



ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

ТРАНСПОРТНЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

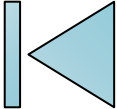


ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

Разработал: к.т.н., доцент Пузаков А.В., кафедра ТЭРА, ОГУ

Содержание раздела

1. Выпрямительные устройства
2. Сглаживающие фильтры
3. Преобразователи постоянного тока
4. Электронные усилители
5. Операционные усилители
6. Импульсные устройства
7. Логические устройства
8. Триггеры
9. Логические автоматы
10. Заключение
11. Вопросы для самоконтроля
12. Литература по разделу

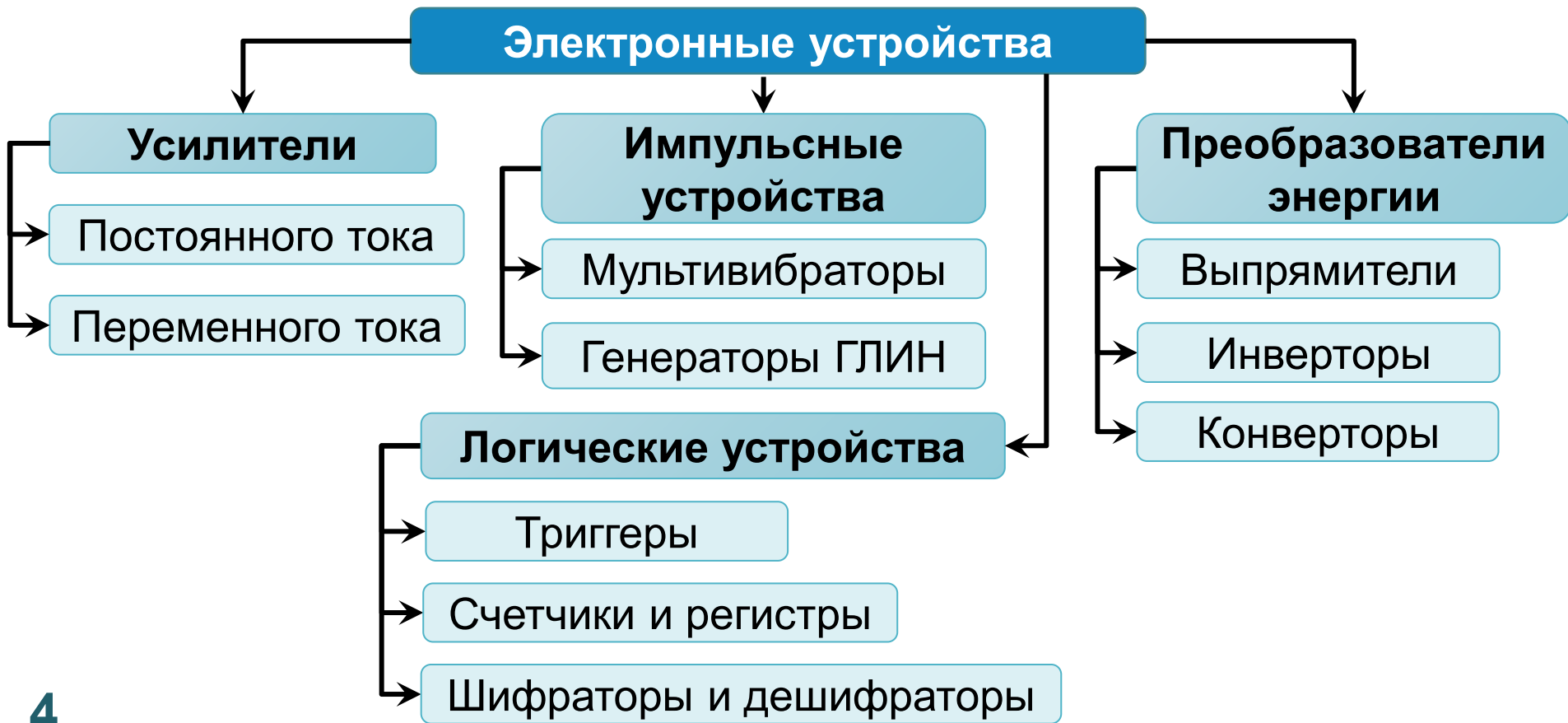


Классификация электронных устройств

Электронное устройство — электронный прибор/устройство, созданный из электронных компонентов (принцип действия которых основан на взаимодействии заряженных частиц с электромагнитными полями), используемый для преобразования электромагнитной энергии (например для передачи, обработки и хранения информации). Наиболее характерные задачи таких устройств: генерирование, усиление, приём электромагнитных колебаний.

Классификация электронных устройств

Электронное устройство — электронный прибор/устройство, созданный из электронных компонентов (принцип действия которых основан на взаимодействии заряженных частиц с электромагнитными полями), используемый для преобразования электромагнитной энергии (например для передачи, обработки и хранения информации). Наиболее характерные задачи таких устройств: генерирование, усиление, приём электромагнитных колебаний.



Источники вторичного электропитания

Источник питания – устройство, предназначенное для обеспечения различных объектов электрической энергией.

Первичные источники питания – преобразователи различных видов энергии в электрическую (например аккумулятор, преобразующий химическую энергию).

Вторичные источники питания – преобразователи электрической энергии (обеспечение требуемых параметров питания – напряжения, тока, пульсаций и т.п.)

Источники вторичного электропитания

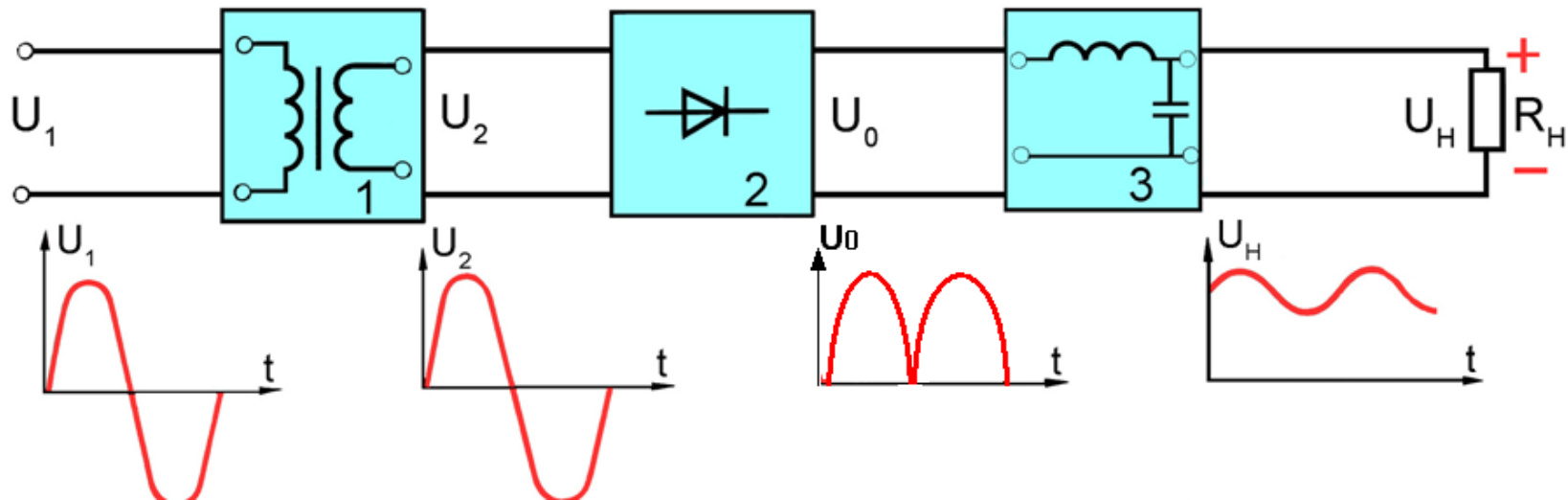
Источник питания – устройство, предназначенное для обеспечения различных объектов электрической энергией.

Первичные источники питания – преобразователи различных видов энергии в электрическую (например аккумулятор, преобразующий химическую энергию).

Вторичные источники питания – преобразователи электрической энергии (обеспечение требуемых параметров питания – напряжения, тока, пульсаций и т.п.)

Источники вторичного электропитания состоят из ряда функциональных узлов, выполняющих следующие функции: *преобразование, выпрямление, сглаживание пульсаций, стабилизацию, регулирование* и т.д.

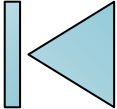
Структура источника вторичного электропитания



1 – силовой трансформатор, служит для преобразования энергии переменного тока

2 – выпрямитель, преобразует переменный ток в ток одного направления (пульсирующий)

3 – сглаживающий фильтр, уменьшает колебания выпрямленного напряжения



Выпрямительные устройства

Выпрямители – электротехнические устройства, предназначенные для преобразования переменного напряжения в однополярное пульсирующее напряжение.

Выпрямительное устройство выполняется на основе диодов и тиристоров, а в отдельных случаях на основе силовых транзисторов.

Классификация выпрямительных устройств

В зависимости от числа фаз питающей сети различают *однофазные*, *трехфазные* и *многофазные* выпрямители.

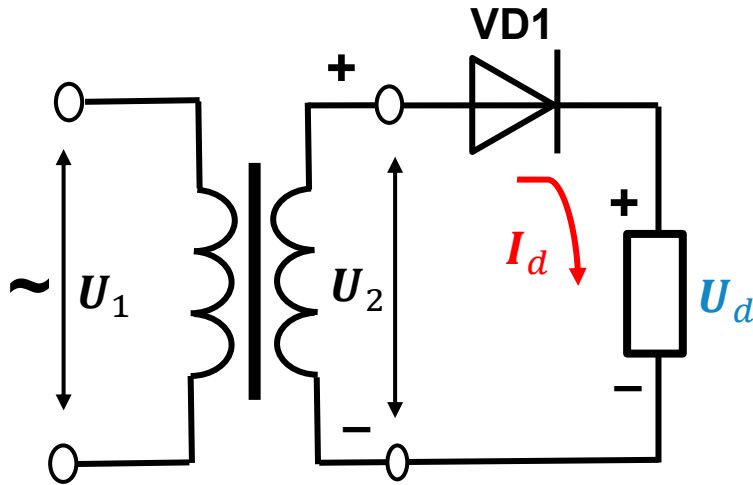
По форме выпрямленного напряжения выпрямители подразделяют на *однополупериодные* и *двухполупериодные*.

По возможности регулирования напряжения на выходе выпрямители делятся на *управляемые* и *неуправляемые*. Выпрямительные устройства, выполненные на тиристорах и диодах, обладающие свойствами регулирования напряжения, но не позволяющие осуществлять переход в режим **инвертора** называют *полууправляемыми*.

По структуре связей вторичной обмотки трансформатора и выпрямительной схемы различают *нулевые* и *мостовые* схемы выпрямителей.

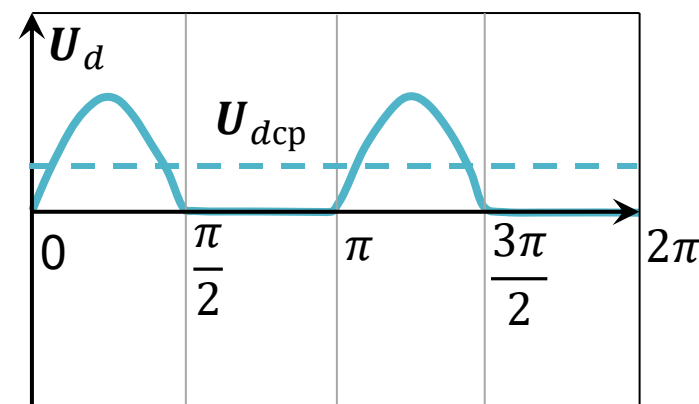
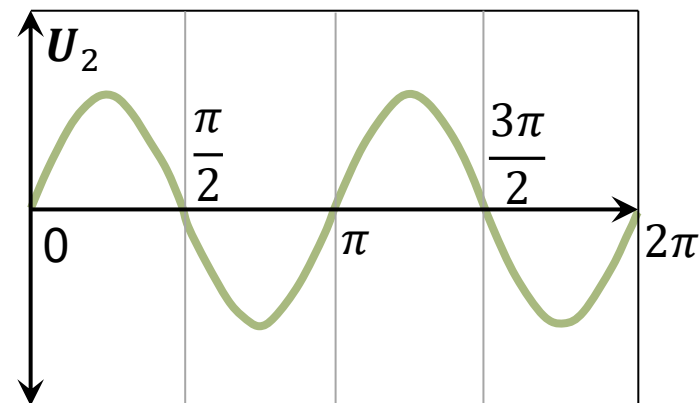
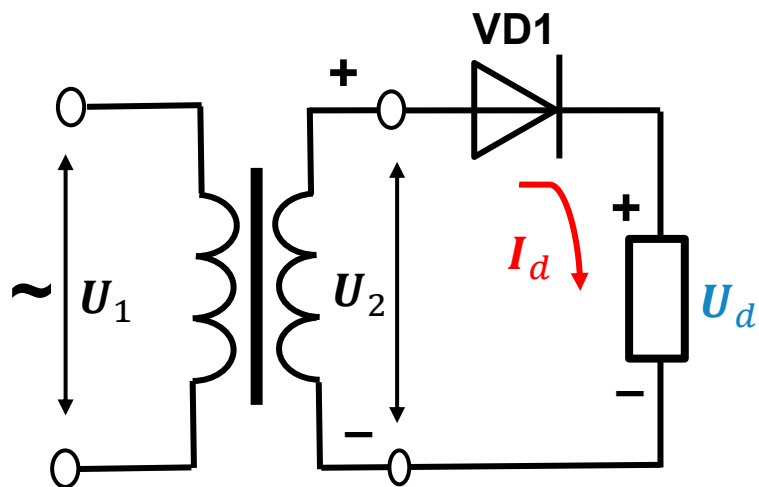
Однофазный однополупериодный выпрямитель

В первый полупериод переменного напряжения условно положительным является верхний вывод обмотки. При этом диод оказывается включенным в прямом направлении и пропускает ток.

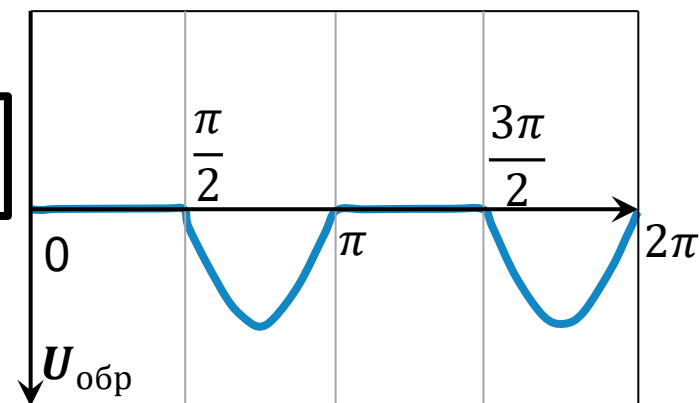
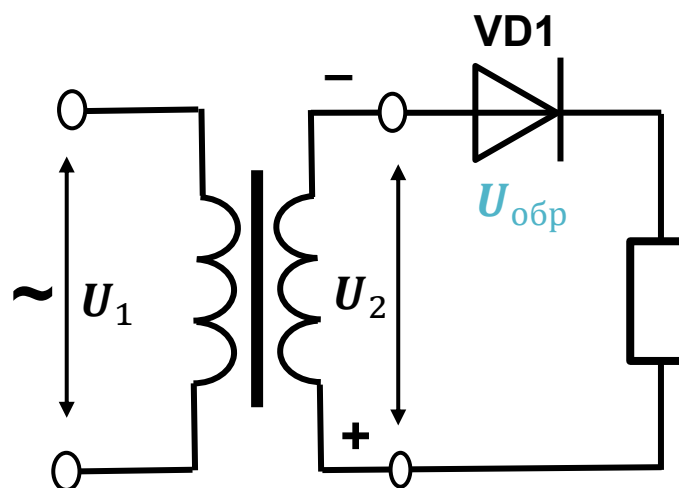


Однофазный однополупериодный выпрямитель

В первый полупериод переменного напряжения условно положительным является верхний вывод обмотки. При этом диод оказывается включенным в прямом направлении и пропускает ток.



Во второй полупериод верхний вывод обмотки становится отрицательным, диод ток не пропускает, к нему приложено обратное напряжение.



Однофазный однополупериодный выпрямитель

Напряжение на выходе однополупериодного выпрямителя

$$U_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 \approx 0,45 \cdot U_2$$

Напряжение на диоде однополупериодного выпрямителя

$$U_{\text{обр}} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \pi \cdot U_d$$

Коэффициент пульсации напряжения однополупериодного выпрямителя

$$K_{\Pi} = \frac{\pi}{2} = 1,57$$

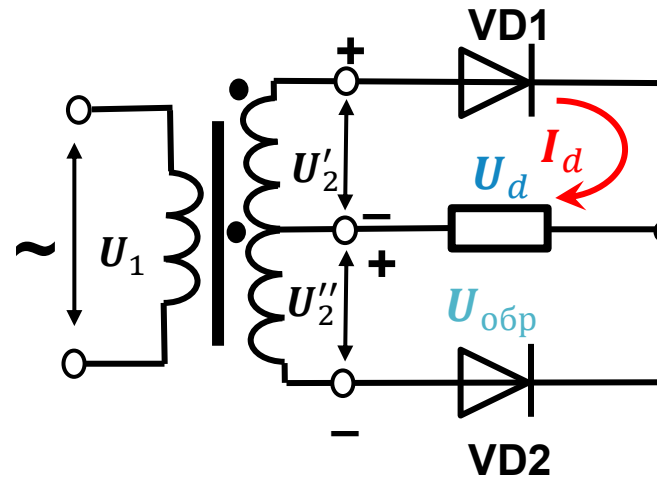
Большая величина коэффициента пульсаций является основным недостатком однополупериодной схемы выпрямления. Постоянная составляющая тока вторичной обмотки создает вынужденное намагничивание трансформатора.

Однополупериодная схема выпрямления имеет ряд принципиальных недостатков, из-за которых не нашла широкого применения.

Двухфазный двухполупериодный выпрямитель

Двухфазная двухполупериодная схема с выводом от средней точки, предложенная советским ученым В.Ф. Миткевичем, имеет два диода, включенных встречно.

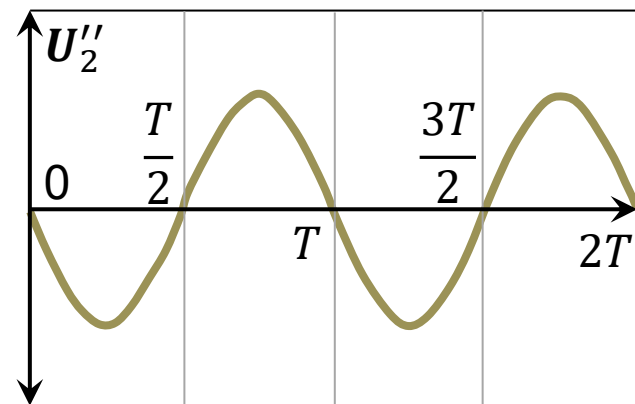
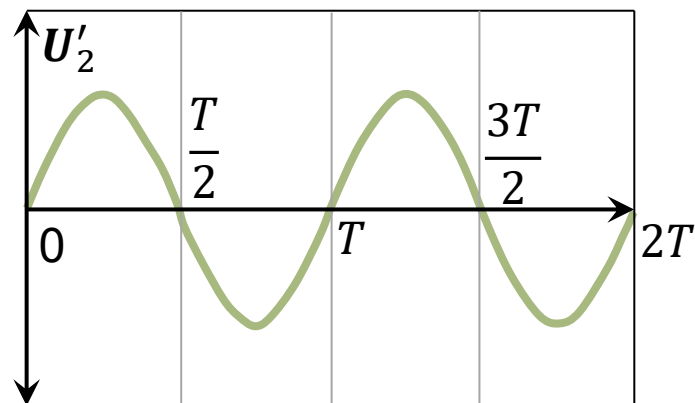
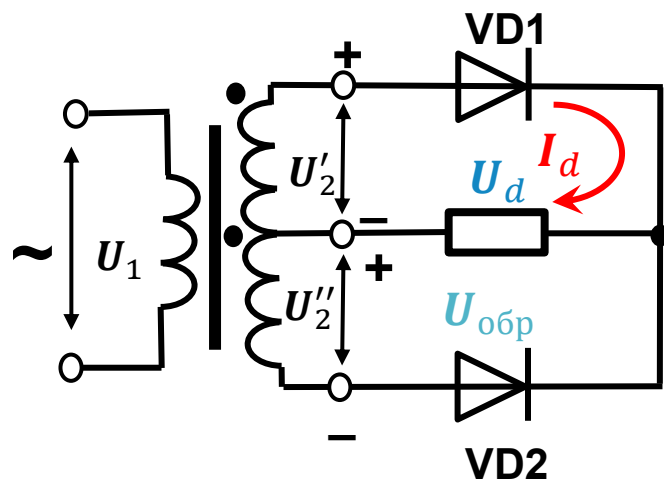
В первый полупериод переменного напряжения диод VD1 оказывается включенным в прямом направлении и пропускает ток. Диод VD2 ток не пропускает.



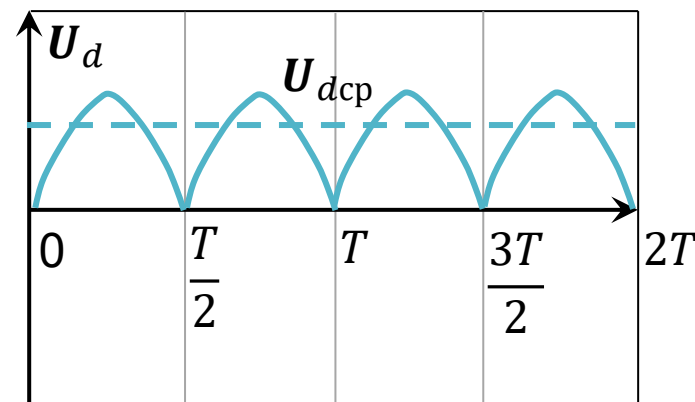
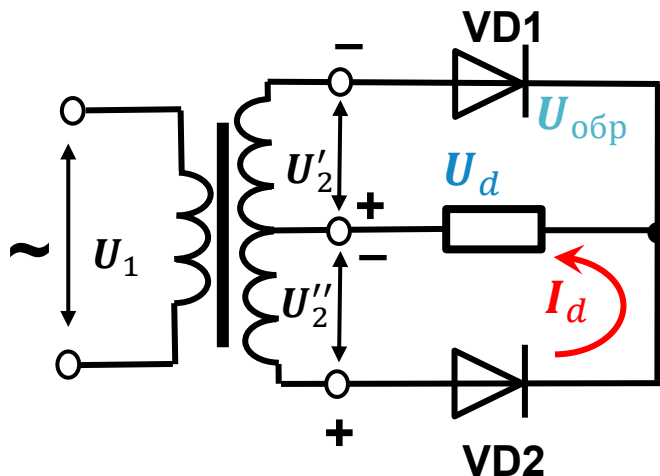
Двухфазный двухполупериодный выпрямитель

Двухфазная двухполупериодная схема с выводом от средней точки, предложенная советским ученым В.Ф. Миткевичем, имеет два диода, включенных встречно.

В первый полупериод переменного напряжения диод VD1 оказывается включенным в прямом направлении и пропускает ток. Диод VD2 ток не пропускает.



В второй полупериод диоды меняются местами: ток пропускает диод VD2, а диод VD1 закрыт.



Однофазный двухполупериодный нулевой выпрямитель

Напряжение на выходе двухполупериодного нулевого выпрямителя

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 \approx 0,9 \cdot U_2$$

Напряжение на диоде двухполупериодного нулевого выпрямителя

$$U_{обр} = 2\sqrt{2} \cdot U_2 = \pi \cdot U_d$$

Коэффициент пульсации напряжения двухполупериодного нулевого выпрямителя

$$K_{\Pi} = \frac{2}{3} = 0,67$$

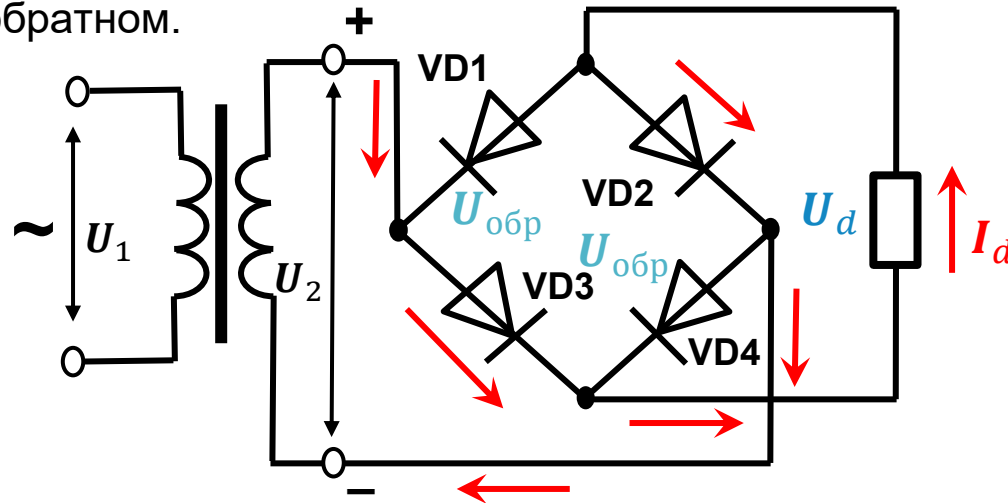
По сравнению с однополупериодным выпрямителем в выпрямителе с нулевой точкой силовой трансформатор используется лучше, выпрямленное напряжение имеет меньше пульсаций, нет вынужденного намагничивания трансформатора.

Необходимость осуществления вывода от средней точки является недостатком рассмотренной схемы, так как при этом усложняется трансформатор.

Двухполупериодный мостовой выпрямитель

Мостовой выпрямитель (схема предложена немецким физиком Л. Гретцем) содержит четыре диода, включенных в две параллельные ветви. К одной диагонали моста подсоединяется вторичная обмотка трансформатора, а к другой нагрузка.

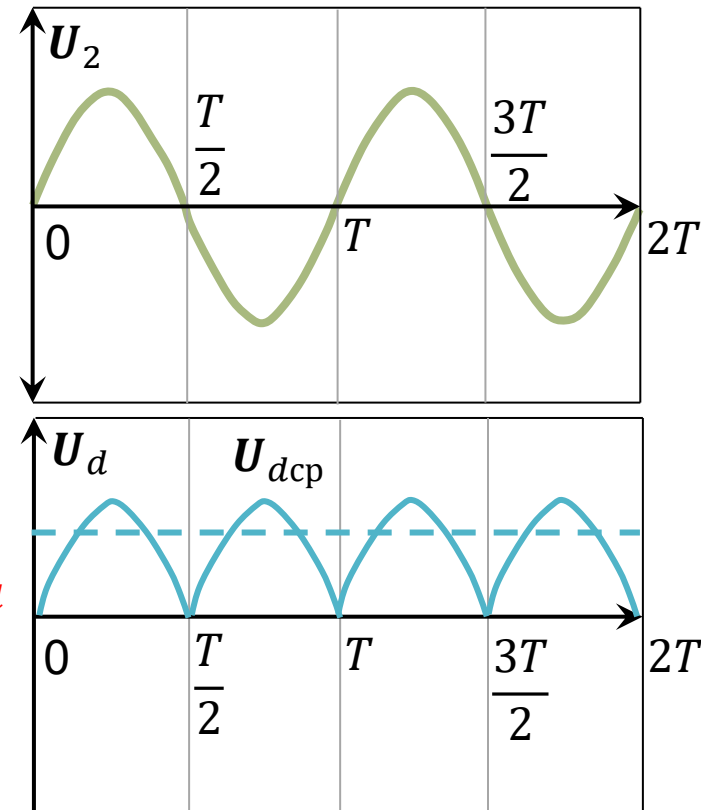
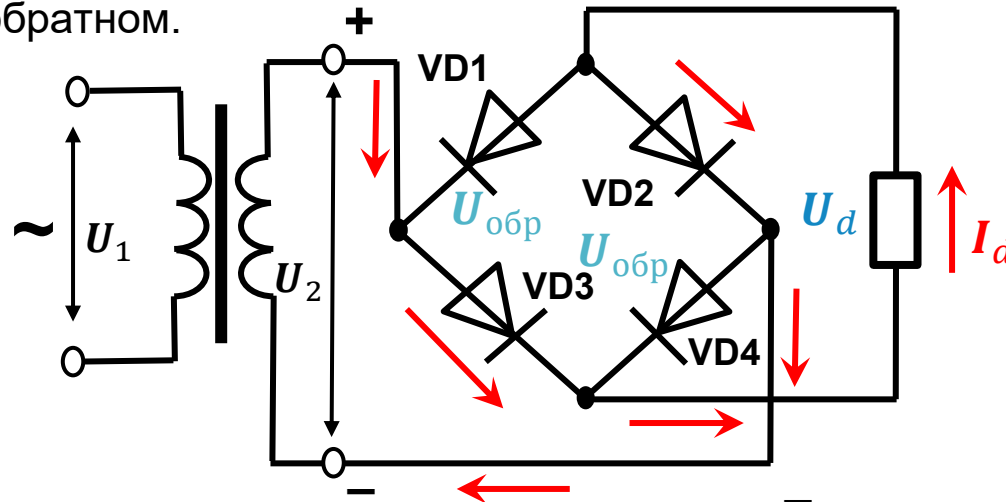
В первый полупериод переменного напряжения диоды VD3 и VD2 включены в прямом направлении, диоды VD1 и VD4 – в обратном.



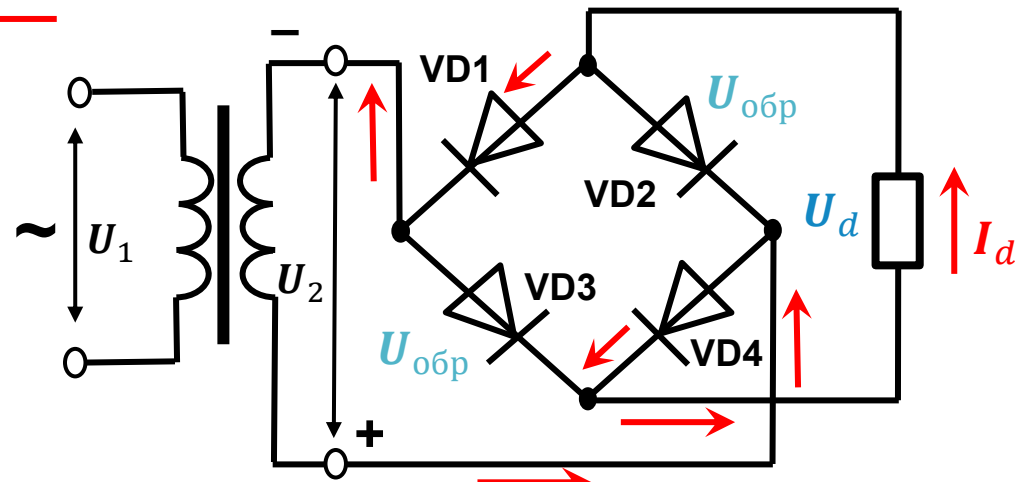
Двухполупериодный мостовой выпрямитель

Мостовой выпрямитель (схема предложена немецким физиком Л. Гретцем) содержит четыре диода, включенных в две параллельные ветви. К одной диагонали моста подсоединяется вторичная обмотка трансформатора, а к другой нагрузка.

В первый полупериод переменного напряжения диоды VD3 и VD2 включены в прямом направлении, диоды VD1 и VD4 – в обратном.



Во второй полупериод переменного напряжения диоды VD1 и VD4 включены в прямом направлении, диоды VD2 и VD3 – в обратном.



Двухполупериодный мостовой выпрямитель

Напряжение на выходе двухполупериодного мостового выпрямителя

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cdot U_2 \approx 0,9 \cdot U_2$$

Напряжение на диоде двухполупериодного мостового выпрямителя

$$U_{обр} = \sqrt{2} \cdot U_2 = \frac{\pi}{2} \cdot U_d$$

Коэффициент пульсации напряжения двухполупериодного мостового выпрямителя

$$K_{\Pi} = \frac{2}{3} = 0,67$$

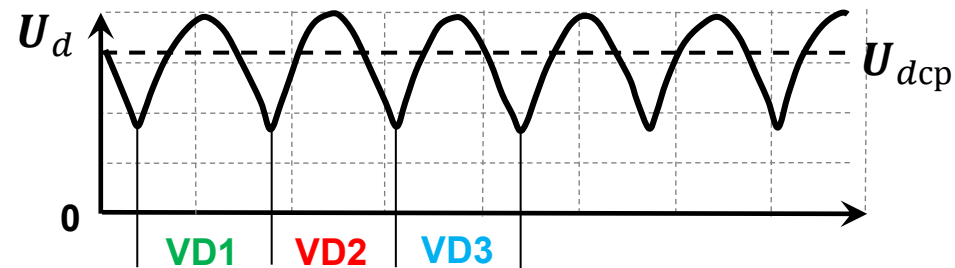
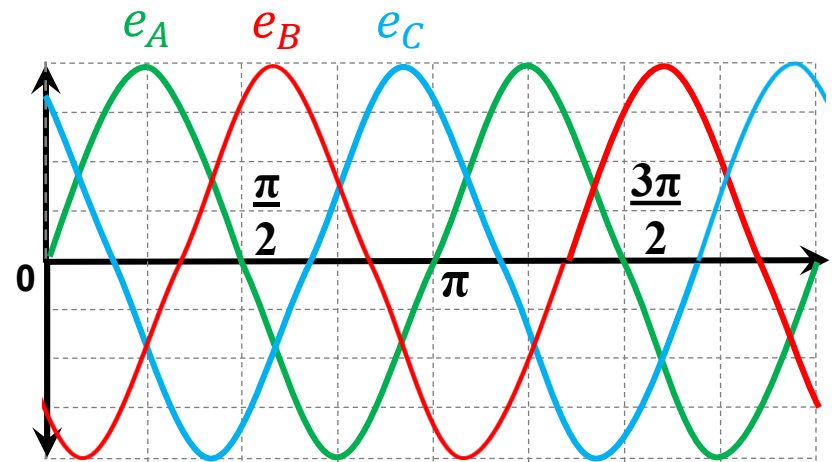
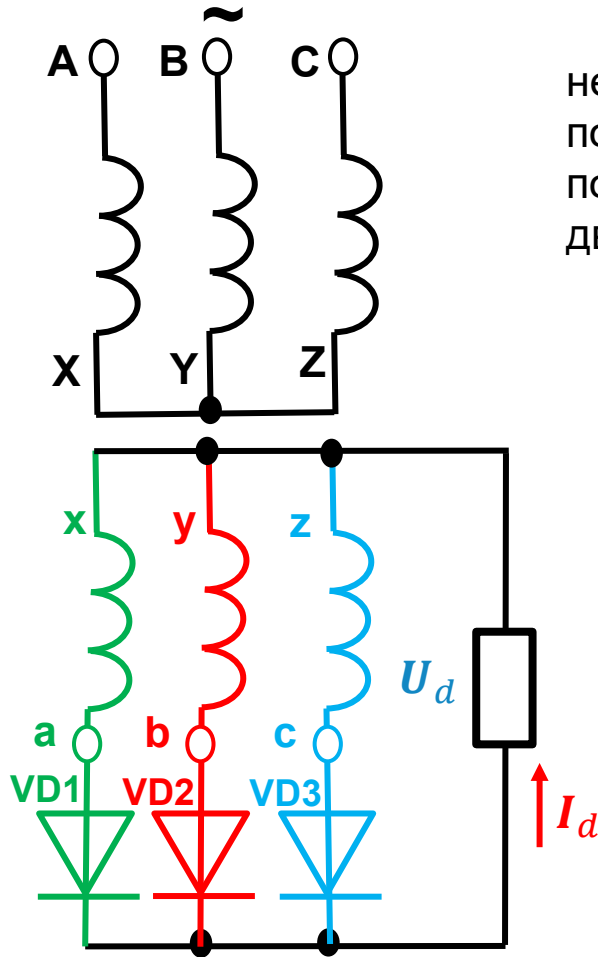
Мостовая схема получила широкое распространение. Она имеет следующие преимущества:

- размеры и масса трансформатора меньше вследствие лучшего использования обмоток по току.;
- конструкция трансформатора проще, так как не требуется специальный вывод от средней точки вторичной обмотки;
- обратное напряжение на вентилях оказывается в два раза меньше.

Трёхфазные выпрямители

Трёхфазные выпрямители применяют в устройствах средней и большой мощности. Одними из самых распространённых выпрямительных схем такого рода являются *трёхфазная нулевая схема* В.Ф. Миткевича на трёх диодах и *трёхфазная мостовая схема* А.Н. Ларионова на шести диодах.

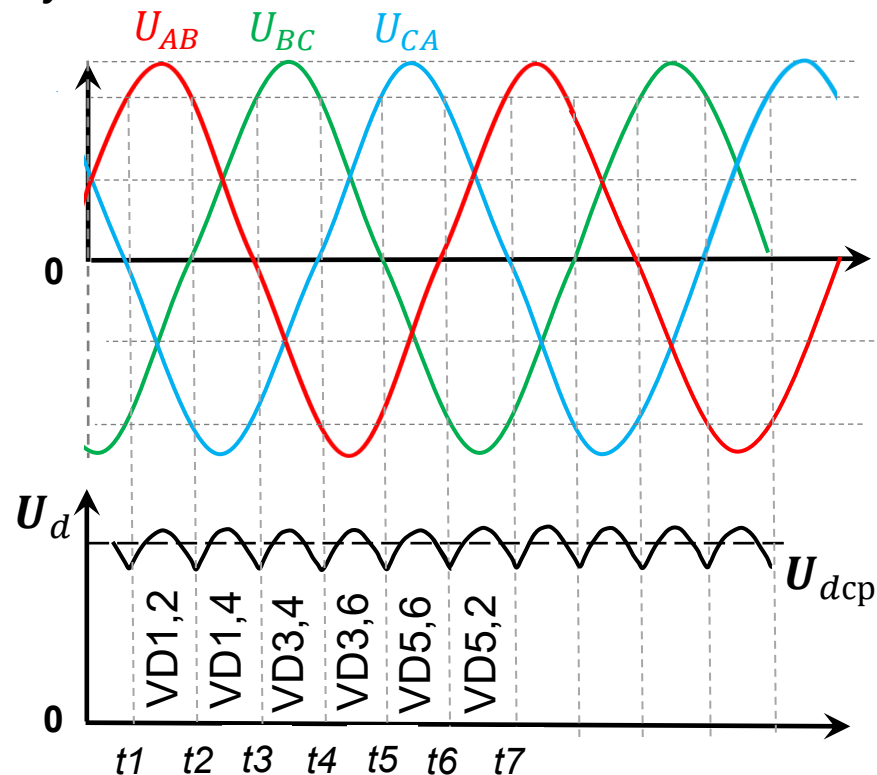
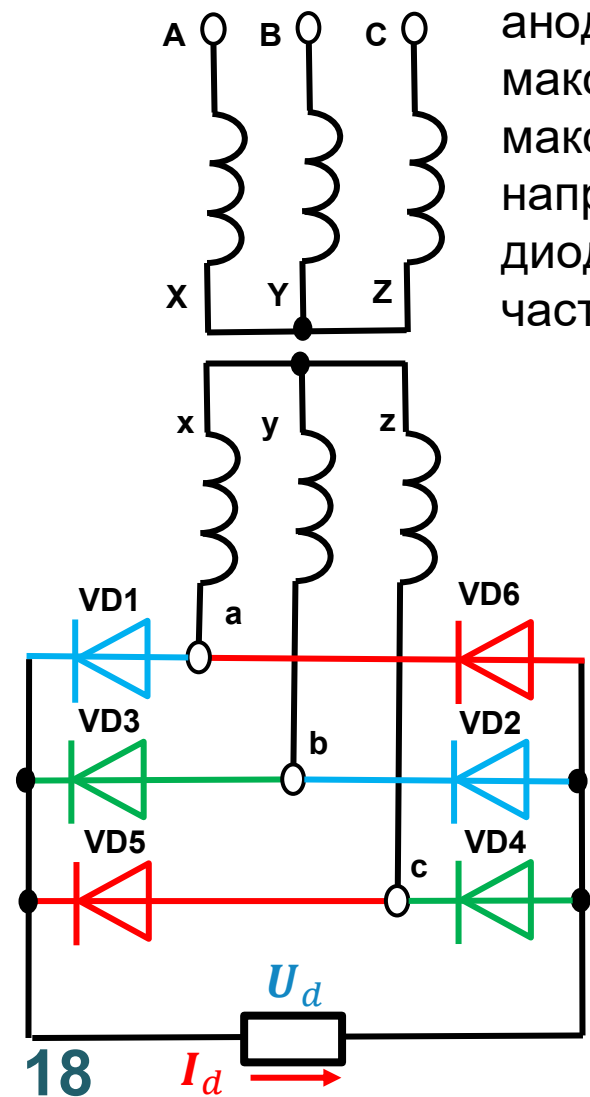
Из временной диаграммы трёхфазного выпрямителя с нейтральным выводом видно, что диоды работают поочередно, каждый в течение трети периода, когда потенциал одной из фазных обмоток более положителен, чем двух других.



Трёхфазные выпрямители

Трёхфазный мостовой выпрямитель содержит мост из шести диодов. Диоды VD1, VD3, VD5 образуют катодную группу, а диоды VD2, VD4, VD6 – анодную группу.

В любой момент времени ток проводят два диода, на анодах которых в данный момент времени будет максимальный положительный потенциал, а на катодах – максимальный отрицательный потенциал. За период напряжения питания происходит шесть переключений диодов и схема работает в шесть тактов, в связи с чем её часто называют *шестипульсовой*.



Трехфазные выпрямители

Напряжение на выходе трехфазных выпрямителей (справа – мостовой)

$$U_d = \frac{3}{\pi} U_2 \sin \frac{\pi}{3} \approx 1,17 \cdot U_2$$

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_2 \approx 2,34 \cdot U_2$$

Напряжение на диоде трехфазных выпрямителей (справа – мостовой)

$$U_{\text{обр}} = \frac{2\pi}{3} \cdot U_d \approx 2,09 \cdot U_d$$

$$U_{\text{обр}} = \sqrt{3} \cdot U_2 \approx 1,045 \cdot U_d$$

Коэффициент пульсации напряжения трехфазных выпрямителей (справа – мостовой)

$$K_{\Pi} = 0,25$$

$$K_{\Pi} = 0,057$$

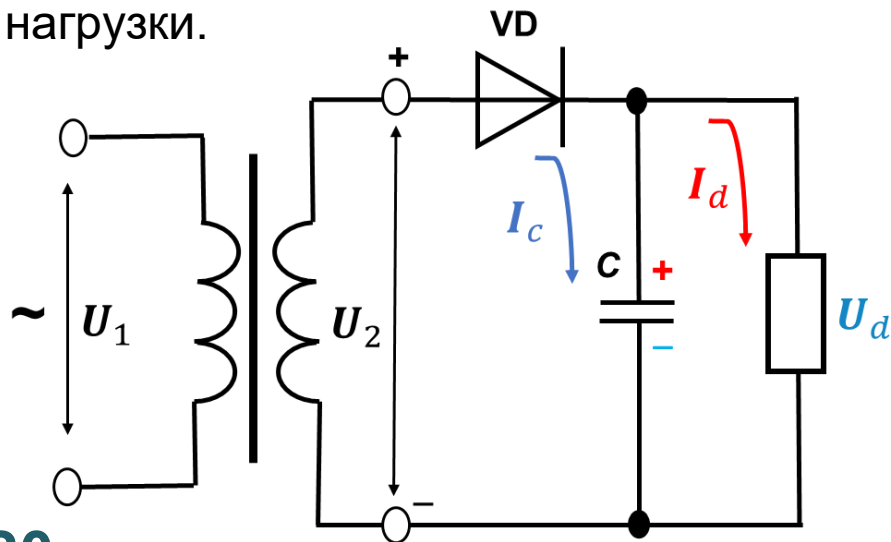
Сглаживающие фильтры

П пульсирующее напряжение на выходе выпрямителя с провалами до нуля не может быть использовано для питания большинства электронных устройств. Поэтому на выходе выпрямителя обязательно включается сглаживающий фильтр на основе реактивных L или C элементов.

Основным параметром эффективности сглаживающих фильтров является *коэффициент сглаживания*, равный отношению коэффициентов пульсации на входе и выходе фильтра

$$q = \frac{K_{\Pi}^{\text{BX}}}{K_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}}$$

Простейший фильтр (но наиболее часто используемый) состоит из единственного конденсатора C , подключенного параллельно сопротивлению нагрузки.



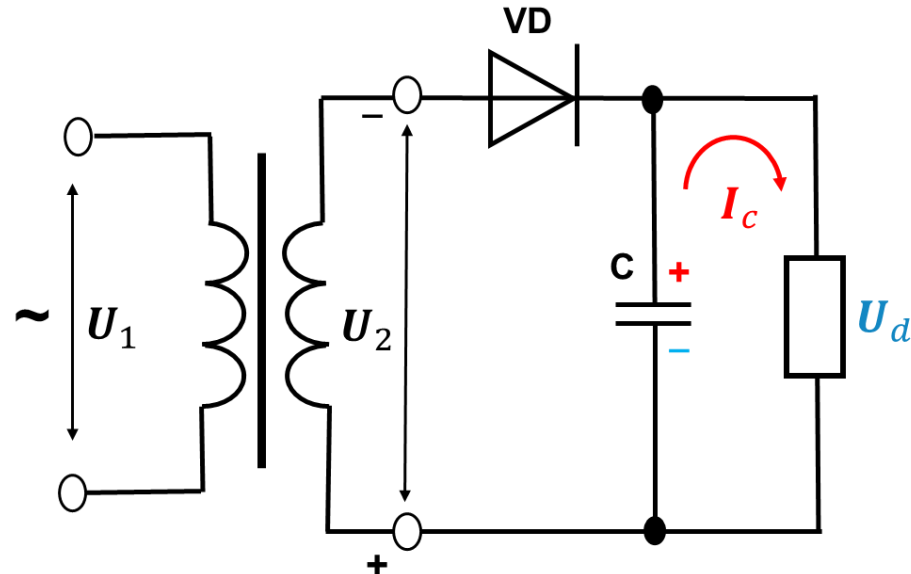
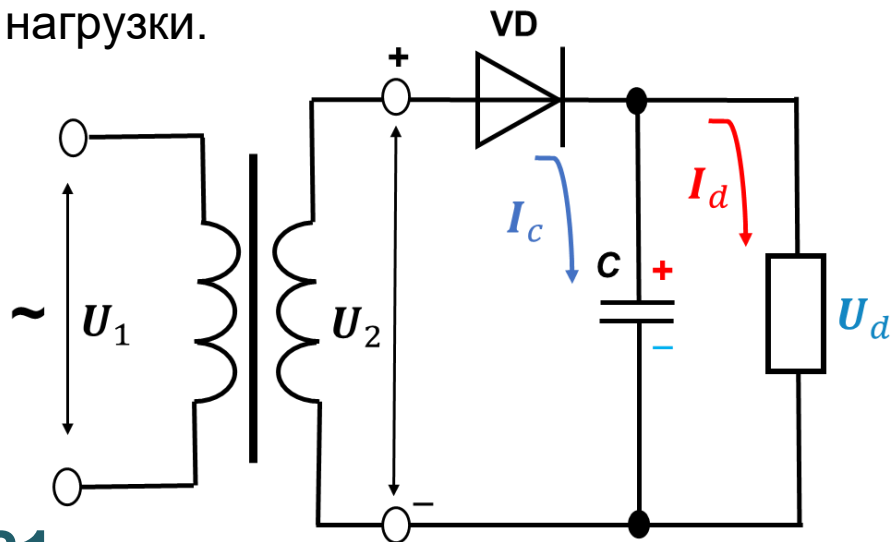
Сглаживающие фильтры

П пульсирующее напряжение на выходе выпрямителя с провалами до нуля не может быть использовано для питания большинства электронных устройств. Поэтому на выходе выпрямителя обязательно включается сглаживающий фильтр на основе реактивных L или C элементов.

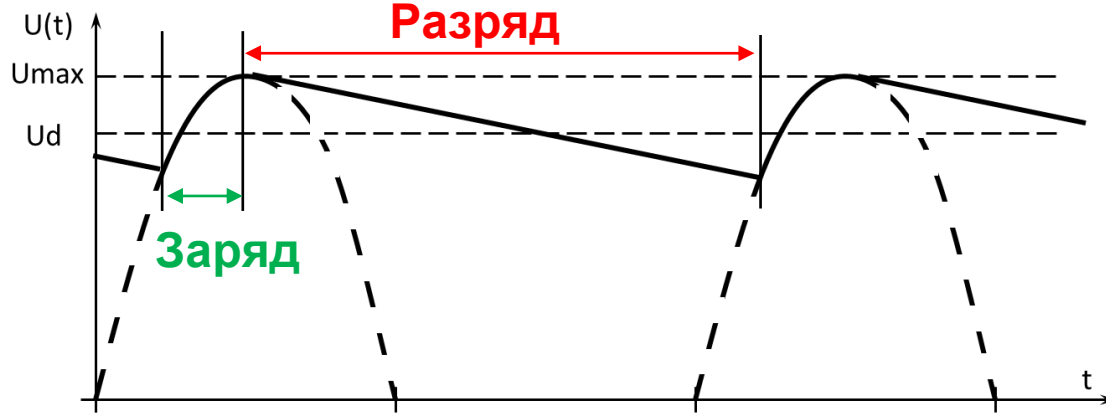
Основным параметром эффективности сглаживающих фильтров является *коэффициент сглаживания*, равный отношению коэффициентов пульсации на входе и выходе фильтра

$$q = \frac{K_{\Pi}^{\text{BX}}}{K_{\Pi}^{\text{ВЫХ}}}$$

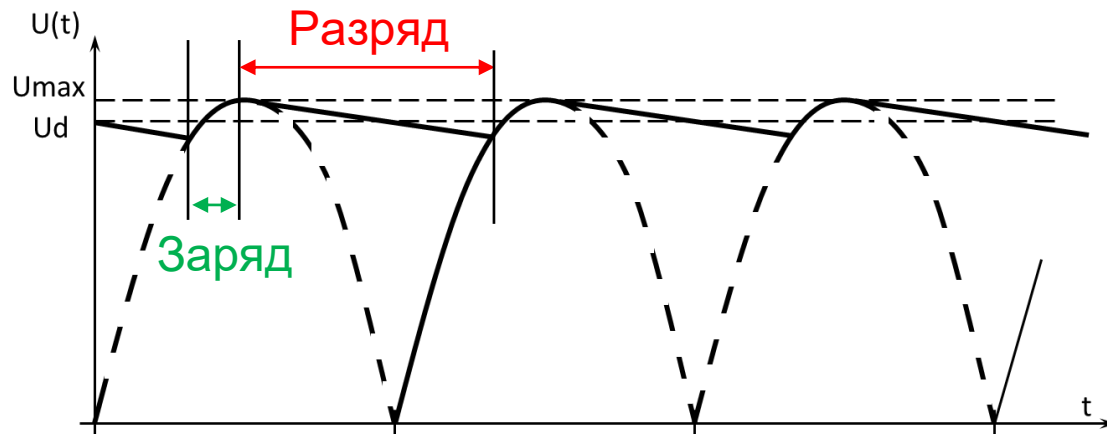
Простейший фильтр (но наиболее часто используемый) состоит из единственного конденсатора C , подключенного параллельно сопротивлению нагрузки.



Ёмкостный фильтр



Однополупериодный
выпрямитель



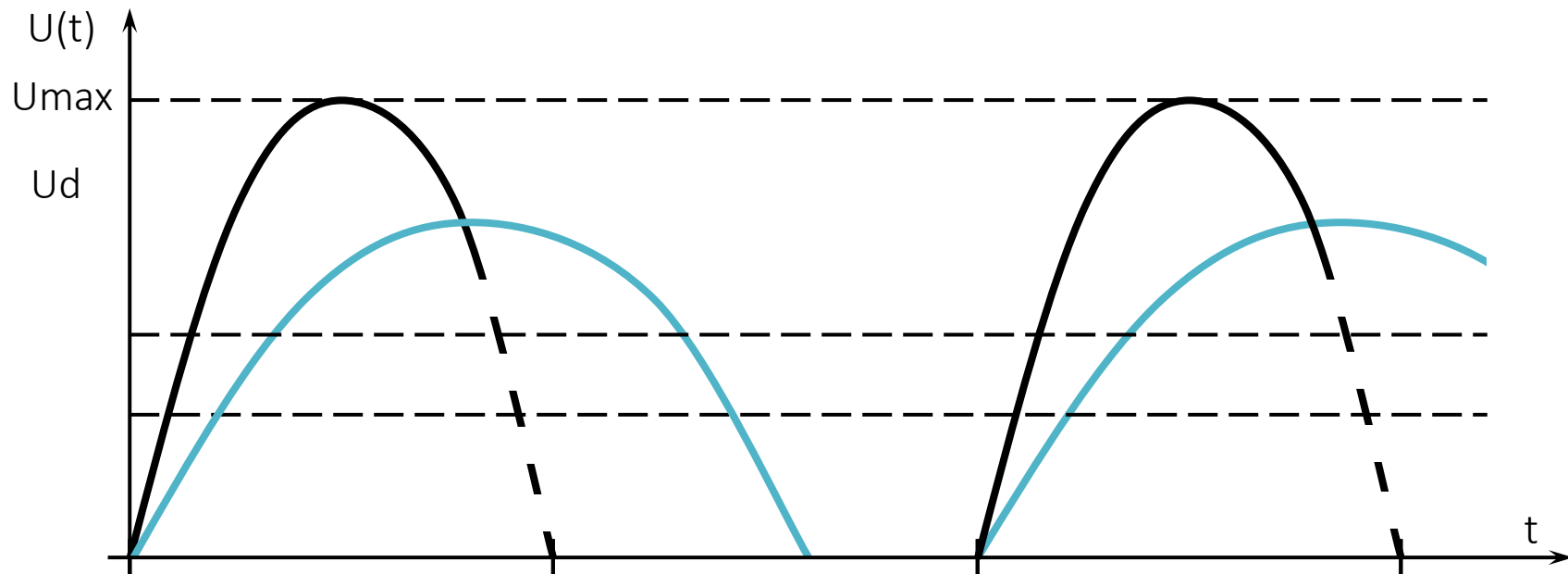
Двухполупериодный
выпрямитель

В первый период времени конденсатор заряжается через открытый диод. Во второй период напряжение U_2 становится меньше напряжения на конденсаторе, и конденсатор разряжается на нагрузку, заполняя паузу. Как только напряжение U_2 становится равным напряжению на конденсатор, диод открывается и описанный процесс повторяется.

Индуктивный фильтр

В **индуктивном фильтре** последовательно с нагрузкой включают катушку индуктивности (*дроссель*). но наиболее часто используемый) состоит из единственного конденсатора C , подключенного параллельно сопротивлению нагрузки.

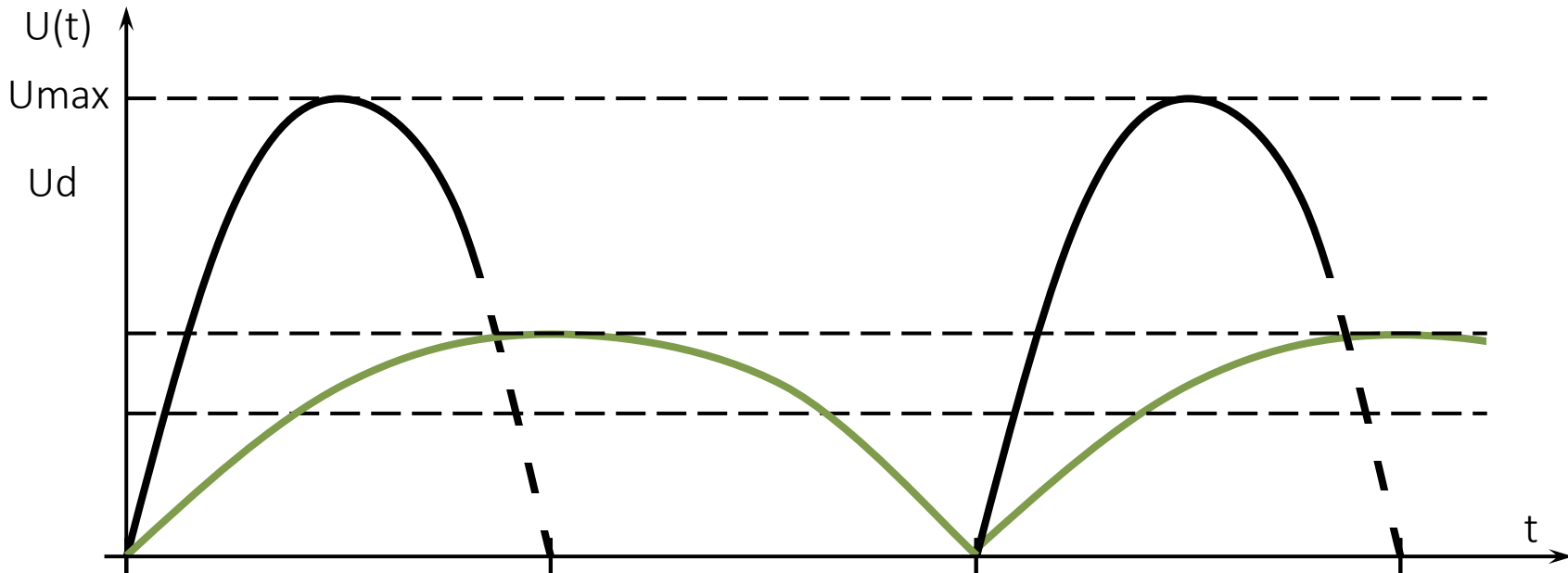
Сглаживающее действие дросселя удобно рассмотреть с помощью временной диаграммы. Дроссель в первый полупериод запасает энергию магнитного поля, снижая амплитуду тока. Во второй полупериод дроссель отдает запасенную энергию, увеличивая продолжительность протекания тока.



Индуктивный фильтр

В **индуктивном фильтре** последовательно с нагрузкой включают катушку индуктивности (*дроссель*). но наиболее часто используемый) состоит из единственного конденсатора C , подключенного параллельно сопротивлению нагрузки.

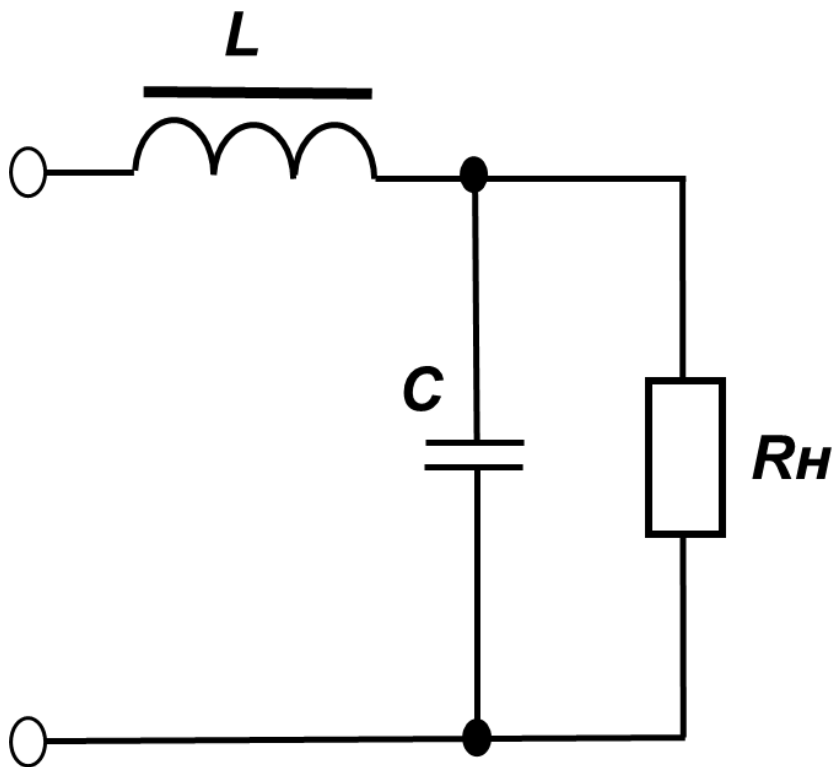
Сглаживающее действие дросселя удобно рассмотреть с помощью временной диаграммы. Дроссель в первый полупериод запасает энергию магнитного поля, снижая амплитуду тока. Во второй полупериод дроссель отдает запасенную энергию, увеличивая продолжительность протекания тока.



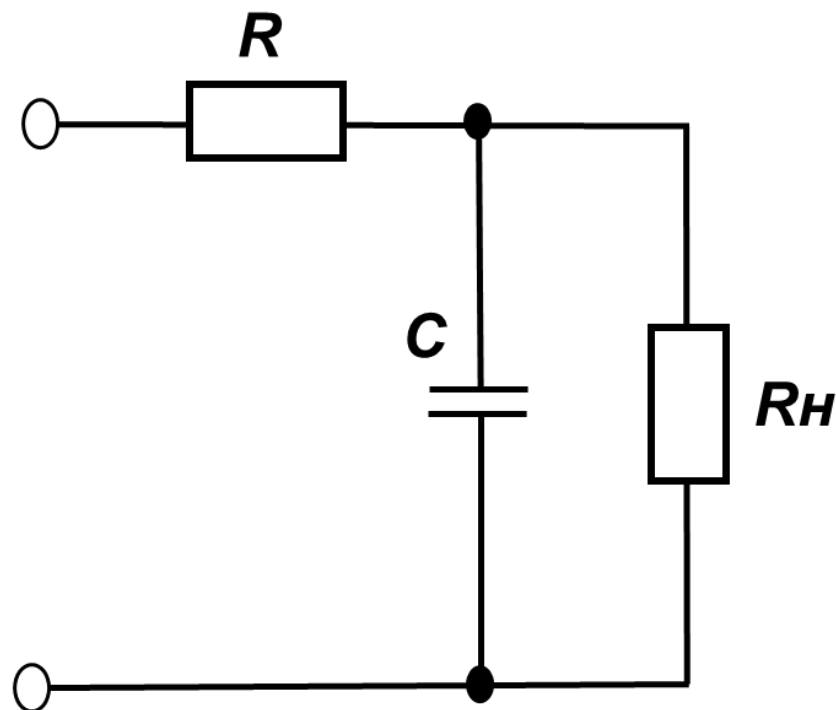
Многозвенные сглаживающие фильтры

Г-образные сглаживающие фильтры являются простейшими многозвенными фильтрами. Фильтры могут быть **LC**-типа и **RC**-типа. Их применяют в том случае, когда с помощью однозвенных фильтров не достигается необходимая величина *коэффициента пульсаций*.

Снижение пульсаций *LC-фильтром* объясняется совместным действием индуктивной катушки и конденсатора. В маломощных выпрямителях с высокоомной нагрузкой применяют *RC-фильтры*.



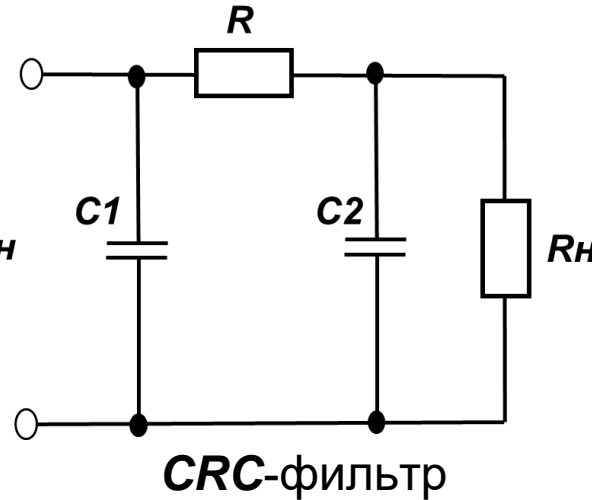
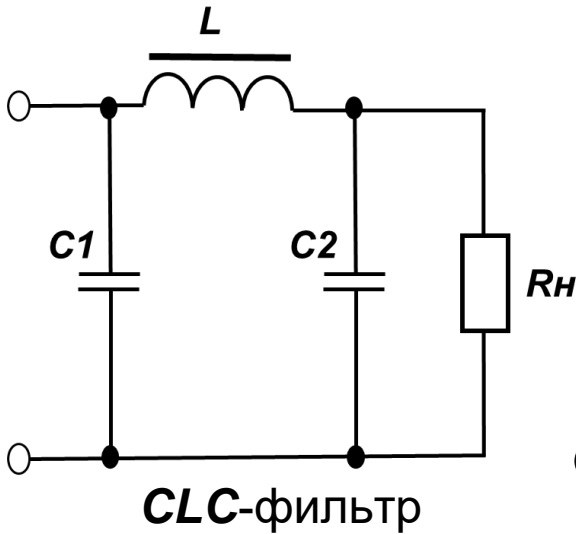
LC-фильтр



RC-фильтр

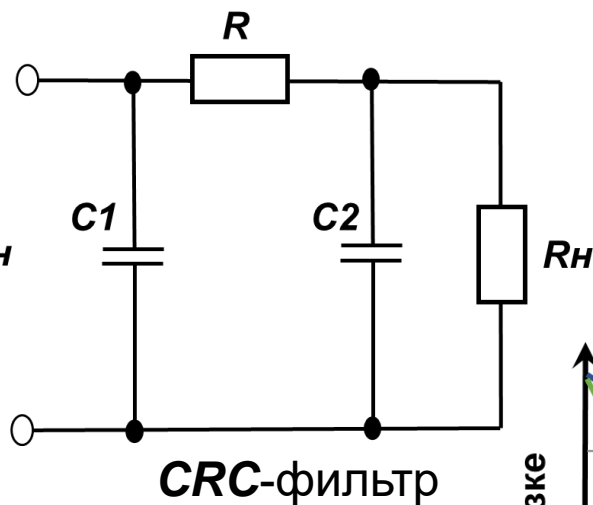
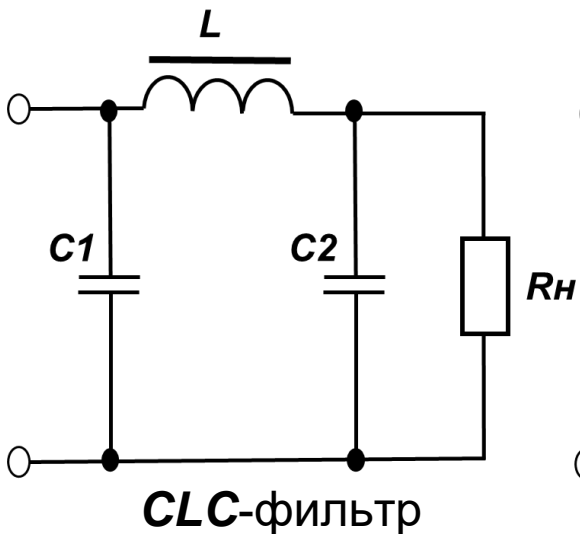
Многозвенные сглаживающие фильтры

П-образный сглаживающий фильтр состоит из последовательно включенных ёмкостного фильтра и Г-образного **LC**-фильтра или **RC**-фильтра. Коэффициент сглаживания равен произведению коэффициентов составных звеньев.

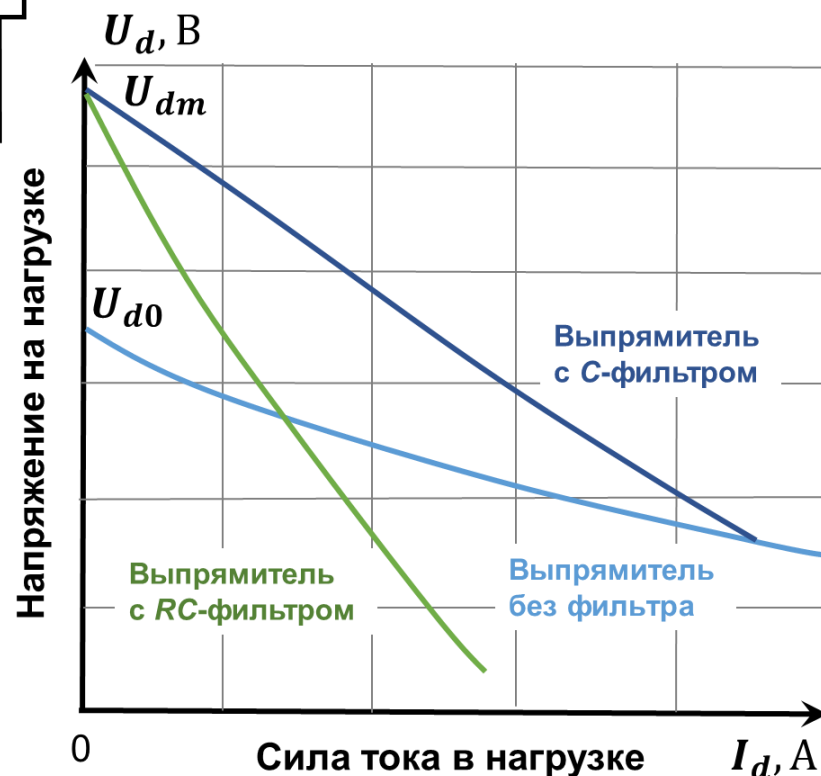


Многозвенные сглаживающие фильтры

П-образный сглаживающий фильтр состоит из последовательно включенных ёмкостного фильтра и Г-образного **LC**-фильтра или **RC**-фильтра. Коэффициент сглаживания равен произведению коэффициентов составных звеньев.



Внешней характеристикой выпрямителя называют зависимость напряжения на нагрузке от силы тока $U_d = f(I_d)$.

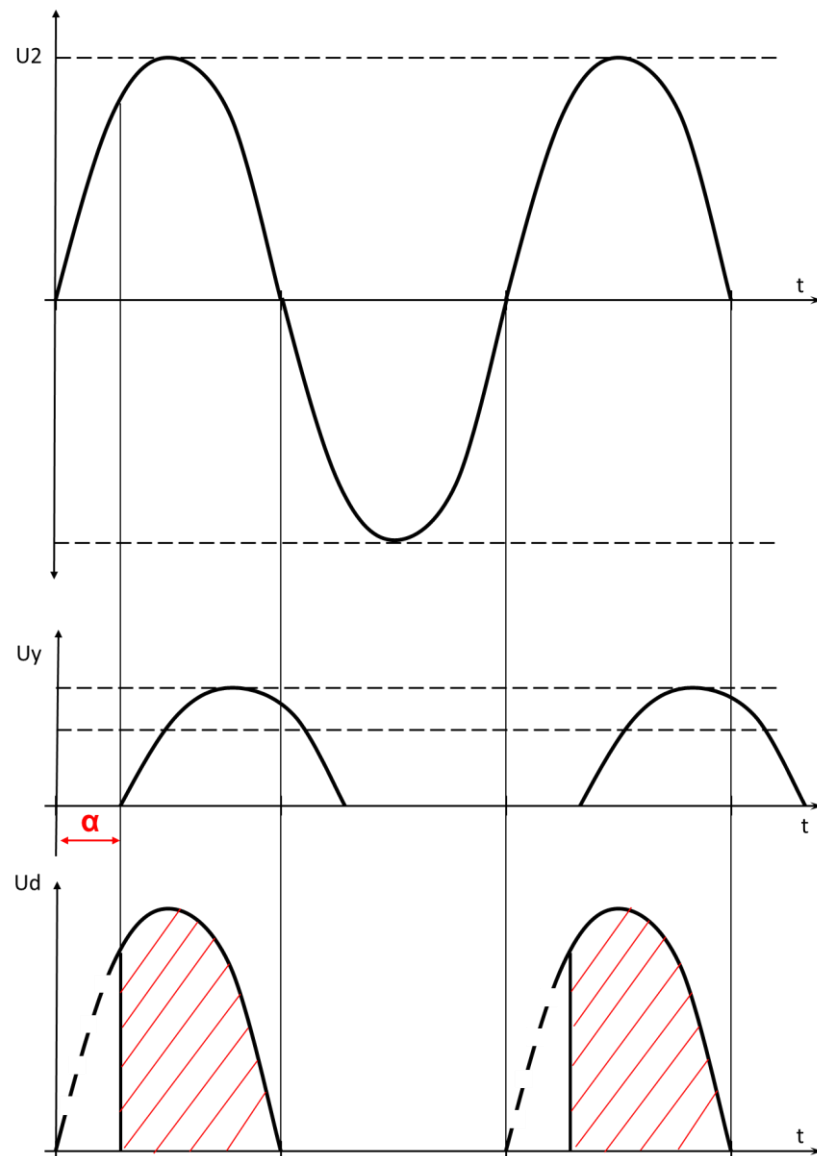
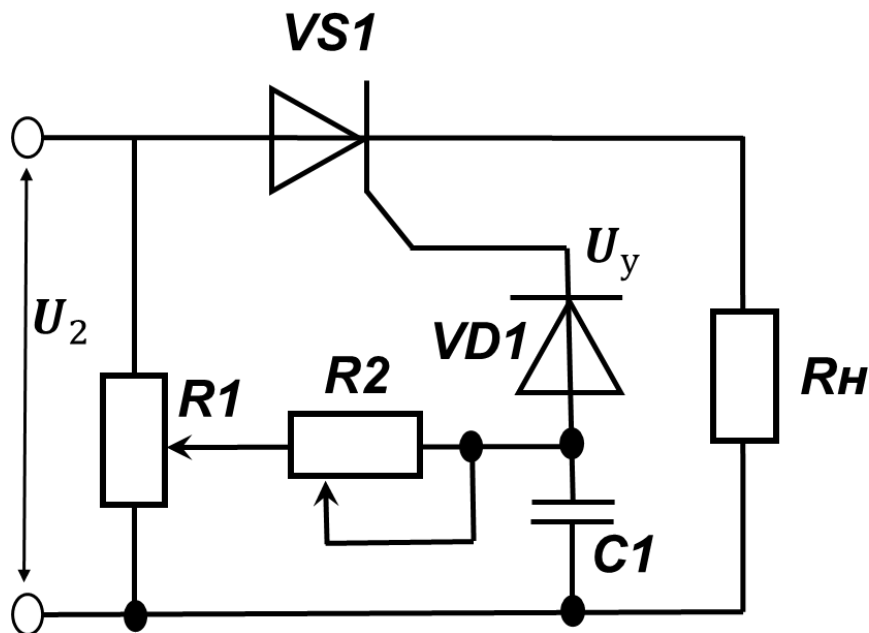


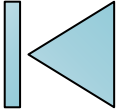
Управляемые выпрямители

Выпрямители, позволяющие регулировать величину выходного напряжения называют **управляемыми**. Основным элементом управляемых выпрямителей является тиристор.

Управление напряжением на выходе сводится к управлению моментом отпирания тиристора за счет сдвига фаз между анодным напряжением и напряжением на управляющем электроде.

Такой сдвиг фаз называют **углом управления α** , а способ управления – **фазовым**.





Преобразователи постоянного тока

Преобразователи постоянного тока в переменный называют ***инверторами***.

Преобразователи постоянного тока в постоянный другой величины называют ***конверторами***. Основными элементами инверторов и конверторов являются коммутирующие приборы (тиристоры и транзисторы), которые периодически прерывают ток или изменяют его направление.

Преобразователи постоянного тока

Преобразователи постоянного тока в переменный называют **инверторами**.

Преобразователи постоянного тока в постоянный другой величины называют **конверторами**. Основными элементами инверторов и конверторов являются коммутирующие приборы (тиристоры и транзисторы), которые периодически прерывают ток или изменяют его направление.

В конвертере осуществляется:

- сначала преобразование постоянного напряжения в переменное;
- изменение уровня переменного напряжения с помощью трансформатора;
- затем обратное преобразование переменного напряжения в постоянное.

Конвертор включает в себя:

- преобразователь постоянного напряжения в переменное напряжение обычно прямоугольной формы, называемый инвертором;
- повышающий или понижающий трансформатор, обеспечивающий требуемый номинал выходного постоянного напряжения;
- выпрямитель и фильтр, преобразующие переменный ток в постоянный.

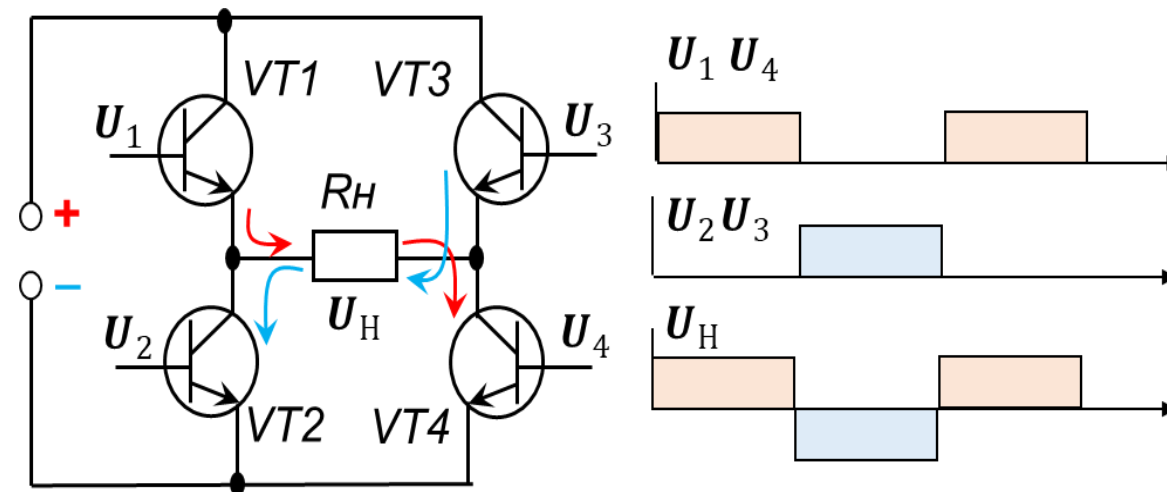


Преобразователи постоянного тока

Для получения переменного напряжения в **инверторах** используют ключи-коммутаторы, с помощью которых разные полюса нагрузки периодически подключаются к источнику постоянного напряжения.

Инверторы и выпрямители выполняют взаимно обратные функции. Поэтому схема инвертора может быть получена из схемы выпрямителя, подключив к его входу нагрузку, а к выходу источник постоянного напряжения и заменив диоды на транзисторы.

Если в мостовой схеме подавать в первой половине периода напряжение на транзисторы $VT1$ и $VT4$, а во второй половине периода – на транзисторы $VT2$ и $VT3$, то на нагрузке появятся разнополярные импульсы прямоугольной формы

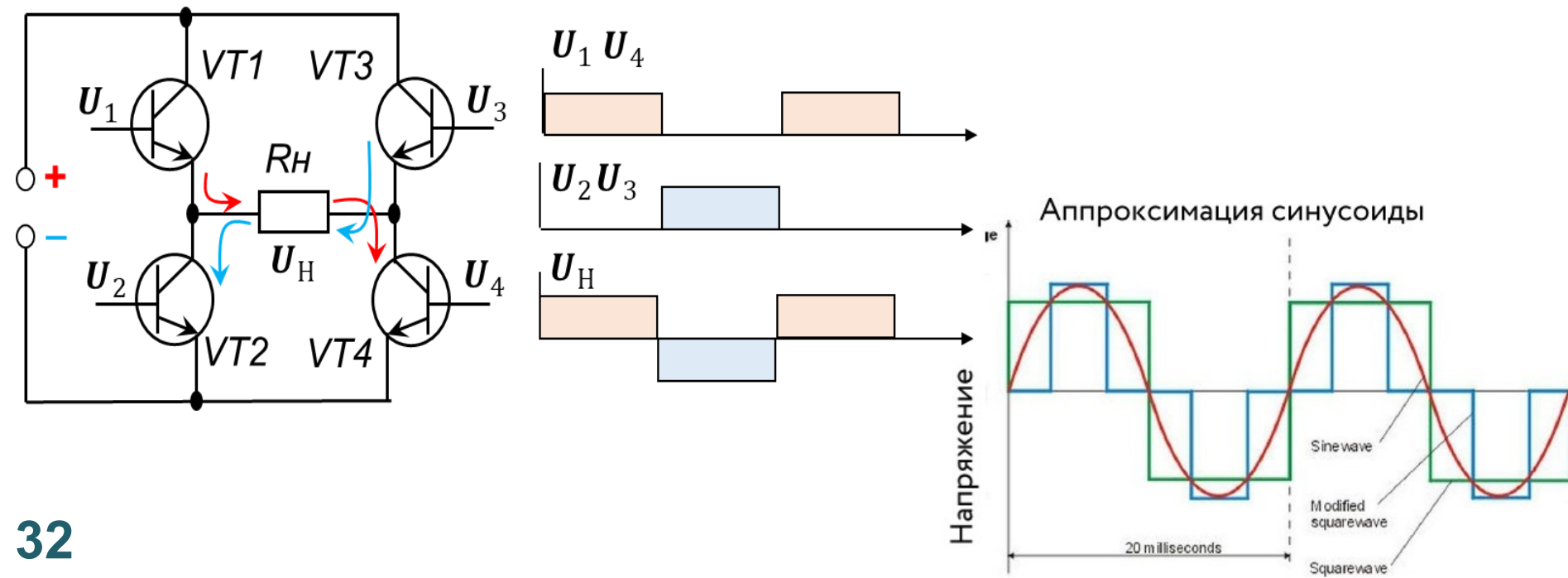


Преобразователи постоянного тока

Для получения переменного напряжения в **инверторах** используют ключи-коммутаторы, с помощью которых разные полюса нагрузки периодически подключаются к источнику постоянного напряжения.

Инверторы и выпрямители выполняют взаимно обратные функции. Поэтому схема инвертора может быть получена из схемы выпрямителя, подключив к его входу нагрузку, а к выходу источник постоянного напряжения и заменив диоды на транзисторы.

Если в мостовой схеме подавать в первой половине периода напряжение на транзисторы $VT1$ и $VT4$, а во второй половине периода — на транзисторы $VT2$ и $VT3$, то на нагрузке появятся разнополярные импульсы прямоугольной формы

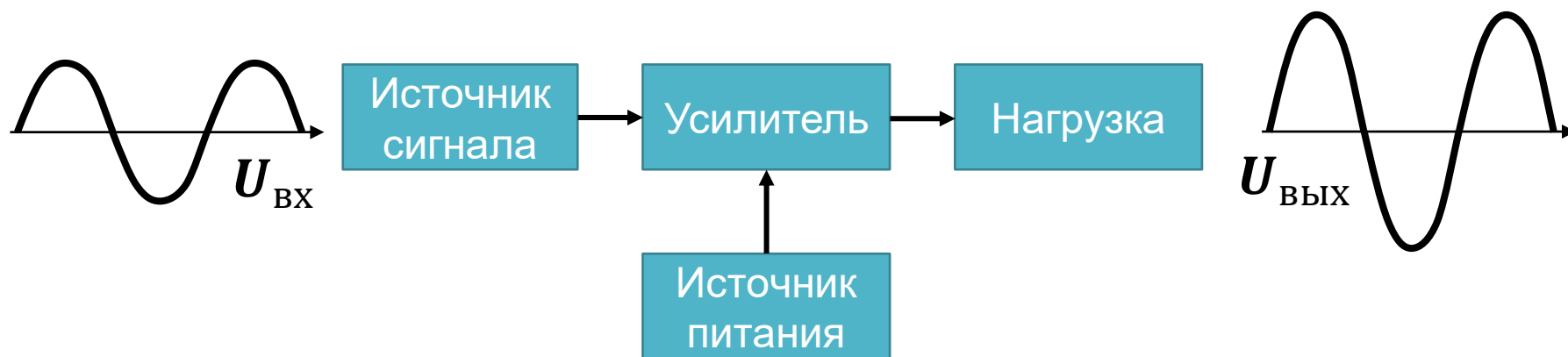


Электронным усилителем называют устройство, обеспечивающее увеличение мощности электрических сигналов, поступающих на его вход.

Увеличение мощности сигнала в усилителе происходит за счет преобразования энергии источника питания. Это преобразование происходит с помощью активных элементов, которые управляются входными сигналами.

Входной сигнал подается через электрическую цепь, которая называется входной или входом усилителя.

Электрическая цепь, в которой образуется усиленный сигнал, называется выходной цепью. Для выделения усиленного сигнала в выходную цепь включается нагрузка.



Электронные усилители

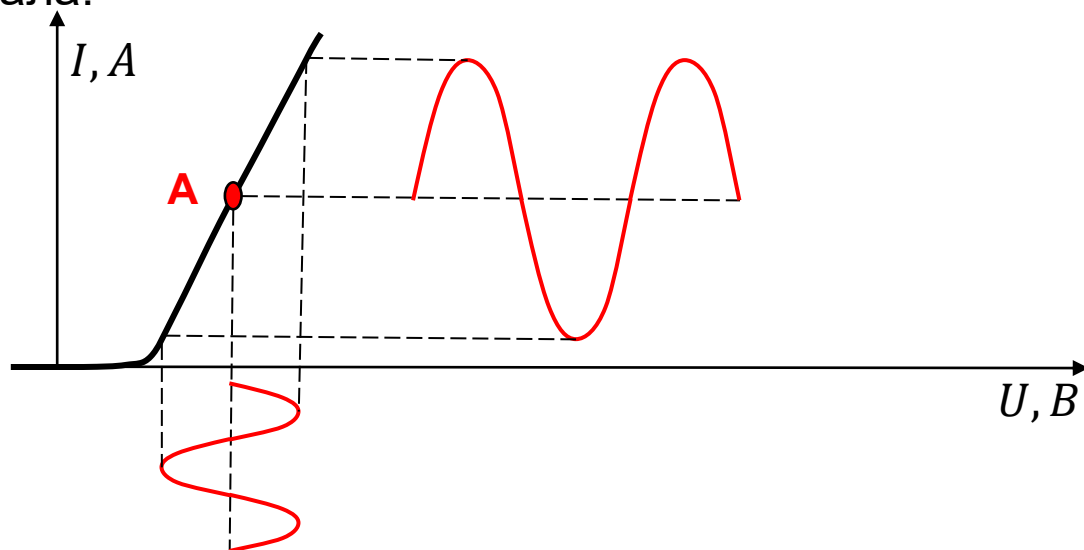
По расположению рабочей точки различают усилители классов **A**, **B**, **AB** и **C**.

В классе **A** рабочая точка размещена таким образом, чтобы и входное и выходное напряжение изменялись синусоидально.

В классе **B** рабочая точка занимает такое положение, что усиление синусоидального сигнала происходит только в течение положительного полупериода.

В классе **AB** рабочая точка занимает промежуточное положение, при этом выходной сигнал представляет синусоиду с частью отрицательной полуволны.

В классе **C** выходной сигнал представляет собой только часть положительной полуволны синусоидального сигнала.



Электронные усилители

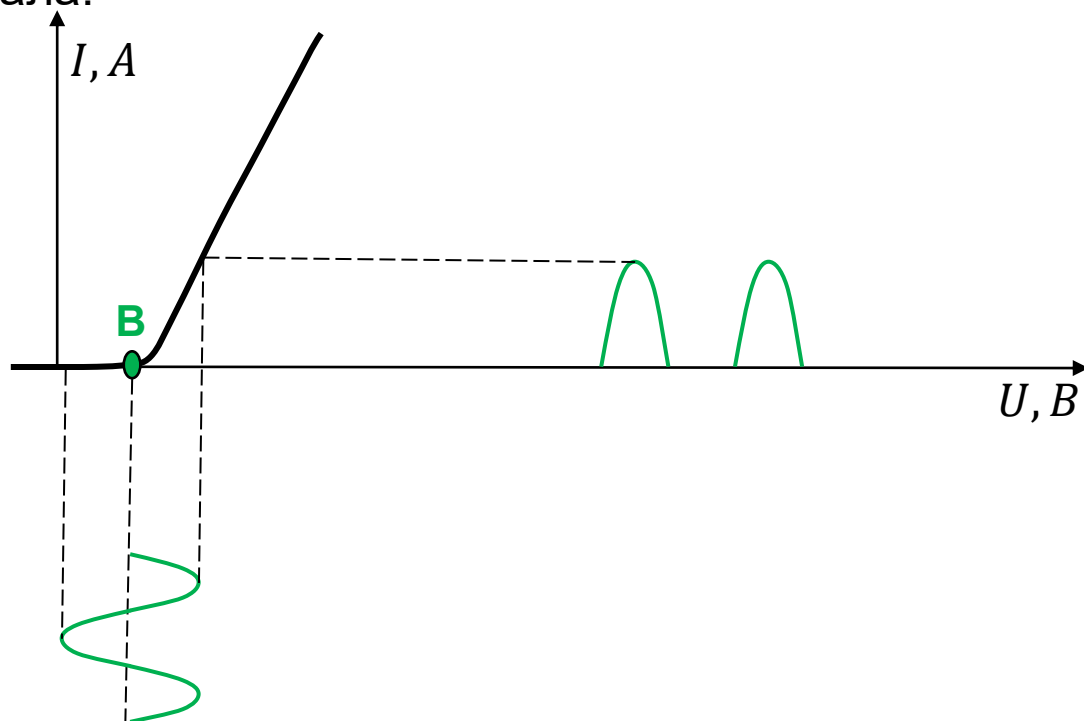
По расположению рабочей точки различают усилители классов **A**, **B**, **AB** и **C**.

В классе **A** рабочая точка размещена таким образом, чтобы и входное и выходное напряжение изменялись синусоидально.

В классе **B** рабочая точка занимает такое положение, что усиление синусоидального сигнала происходит только в течение положительного полупериода.

В классе **AB** рабочая точка занимает промежуточное положение, при этом выходной сигнал представляет синусоиду с частью отрицательной полуволны.

В классе **C** выходной сигнал представляет собой только часть положительной полуволны синусоидального сигнала.



Электронные усилители

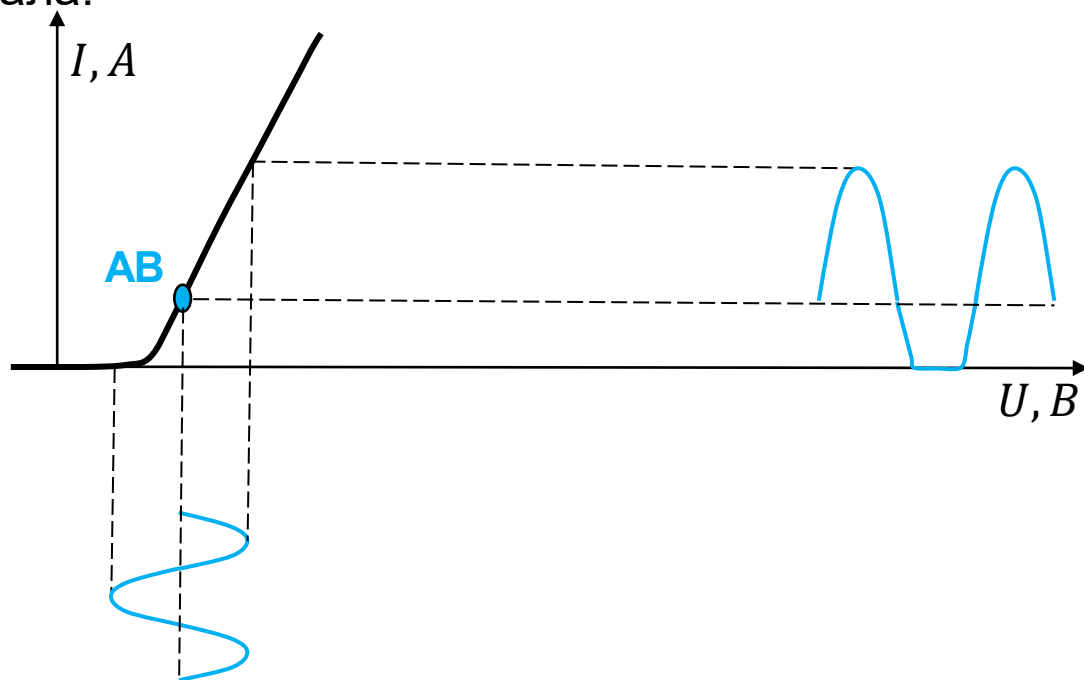
По расположению рабочей точки различают усилители классов **A**, **B**, **AB** и **C**.

В классе **A** рабочая точка размещена таким образом, чтобы и входное и выходное напряжение изменялись синусоидально.

В классе **B** рабочая точка занимает такое положение, что усиление синусоидального сигнала происходит только в течение положительного полупериода.

В классе **AB** рабочая точка занимает промежуточное положение, при этом выходной сигнал представляет синусоиду с частью отрицательной полуволны.

В классе **C** выходной сигнал представляет собой только часть положительной полуволны синусоидального сигнала.



Электронные усилители

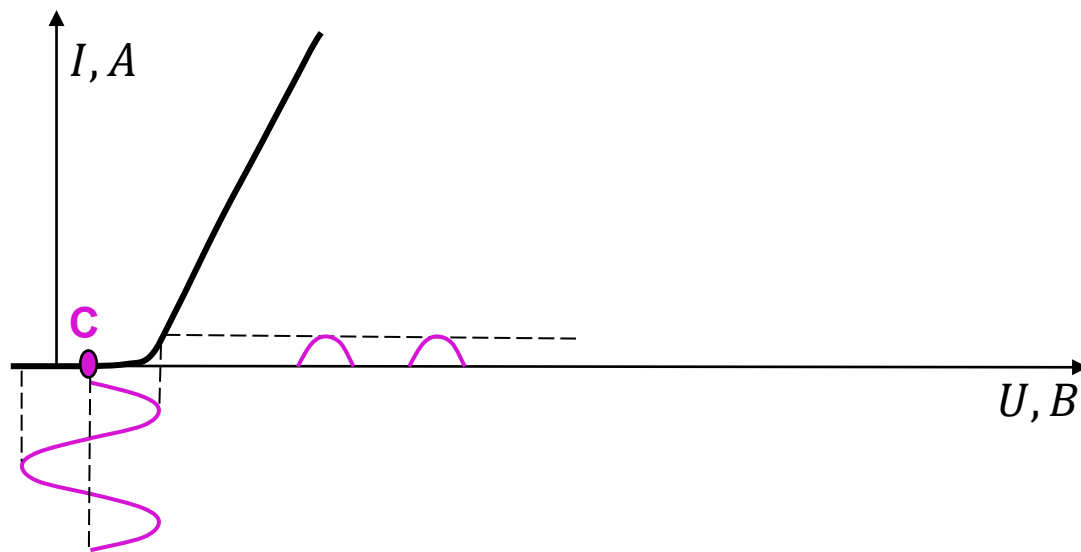
По расположению рабочей точки различают усилители классов **A**, **B**, **AB** и **C**.

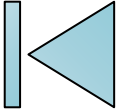
В классе **A** рабочая точка размещена таким образом, чтобы и входное и выходное напряжение изменялись синусоидально.

В классе **B** рабочая точка занимает такое положение, что усиление синусоидального сигнала происходит только в течение положительного полупериода.

В классе **AB** рабочая точка занимает промежуточное положение, при этом выходной сигнал представляет синусоиду с частью отрицательной полуволны.

В классе **C** выходной сигнал представляет собой только часть положительной полуволны синусоидального сигнала.





Операционные усилители

Операционный усилитель (ОУ) – это высококачественный усилитель постоянного тока, предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми величинами при работе в схеме с отрицательной обратной связью (ОС).

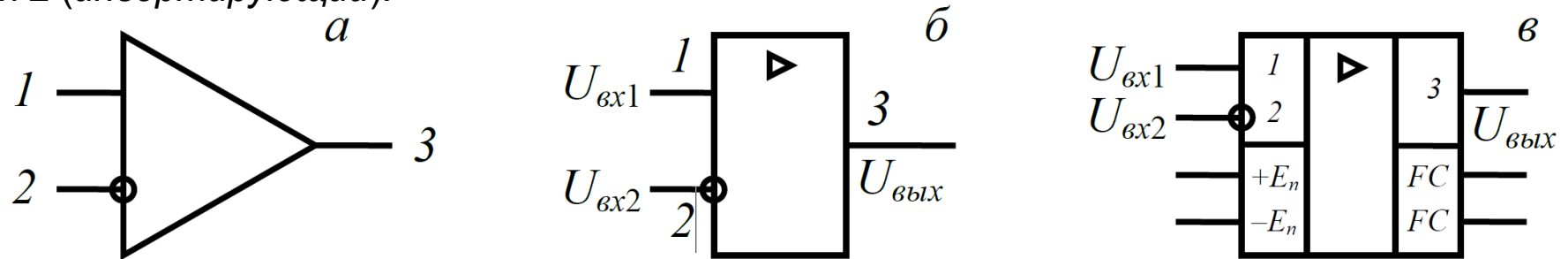
ОУ получили такое название, так как ранее использовались исключительно в аналоговых вычислительных устройствах для выполнения математических операций суммирования и интегрирования, хотя в настоящее время их функционал заметно расширился.

Операционный усилитель (ОУ) – это высококачественный усилитель постоянного тока, предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми величинами при работе в схеме с отрицательной обратной связью (ОС).

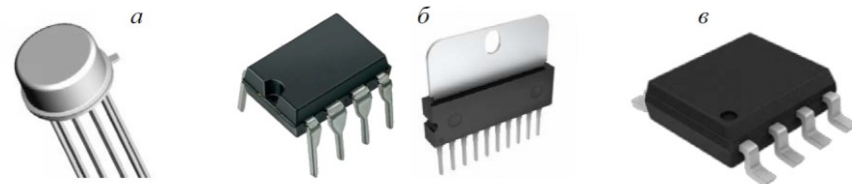
ОУ получили такое название, так как ранее использовались исключительно в аналоговых вычислительных устройствах для выполнения математических операций суммирования и интегрирования, хотя в настоящее время их функционал заметно расширился.

Изображают ОУ на принципиальных схемах по-разному. Широко распространено в отечественной и зарубежной технической литературе изображение ОУ в виде равнобедренного треугольника. Согласно ГОСТ ОУ выполняют в виде прямоугольника, который может содержать дополнительные поля, расположенные по обе стороны от основного.

Большинство ОУ имеют один несимметричный выход 3 и два входа 1 (*неинвертирующий*) и 2 (*инвертирующий*).



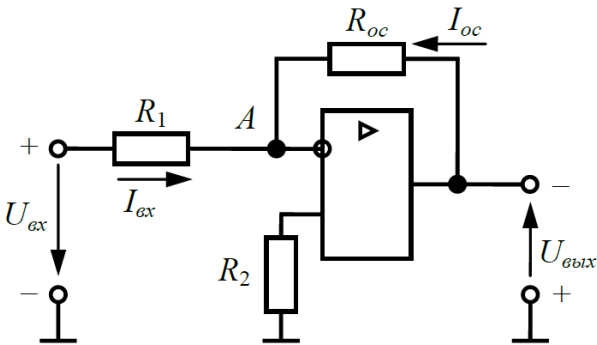
Условно-графические обозначения операционного усилителя:
а – упрощенное изображение; б – по ГОСТу; в – по ГОСТу с полям



Операционные усилители

Для создания на основе ОУ аналоговых устройств различного функционального назначения используется *отрицательная обратная связь*.

Отрицательной обратной связью принято называть участок внешней электрической цепи (обвязки) ОУ, соединяющей выход ОУ с одним из его входов.



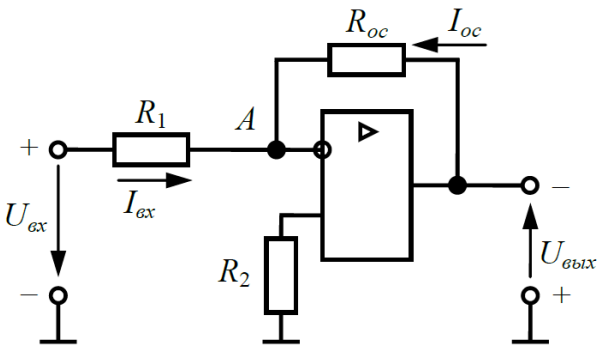
В зависимости от того, на какой вход ОУ подаётся полезный сигнал, различают *инвертирующее*, *неинвертирующее* и *дифференциальное* включения ОУ.

Инвертирующее включение является одной из основных схем включения ОУ. В этом случае сигнал $U_{вх}$ подаётся на инвертирующий вход ОУ, а неинвертирующий вход «зануляется».

Операционные усилители

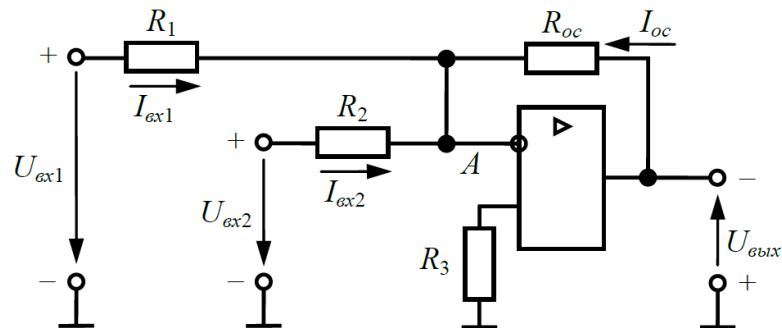
Для создания на основе ОУ аналоговых устройств различного функционального назначения используется *отрицательная обратная связь*.

Отрицательной обратной связью принято называть участок внешней электрической цепи (обвязки) ОУ, соединяющей выход ОУ с одним из его входов.



В зависимости от того, на какой вход ОУ подаётся полезный сигнал, различают *инвертирующее*, *неинвертирующее* и *дифференциальное* включения ОУ.

Инвертирующее включение является одной из основных схем включения ОУ. В этом случае сигнал $U_{вх}$ подаётся на инвертирующий вход ОУ, а неинвертирующий вход «зануляется».

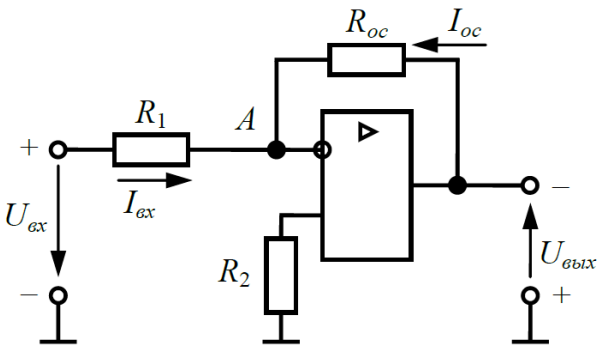


Сумматор. Входные напряжения через добавочные резисторы подаются на вход усилителя.

Операционные усилители

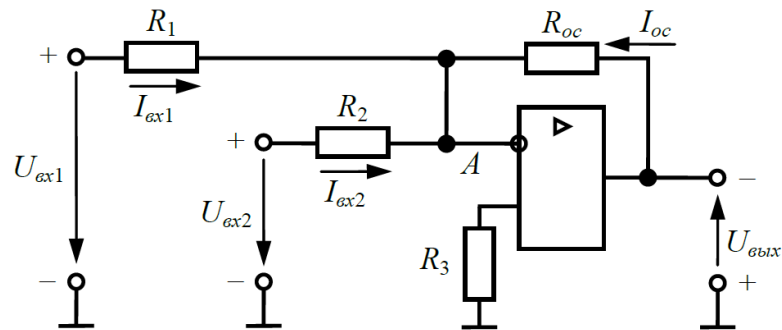
Для создания на основе ОУ аналоговых устройств различного функционального назначения используется *отрицательная обратная связь*.

Отрицательной обратной связью принято называть участок внешней электрической цепи (обвязки) ОУ, соединяющей выход ОУ с одним из его входов.



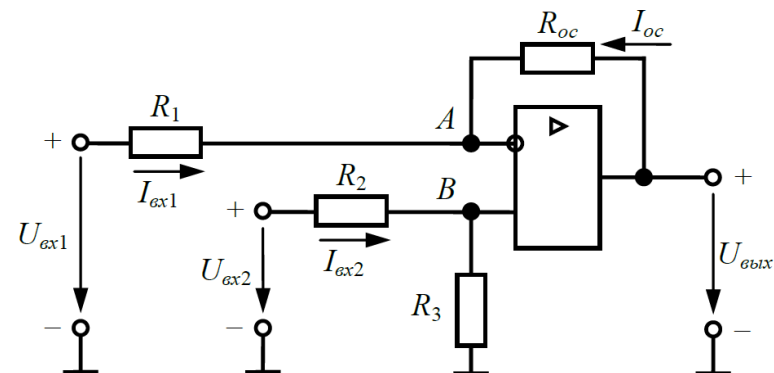
В зависимости от того, на какой вход ОУ подаётся полезный сигнал, различают *инвертирующее*, *неинвертирующее* и *дифференциальное* включения ОУ.

Инвертирующее включение является одной из основных схем включения ОУ. В этом случае сигнал $U_{вх}$ подаётся на инвертирующий вход ОУ, а неинвертирующий вход «зануляется».



Сумматор. Входные напряжения через добавочные резисторы подаются на вход усилителя.

Вычитатель. Дифференциальная схема ОУ предназначена для усиления разности двух входных напряжений $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$.

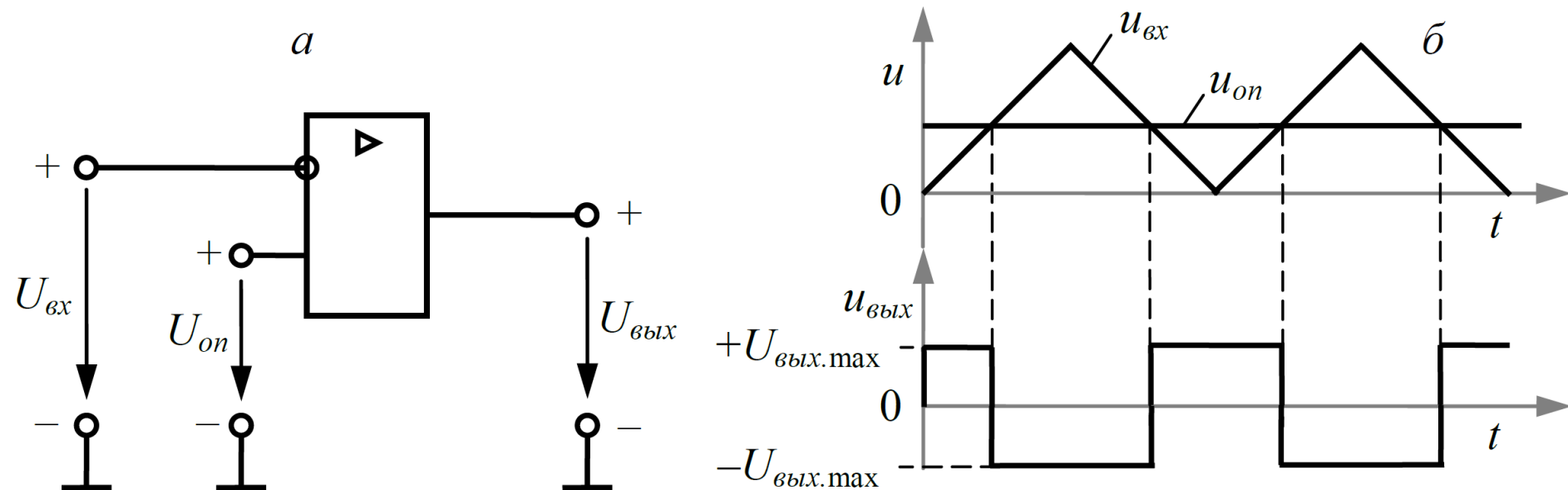


Компаратор

Компараторы напряжения – устройства, предназначенные для сравнения по уровню двух аналоговых сигналов, один из которых является входным (измеряемым) $U_{вх}$, а второй – опорным (задающим) $U_{оп}$.

В момент равенства мгновенных значений входных сигналов напряжение на выходе компаратора резко изменяется.

Кроме функций сравнения, компаратор осуществляет формирование выходных сигналов в виде двух дискретных уровней, один из которых соответствует логической «1», а другой – логическому «0».

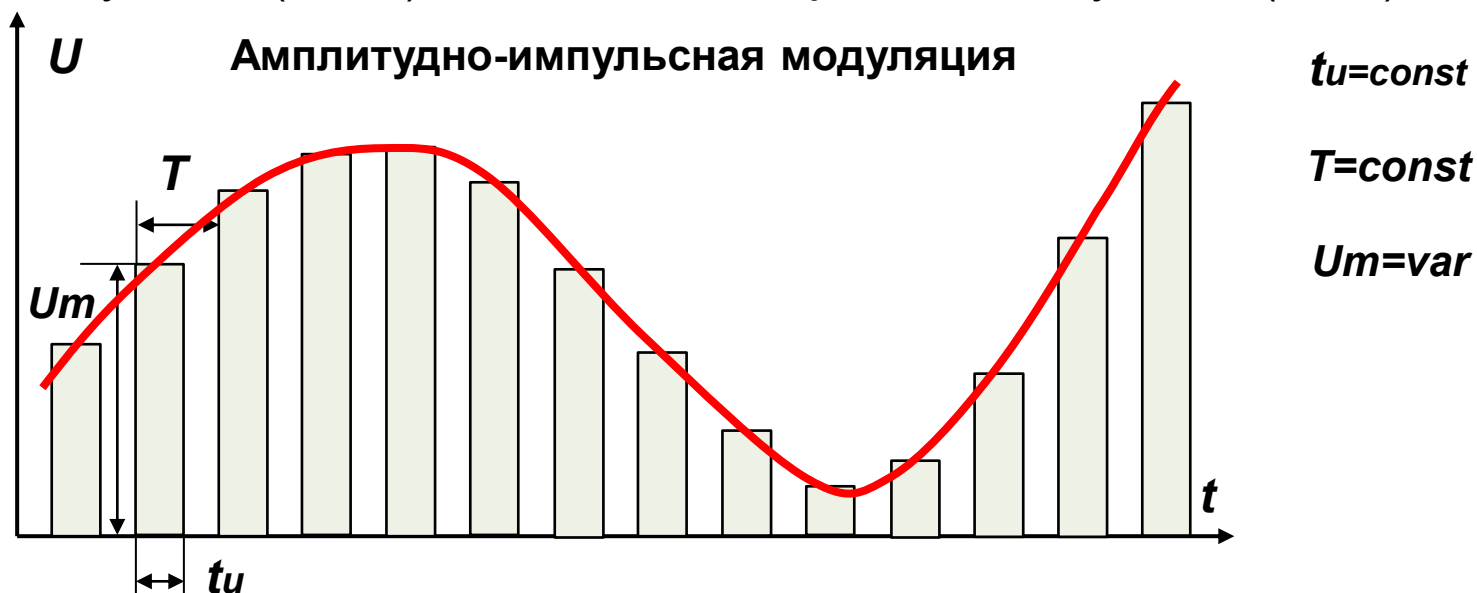


Импульсные устройства

Импульсным называют такой режим работы, при котором кратковременное воздействие сигнала чередуется с паузой. Импульсный режим работы имеет следующие преимущества:

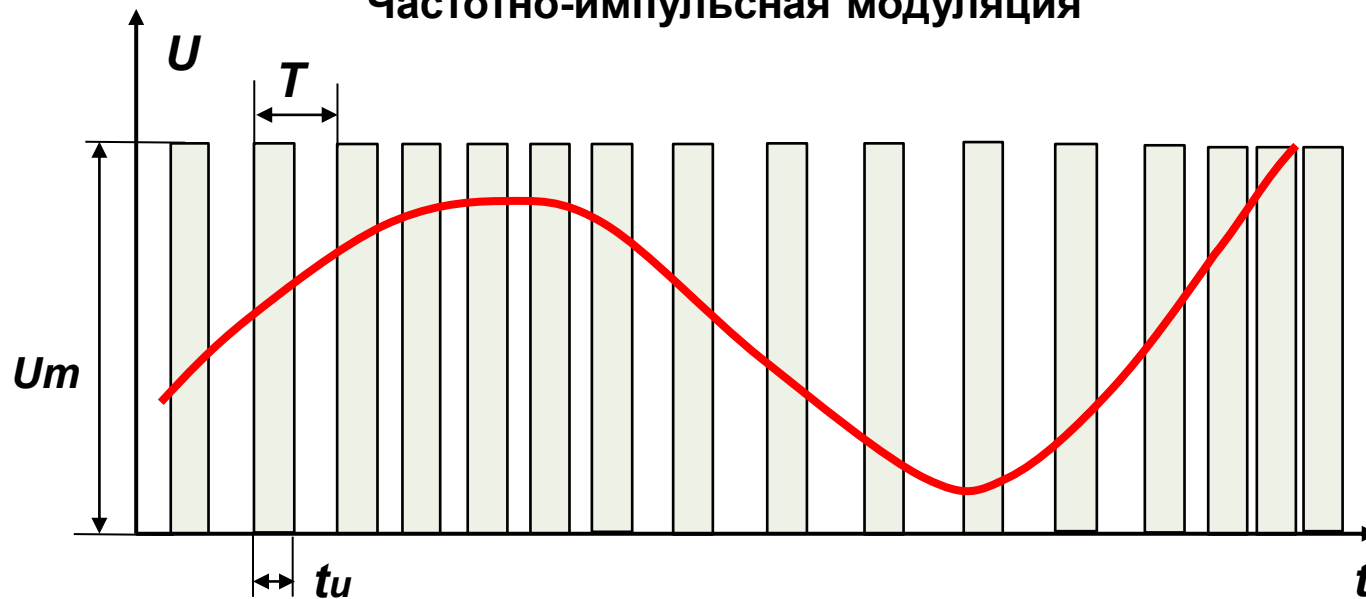
- передача информации в виде импульсов позволяет уменьшить мощность и габариты устройств;
- передача информации в импульсной форме позволяет значительно повысить надежность, помехоустойчивость и точность работы;
- передача информации в виде импульсов позволяет значительно разгрузить каналы связи.

Существует три способа передачи непрерывного (аналогового) сигнала в импульсной форме: *амплитудно-импульсная* модуляция (АИМ), *широтно-импульсная* модуляция (ШИМ) и *частотно-импульсная* модуляция (ЧИМ).



Импульсные устройства

Частотно-импульсная модуляция

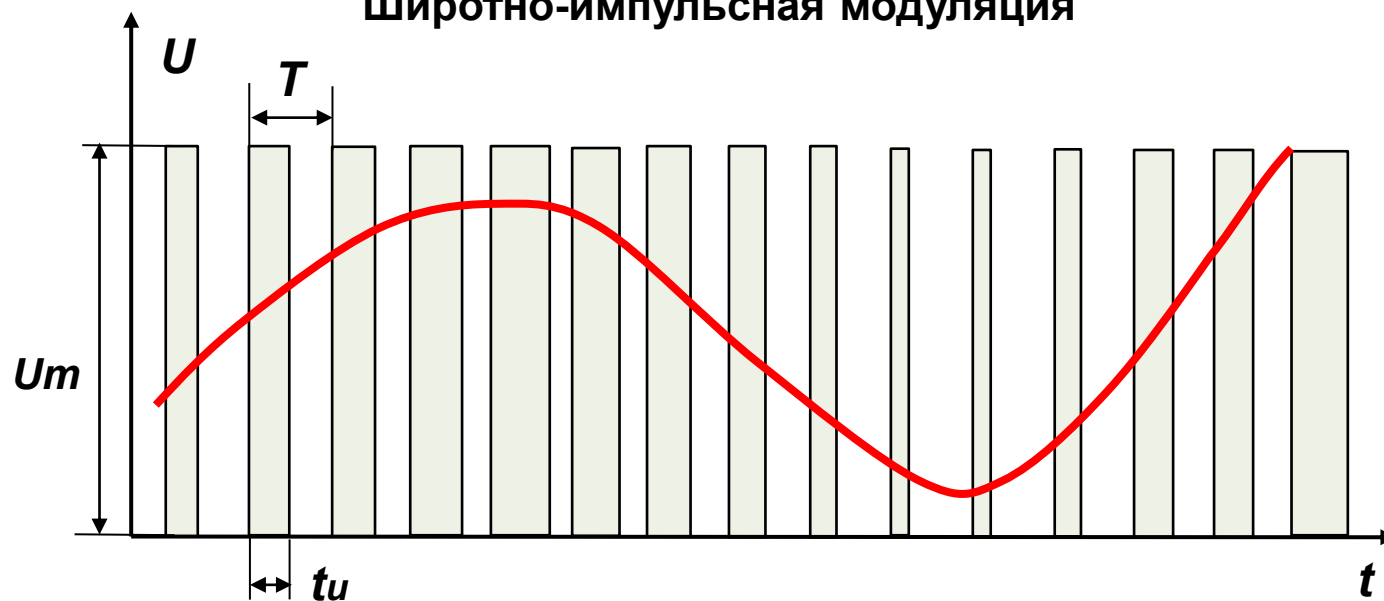


$$t_u = \text{const}$$

$$T = \text{var}$$

$$U_m = \text{const}$$

Широтно-импульсная модуляция



$$t_u = \text{var}$$

$$T = \text{const}$$

$$U_m = \text{const}$$

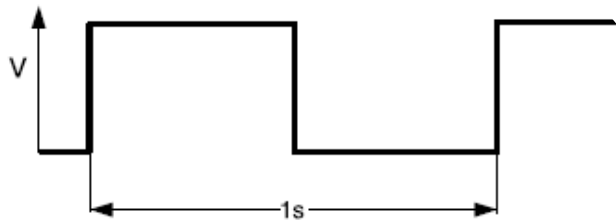
Импульсные устройства

Сигналы **PWM** (шиотно-импульсная модуляция) – это сигналы прямоугольной формы с постоянной частотой, но с переменной шириной (длительностью) импульса.

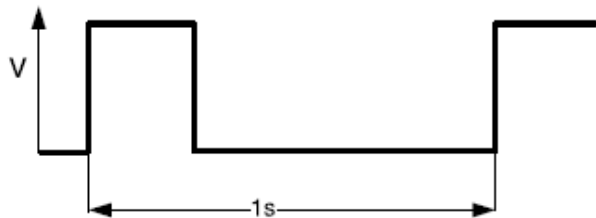
Под **скважность** понимается отношение длительности наличия импульса к периоду следования.

$$Q = \frac{t_{\text{и}}}{T}$$

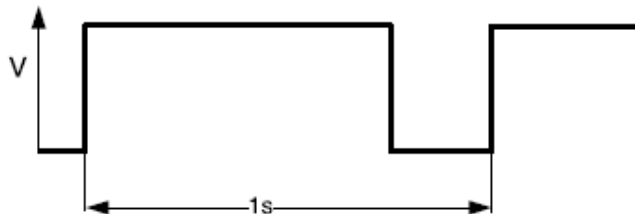
Скважность измеряется в процентах (%).



Скважность **50%** (500 мс вкл. и 500 мс выкл.)



Скважность **25%** (250 мс вкл. и 750 мс выкл.)



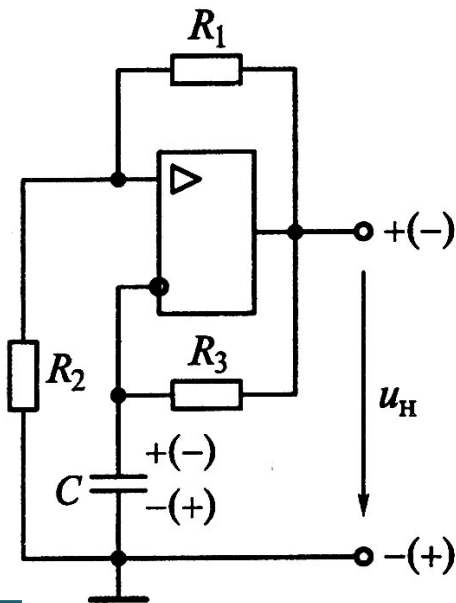
Скважность **75%** (750 мс вкл. и 250 мс выкл.)

Мультивибратор

Импульсные устройства с временно устойчивыми состояниями являются источниками импульсов, параметры которых и частота следования могут регулироваться в широких пределах.

Мультивибратор – устройство с двумя временно устойчивыми состояниями, представляющее собой генератор импульсов напряжения прямоугольной формы. Обычно он служит для запуска в работу других импульсных устройств при их совместной синхронной работе.

Наиболее распространены мультивибраторы на основе операционного усилителя. Различают симметричные и несимметричные мультивибраторы. У первых длительности прямоугольных импульсов и интервалы времени между ними равны, у вторых различны.

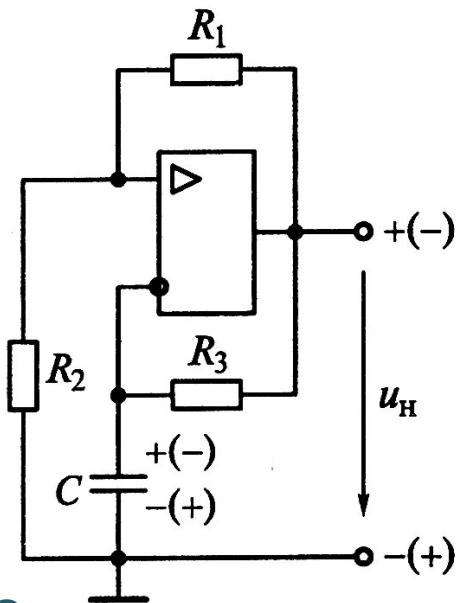


Мультивибратор

Импульсные устройства с временно устойчивыми состояниями являются источниками импульсов, параметры которых и частота следования могут регулироваться в широких пределах.

Мультивибратор – устройство с двумя временно устойчивыми состояниями, представляющее собой генератор импульсов напряжения прямоугольной формы. Обычно он служит для запуска в работу других импульсных устройств при их совместной синхронной работе.

Наиболее распространены мультивибраторы на основе операционного усилителя. Различают симметричные и несимметричные мультивибраторы. У первых длительности прямоугольных импульсов и интервалы времени между ними равны, у вторых различны.



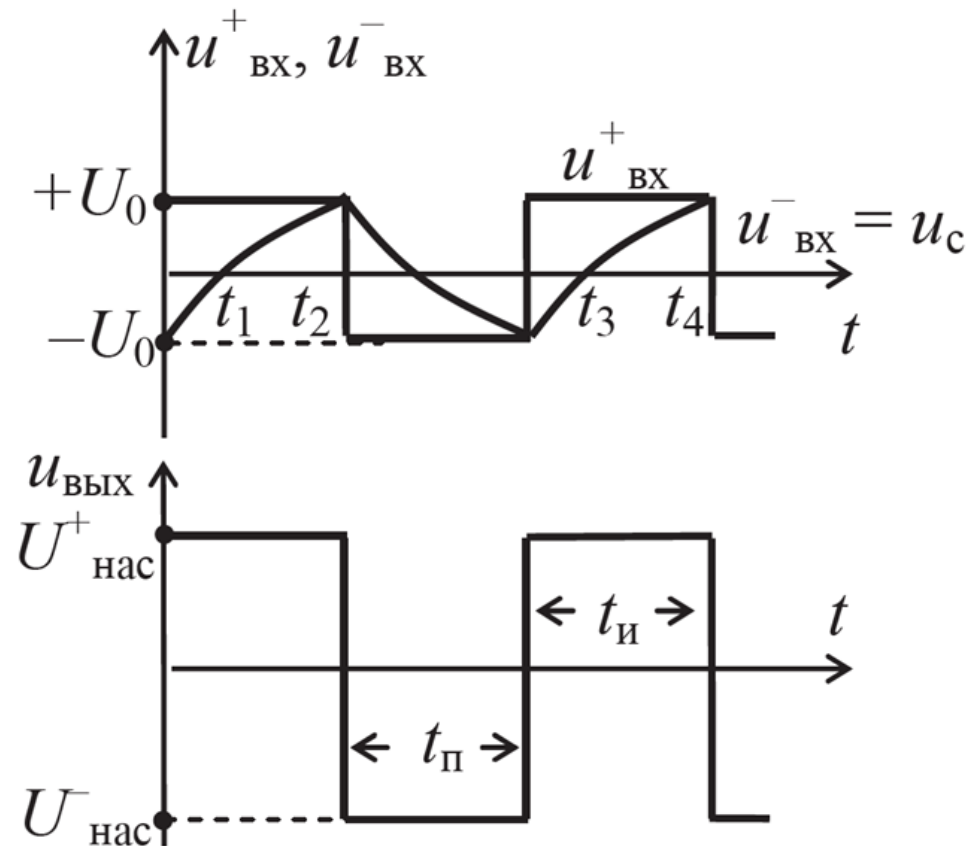
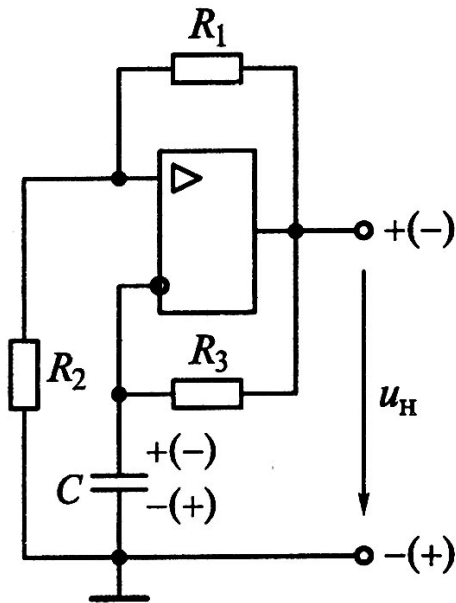
Мультивибратор работает по следующему принципу. Пусть на выходе ОУ сформировался сигнал положительной полярности, соответствующий представленному на схеме направлению напряжения u_n . Этот сигнал вызовет заряд конденсатора C и положительный потенциал на инвертирующем входе ОУ начнет повышаться.

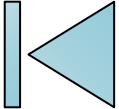
В момент совпадения уровней напряжений на входах ОУ он переключится и полярность выходного напряжения изменится на противоположную (обозначена в круглых скобках).

Мультивибратор

Цепь ПОС, реализуемая резисторами R_1 и R_2 , мгновенно уменьшит потенциал на инвертирующем входе ОУ. Одновременно начнется перезарядка конденсатора C через выходную цепь с плавным снижением потенциала на инвертирующем входе.

В момент совпадения уровней напряжений на входах ОУ он вновь переключится, и процесс повторится, обеспечивая формирование на выходе двухполярных прямоугольных импульсов $u_{\text{ВЫХ}}$.

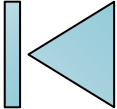




Логическими сообщениями называются такие сообщения, истинность или ложность которых может быть оценена однозначно, например «Генератор включен». Каждое логическое сообщение может быть заменено математическим эквивалентом, **логической функцией**.

Логическая функция $F=1$, если логическое сообщение истинное и $F=0$, если сообщение ложное. Следовательно логические функции принимают только два значения «ноль» и «единица».

Для математического описания связей между логическими функциями вводят **логические операции**.



Логические устройства

Логическими сообщениями называются такие сообщения, истинность или ложность которых может быть оценена однозначно, например «Генератор включен». Каждое логическое сообщение может быть заменено математическим эквивалентом, **логической функцией**.

Логическая функция $F=1$, если логическое сообщение истинное и $F=0$, если сообщение ложное. Следовательно логические функции принимают только два значения «ноль» и «единица».

Для математического описания связей между логическими функциями вводят **логические операции**.

Операция **НЕ** (логическое отрицание или инверсия)

$$F = \bar{X}$$

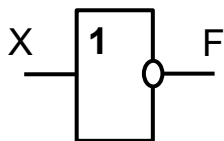


Таблица истинности

X	F
0	1
1	0

Логическими сообщениями называются такие сообщения, истинность или ложность которых может быть оценена однозначно, например «Генератор включен». Каждое логическое сообщение может быть заменено математическим эквивалентом, **логической функцией**.

Логическая функция $F=1$, если логическое сообщение истинное и $F=0$, если сообщение ложное. Следовательно логические функции принимают только два значения «ноль» и «единица».

Для математического описания связей между логическими функциями вводят **логические операции**.

Операция **НЕ** (логическое отрицание или инверсия)

$$F = \bar{X}$$

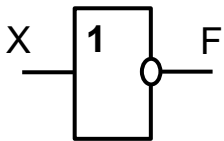


Таблица истинности

X	F
0	1
1	0

Операция **ИЛИ** (логическое сложение или дизъюнкция)

$$F = X_1 + X_2$$

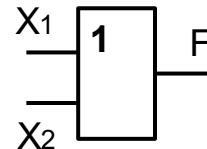


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F
1	1	1
0	1	1
1	0	1
0	0	0

Операция **И** (логическое умножение
или конъюнкция)

$$F = X_1 \cdot X_2$$

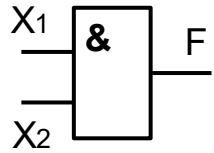


Таблица истинности

X_1	X_2	F
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Операция **И** (логическое умножение
или конъюнкция)

$$F = X_1 \cdot X_2$$

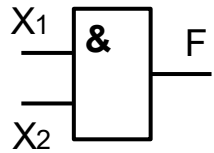


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Логический элемент **ИЛИ-НЕ**
(стрелка Пирса)

$$F = \overline{X_1 + X_2}$$

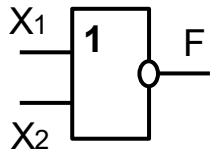


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

Логические устройства

Операция **И** (логическое умножение или конъюнкция)

$$F = X_1 \cdot X_2$$

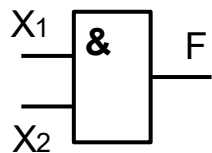


Таблица истинности

X_1	X_2	F
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

Логический элемент **ЗАПРЕТ**

$$F = X_1 \cdot \overline{X_2}$$

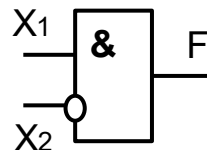


Таблица истинности

X_1	X_2	F
1	1	0
1	0	1
0	1	0
0	0	0

Логический элемент **ИЛИ-НЕ**
(стрелка Пирса)

$$F = \overline{X_1 + X_2}$$

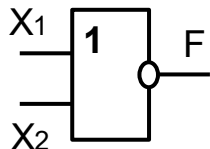


Таблица истинности

X_1	X_2	F
1	1	0
1	0	0
0	1	0
0	0	1

В простейшем случае элемент имеет два входа X_1 - разрешающий и X_2 - запрещающий. Выходной сигнал повторяет сигнал на разрешающем, если сигнал на запрещающем входе равен «нулю».

При $X_2=1$ на выходе возникает «ноль» независимо от того, какой сигнал на разрешающем входе.

Импликация

$$F = X_1 + \overline{X_2}$$

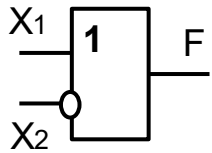
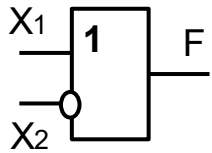


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F
1	1	1
1	0	1
0	1	0
0	0	1

Логические устройства

Импликация

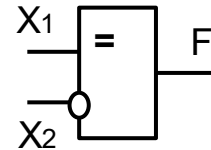


$$F = X_1 + \overline{X_2}$$

Таблица истинности

X_1	X_2	F
1	1	1
1	0	1
0	1	0
0	0	1

Равнозначность



$$F = X_1 \cdot X_2 + \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}$$

Таблица истинности

X_1	X_2	F
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	1

Логические устройства

Импликация

$$F = X_1 + \overline{X_2}$$

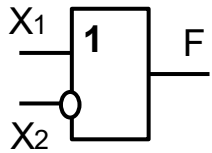


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F
1	1	1
1	0	1
0	1	0
0	0	1

Равнозначность

$$F = X_1 \cdot X_2 + \overline{X_1} \cdot \overline{X_2}$$

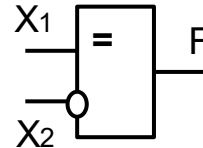


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	1

Логический элемент И-НЕ (штрих Шеффера)

$$F = \overline{X_1 \cdot X_2}$$

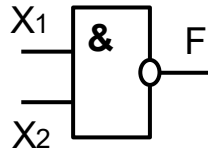
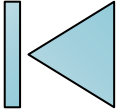


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F
1	1	0
1	0	1
0	1	1
0	0	1



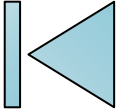
Триггеры

Триггерами называются импульсные устройства с двумя устойчивыми состояниями. При отсутствии внешних воздействий триггер может сколько угодно долго находиться в одном из устойчивых состояний. Входной сигнал может перевести триггер из одного устойчивого состояния в другое.

По способу управления триггеры делятся на *асинхронные* и *синхронные*.

В **асинхронных триггерах** переключение из одного устойчивого состояния в другое происходит немедленно после поступления входного сигнала

Синхронные триггеры имеют дополнительный тактовый вход, на который подаются положительные импульсы. Такой триггер воспринимает информацию на входах только при наличии тактового импульса.



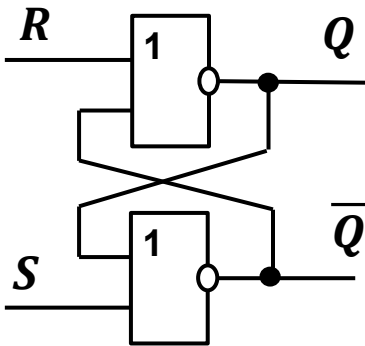
Триггеры

Триггерами называются импульсные устройства с двумя устойчивыми состояниями. При отсутствии внешних воздействий триггер может сколько угодно долго находиться в одном из устойчивых состояний. Входной сигнал может перевести триггер из одного устойчивого состояния в другое.

По способу управления триггеры делятся на *асинхронные* и *синхронные*.

В **асинхронных триггерах** переключение из одного устойчивого состояния в другое происходит немедленно после поступления входного сигнала

Синхронные триггеры имеют дополнительный тактовый вход, на который подаются положительные импульсы. Такой триггер воспринимает информацию на входах только при наличии тактового импульса.



Асинхронный **RS**-триггера, выполненный на логических элементах **ИЛИ-НЕ** имеет два управляющих входа: **R** и **S**.

Вход, по которому триггер устанавливается в единичное состояние, называют входом **S** (от англ. set – установка), а в нулевое – входом **R** (reset – сброс).

Если $S = 1; R = 0$, то триггер переходит в единичное состояние; при $S = 0; R = 1$ – в нулевое состояние. При установке на входах логических нулей ($S = 0; R = 0$) триггер сохраняет предыдущее состояние. Такую комбинацию входных сигналов называют нейтральной, или «**память**».

Если на входы одновременно поступают единичные сигналы ($S = 1; R = 1$), то триггер утрачивает свои свойства, поскольку может равновероятно перейти как в единичное, так и в нулевое состояние. Такая комбинация входных сигналов является запрещённой для триггера – «**запрет**».

Таблица истинности

S	R	Q	$\bar{Q}$
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	память	
1	1	запрет	

Триггеры

Синхронный **JK**-триггер имеет два управляющих входа **J** (jump – прыжок), **K** (kill – отключение), входы **R** и **S** принудительной установки триггера в состояние 0 или 1, вход синхронизации **C**.

JK-триггер называют универсальным потому, что на его основе с помощью несложных коммутационных преобразований можно получить **RS**- и **T**-триггеры, а если между входами **J** и **K** включить инвертор, то получится схема **D**-триггера.

Если сигнал **C** = 1, то **JK**-триггер функционирует как **RS**-триггер с прямыми входами, при этом вход **J** предназначен для установки триггера в состояние 1, а вход **K** – в состояние 0.

Комбинация сигналов **J** = 1 и **K** = 1 не является запрещённой для **JK**-триггера – в этом случае независимо от исходного состояния триггера происходит его переключение на противоположное (т.е. выполняется операция инверсии).

Если **J** = 0; **K** = 0, то исходное состояние триггера под действием импульса синхронизации не изменится.

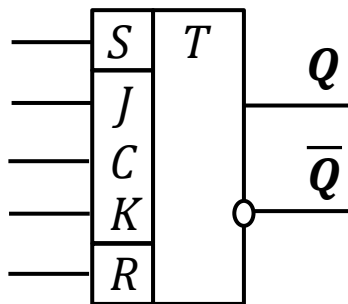
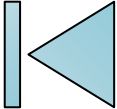


Таблица истинности

S	R	Q	$\bar{Q}$
1	0	1	0
0	1	0	1
0	0	память	
1	1	прыжок	



Логические автоматы

Логическими автоматами без памяти, или *комбинационными устройствами* называются устройства, логические значения выходов которых однозначно определяются совокупностью логических значений на входах в данный момент времени.

К логическим автоматам без памяти относятся *дешифраторы, шифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры, сумматоры* и другие.

Дешифратором называется устройство, вырабатывающее сигнал «единица» только на одном из своих 2^n выходов в зависимости от кода двоичного числа на n входах.

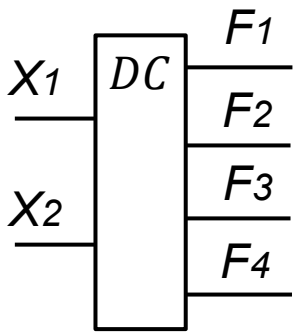
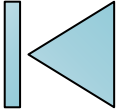


Таблица истинности

X_1	X_2	F_1	F_2	F_3	F_4
1	1	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1

Шифраторы выполняют функцию, обратную дешифраторам.



Логические автоматы

Логическими автоматами без памяти, или *комбинационными устройствами* называются устройства, логические значения выходов которых однозначно определяются совокупностью логических значений на входах в данный момент времени.

К логическим автоматам без памяти относятся *дешифраторы, шифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры, сумматоры* и другие.

Дешифратором называется устройство, вырабатывающее сигнал «единица» только на одном из своих 2^n выходов в зависимости от кода двоичного числа на n входах.

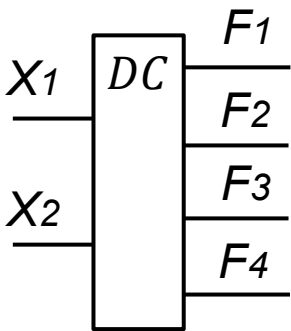


Таблица истинности

X ₁	X ₂	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
1	1	1	0	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1

Шифраторы выполняют функцию, обратную дешифраторам.

Мультиплексором называется устройство для коммутации одного из 2^n информационных входов на один выход. Мультиплексор имеет кроме информационных входов также m адресных входов.

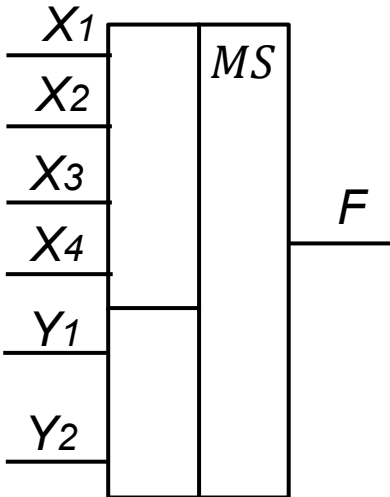


Таблица истинности

Y ₁	Y ₂	F
0	0	X ₁
1	0	X ₂
0	1	X ₃
1	1	X ₄

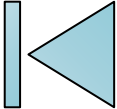
Логические автоматы

Логическими автоматами с памятью, или *последовательными логическими устройствами* называются устройства, логические значения на выходах которых определяются как совокупностью логических значений на входах в данный момент времени, так и состоянием автомата по результатам его предшествующей работы.

К логическим автоматам с памятью относятся *счетчики и регистры*.

Цифровое устройство, предназначенное для хранения слова информации и выполнения над ним микрооперации счета, называется **счетчиком**.

Регистры – это цифровые электронные устройства, предназначенные для приема (записи), хранения, вывода и выполнения логических преобразований над *n*-разрядным двоичным словом информации (от англ. *register*).



Заключение

Электронное устройство — электронный прибор/устройство, созданный из электронных компонентов (принцип действия которых основан на взаимодействии заряженных частиц с электромагнитными полями), используемый для преобразования электромагнитной энергии (например для передачи, обработки и хранения информации).

Источники вторичного электропитания состоят из ряда функциональных узлов, выполняющих следующие функции: преобразование, выпрямление, сглаживание пульсаций, стабилизацию, регулирование и т.д.

Выпрямители – электротехнические устройства, предназначенные для преобразования переменного напряжения в однополярное пульсирующее напряжение.

Пульсирующее напряжение на выходе выпрямителя с провалами до нуля не может быть использовано для питания большинства электронных устройств. Поэтому на выходе выпрямителя обязательно включается сглаживающий фильтр на основе реактивных L или C элементов.

Выпрямители, позволяющие регулировать величину выходного напряжения называют управляемыми. Основным элементом управляемых выпрямителей является тиристор. Управление напряжением на выходе сводится к управлению моментом отпирания тиристора за счет сдвига фаз между анодным напряжением и напряжением на управляющем электроде.

Заключение

Преобразователи постоянного тока в переменный называют инверторами.

Преобразователи постоянного тока в постоянный другой величины называют конверторами. Основными элементами инверторов и конверторов являются коммутирующие приборы (тиристоры и транзисторы), которые периодически прерывают ток или изменяют его направление.

Электронным усилителем называют устройство, обеспечивающее увеличение мощности электрических сигналов, поступающих на его вход.

Увеличение мощности сигнала в усилителе происходит за счет преобразования энергии источника питания. Это преобразование происходит с помощью активных элементов, которые управляются входными сигналами.

Операционный усилитель (ОУ) – это высококачественный усилитель постоянного тока, предназначенный для выполнения различных операций над аналоговыми величинами при работе в схеме с отрицательной обратной связью (ОС).

Компараторы напряжения – устройства, предназначенные для сравнения по уровню двух аналоговых сигналов, один из которых является входным (измеряемым) $U_{вх}$, а второй – опорным (задающим) $U_{оп}$.

Импульсным называют такой режим работы, при котором кратковременное воздействие сигнала чередуется с паузой. Существует три способа передачи непрерывного (аналогового) сигнала в импульсной форме: амплитудно-импульсная модуляция (АИМ), широтно-импульсная модуляция (ШИМ) и

Заключение

Импульсные устройства с временно устойчивыми состояниями являются источниками импульсов, параметры которых и частота следования могут регулироваться в широких пределах.

Мультивибратор – устройство с двумя временно устойчивыми состояниями, представляющее собой генератор импульсов напряжения прямоугольной формы. Обычно он служит для запуска в работу других импульсных устройств при их совместной синхронной работе.

Логическими сообщениями называются такие сообщения, истинность или ложность которых может быть оценена однозначно. Каждое логическое сообщение может быть заменено математическим эквивалентом, логической функцией. Логическая функция $F=1$, если логическое сообщение истинное и $F=0$, если сообщение ложное. Следовательно логические функции принимают только два значения «ноль» и «единица».

Для математического описания связей между логическими функциями вводят логические операции.

Триггерами называются импульсные устройства с двумя устойчивыми состояниями. При отсутствии внешних воздействий триггер может сколько угодно долго находиться в одном из устойчивых состояний. Входной сигнал может перевести триггер из одного устойчивого состояния в другое.

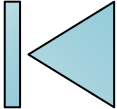
Заключение

Логическими автоматами без памяти, или комбинационными устройствами называются устройства, логические значения выходов которых однозначно определяются совокупностью логических значений на входах в данный момент времени.

К логическим автоматам без памяти относятся дешифраторы, шифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры, сумматоры и другие.

Логическими автоматами с памятью, или последовательными логическими устройствами называются устройства, логические значения на выходах которых определяются как совокупностью логических значений на входах в данный момент времени, так и состоянием автомата по результатам его предшествующей работы.

К логическим автоматам с памятью относятся счетчики и регистры.



Вопросы для самоконтроля

1. Что называют источником вторичного электропитания?
2. Что называют полупроводниковым выпрямителем?
3. По каким признакам классифицируют выпрямители?
4. Какие основные узлы включает в себя выпрямитель?
5. Какие коэффициенты оценивают качество выпрямления?
6. Поясните устройство и принцип работы однофазного однополупериодного выпрямителя.
7. Поясните устройство и принцип работы двухполупериодной схемы выпрямителя с выводом от средней точки и мостовой схемы выпрямителя.
8. Поясните устройство и принцип работы трёхфазной нулевой и мостовой схемы выпрямителя.
9. Для чего нужен сглаживающий фильтр? какие они бывают?
10. Поясните устройство и принцип работы ёмкостного и индуктивного сглаживающих фильтров.
11. Чем управляемые выпрямители отличаются от неуправляемых?
12. Что называют углом отпирания тиристора?
13. Что представляет собой инвертор?
14. Что представляет собой конвертор?
15. Какие устройства называют усилителями? Перечислите режимы работы усилителей.
16. Что называют операционным усилителем?

Вопросы для самоконтроля

17. Какие основные выводы имеет операционный усилитель?
18. Что называют обратной связью операционного усилителя?
19. Какие схемы включения операционного усилителя существуют? для каких целей они используются?
20. Изобразите схемы инвертирующего и неинвертирующего включения операционного усилителя.
21. Изобразите схему инвертирующего сумматора.
22. Изобразите дифференциальную схему операционного усилителя.
23. Что называют компаратором?
24. Приведите схему и принцип работы простого компаратора на операционном усилителе.
25. Как происходит формирование импульсов напряжения?
26. В чём состоит отличие импульсных устройств с несколькими устойчивыми и устройств с несколькими временно устойчивыми состояниями?
27. Назовите области применения логических элементов.
28. Что называют логическим нулём? логической единицей? Что такое таблица истинности логического элемента?
29. Перечислите логические элементы. Составьте для логических элементов таблицы истинности.
30. Какие устройства называют триггерами?
31. Как происходит формирование сигнала на выходе асинхронного (синхронного) триггера?

1. **Касаткин, А.С.** Электротехника: учеб. для студентов неэлектротехн. специальностей вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 11-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
7. **Основы промышленной электроники.** /Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высшая школа, 1986. – 364 с.
8. **Лачин В.И.** Электроника: учебное пособие для вузов / В.И. Лачин, Н.С. Савелов. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 432 с.
9. **Горбачев Г.Н.** Промышленная электроника / Г.Н. Горбачев, Е.Е. Чаплыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 412 с.
10. **Прянишников В.А.** Электроника: курс лекций – СПб.: КОРОНА принт, 2000. – 456 с.