.**
- **Звуковые ОУ.** Имеют минимально возможный коэффициент гармоник (*THD*). Примеры: LM4562 (*THD* 0,00003 %), OPA2132 (*THD* 0,00008 %), LME49600 (*THD* 0,00003 %), AD797 (*THD* 0,0001 %) и т. п.
- **Для однополярного питания.** CMOS ОУ обеспечивают выходное напряжение, практически равное напряжению питания (*rail-to-rail*, R2R), биполярные ОУ — примерно на 1,2 В меньше, что существенно при небольших значениях  $U_{сс}$ .

- **Разностные ОУ.** Имеют выдающийся коэффициент ослабления синфазного напряжения. Измеряют малые напряжения на фоне сильных помех, что характерно, к примеру, для токовых шунтов. Примеры: INA214, INA333.
- ОУ (или точнее, готовые усилительные каскады) с переменным коэффициентом усиления.
- **Специализированные ОУ.** Обычно разработаны для конкретных задач: например, подключение фотодатчика или магнитной головки ко входу; динамического громкоговорителя к выходу. Могут содержать в себе готовые цепи ООС или отдельные необходимые для этого прецизионные резисторы.

## Электронный генератор

Электронный генератор - это устройство, преобразующее электрическую энергию источника постоянного тока в энергию незатухающих электрических колебаний заданной формы и частоты.

Генераторами называются электронные устройства, преобразующие энергию источника постоянного тока в энергию переменного тока (электромагнитных колебаний) различной формы требуемой частоты и мощности.

**Электронные генераторы** применяются в радиовещании, медицине, радиолокации, входят в состав аналого-цифровых преобразователей, микропроцессорных систем и т. д.

### Классификация электронных генераторов:

#### 1) по форме выходных сигналов:

- синусоидальных сигналов;
- сигналов прямоугольной формы (мультивибраторы);
- сигналов линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН) или их еще называют генераторами пилообразного напряжения;
- сигналов специальной формы.

#### 2) по частоте генерируемых колебаний (условно):

- низкой частоты (до 100 кГц);
- высокой частоты (свыше 100 кГц).

#### 3) по способу возбуждения:

- с независимым (внешним) возбуждением;
- с самовозбуждением (автогенераторы).

**Автогенератор** — генератор с самовозбуждением, без внешнего воздействия преобразующий энергию источников питания в незатухающие колебания, например, колебательный контур.

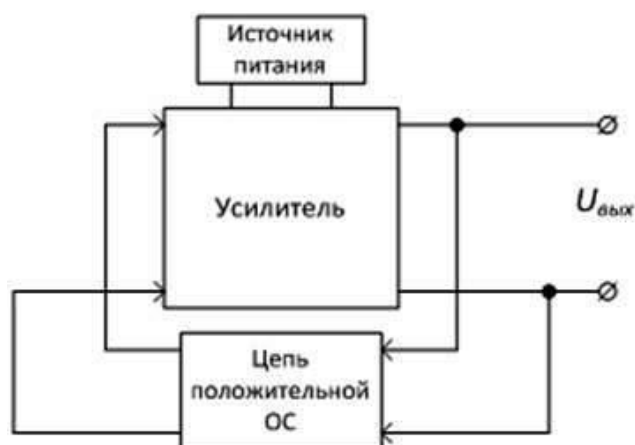


Рисунок 1 – Структурная схема генератора

**Мультивибраторы** - это электронные генераторы сигналов прямоугольной формы. Мультивибратор в подавляющем большинстве случаев выполняет функцию задающего генератора, формирующего запускающие входные импульсы для последующих узлов и блоков в системе импульсного или цифрового действия.

На рисунке 4 приведена схема симметричного

мультивибратора на ИОУ. Симметричный – время импульса прямоугольного импульса равно времени паузы  $t_{имп} = t_{паузы}$ .

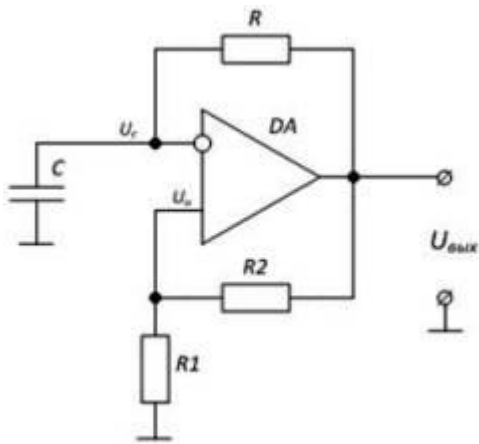
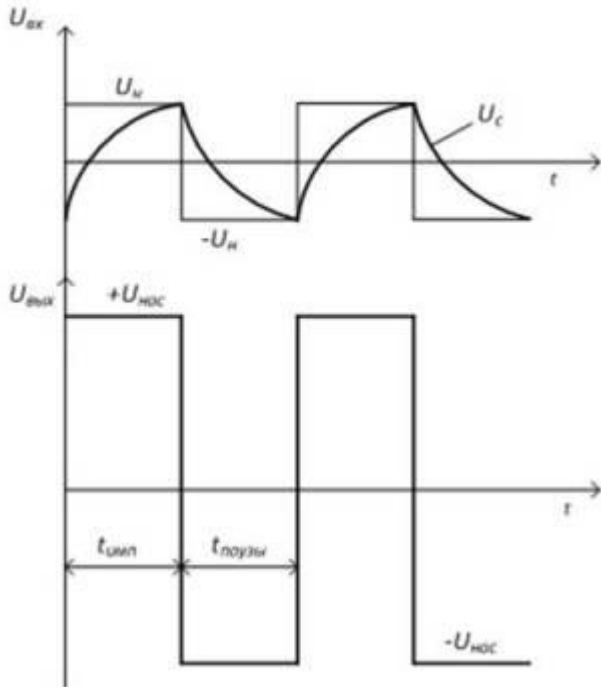


Рисунок 4 – Схема симметричного мультивибратора

Рисунок 5 – Временные диаграммы работы мультивибратора



**Одновибраторы** (ждущие мультивибраторы) предназначены для формирования прямоугольного импульса напряжения требуемой длительности при воздействии на входе короткого запускающего импульса. Одновибраторы часто называют еще электронными реле выдержки времени.

Одновибратор обладает одним длительно устойчивым состоянием равновесия, в котором он находится до подачи запускающего импульса. Второе возможное состояние является временно устойчивым. В это состояние одновибратор переходит под действием запускающего импульса и может находиться в нем конечное время  $t_{\text{в}}$ , после чего автоматически возвращается в исходное состояние.

Основными требованиями к одновибраторам являются стабильность длительности выходного

импульса и устойчивость его исходного состояния.

**Генераторы линейно-изменяющихся напряжений** (ГЛИН) формируют периодические сигналы, изменяющиеся по линейному закону (пилообразные импульсы).

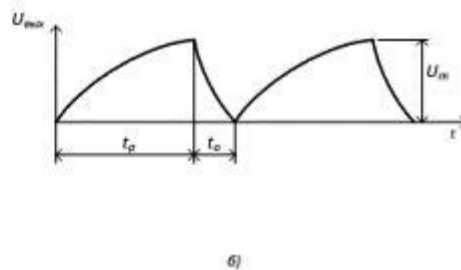
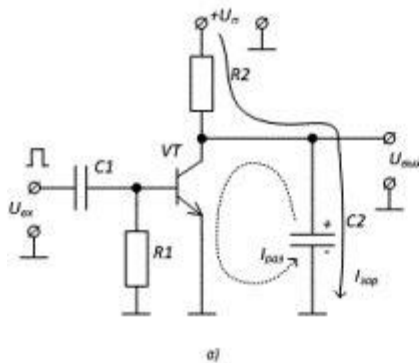


Рисунок 6 – а) Простейшая схема для формирования линейно изменяющегося напряжения б) Временная диаграмма импульсов пилообразной формы.

### Мягкий и жесткий режимы самовозбуждения автогенератора

Мягкий режим характеризуется безусловным быстрым установлением стационарного режима при включении автогенератора.

Жесткий режим требует дополнительных условий для установления колебаний: либо большой величины коэффициента обратной связи, либо дополнительного внешнего воздействия (накачки)