

Выпрямитель

Выпрямитель – это устройство, преобразующее переменный ток в постоянный (пульсирующий).

Классификация выпрямителей

- 1) По количеству фаз
 - однофазные;
 - трехфазные;
- 2) По возможности управления:
 - неуправляемые;
 - управляемые;
- 3) По виду схемы выпрямления:
 - мостовые;
 - с нулевой точкой;

Основные параметры выпрямителей

1) среднее значение выходного напряжения $U_{\text{вых}}$

$$U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{\text{вых}} dt ,$$

где T – период напряжения сети ($T=20\text{мс}$)

2) среднее значение выходного тока $I_{\text{вых}}$

$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{\text{вых}} dt ;$$

3) коэффициент пульсаций выходного напряжения

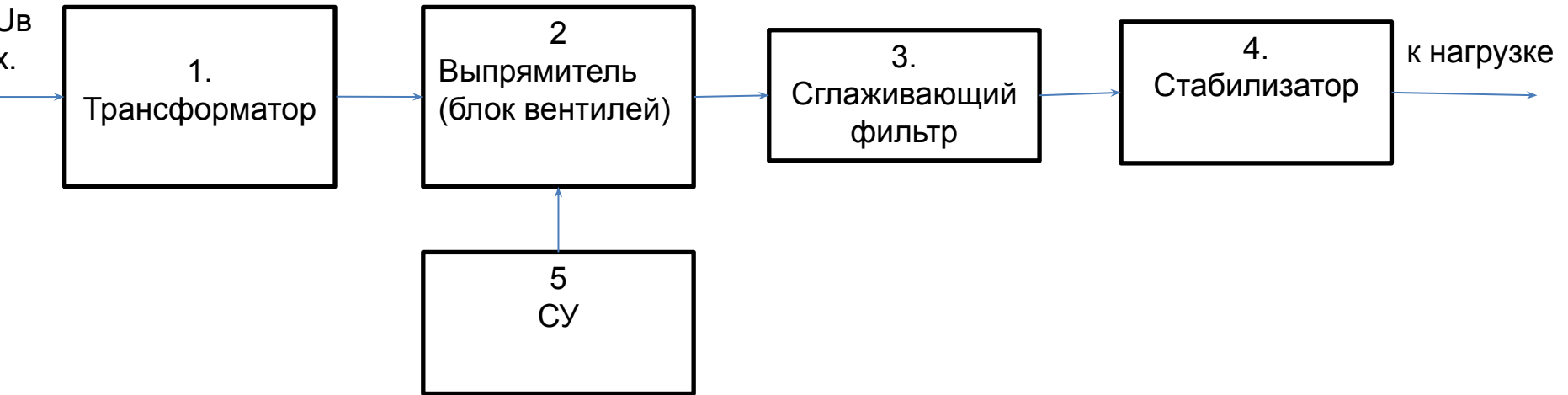
$$\varepsilon = \frac{U_m}{U_{cp}} ,$$

где U_m -амплитуда основной гармоники выходного напряжения

Основные параметры выпрямителей

- 4) действующие значения токов и напряжений первичной и вторичной обмоток трансформатора;
- 5) максимальное обратное напряжение $U_{\text{обр.мах}}$ на отдельном диоде (или тиристоре);
- 6) среднее и максимальное значения тока отдельного диода (тиристора).

Структурная схема выпрямителя



1 — силовой трансформатор предназначен для согласования входного (сетевое) и выходного (выпрямленного) напряжений выпрямителя.

2 — блок полупроводниковых элементов (вентилей) выполняет саму функцию выпрямления переменного тока;

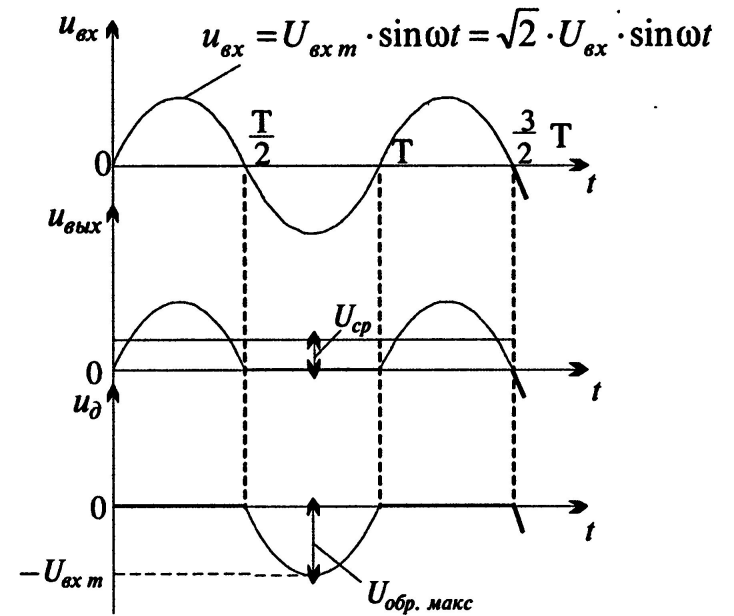
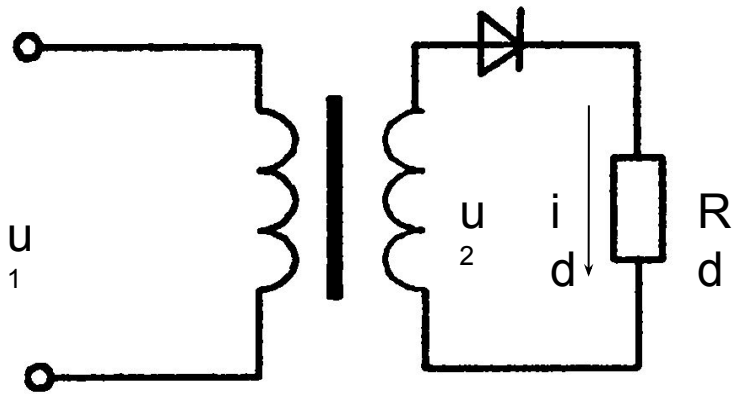
3 — сглаживающий фильтр уменьшает пульсацию выпрямленного тока в цепи нагрузки;

4 — стабилизатор;

5 — блок управления тиристорами (в управляемом выпрямителе).

Однофазная однополупериодная схема выпрямления

Временные диаграммы



Однофазная двухполупериодная схема выпрямления с общей точкой

Однополупериодная схема выпрямления с активной нагрузкой — простейшая схема выпрямления — состоит из силового трансформатора T , диода D и нагрузки R_n . Первичная обмотка трансформатора присоединяется к сети переменного тока с напряжением u_1 ; ко вторичной обмотке с напряжением u_2 последовательно подключены диод и нагрузка. При синусоидальном напряжении u_1 питающей сети напряжение на концах вторичной обмотки также синусоидально. При положительной полуволне напряжение на вторичной обмотке трансформатора («+» на аноде вентиля, «-» на нагрузке) через нагрузку будет протекать ток. При обратной полярности напряжения вторичной обмотки трансформатора («-» на аноде вентиля) вентиль будет обладать очень большим сопротивлением и ток в нагрузке будет близок к нулю. Таким образом, через нагрузку протекает пульсирующий ток. Такой же пульсирующий характер в виде полуволн синусоид вторичной обмотки трансформатора имеет напряжение на нагрузке.

Среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке (его постоянная составляющая U_d) определяется соотношением:

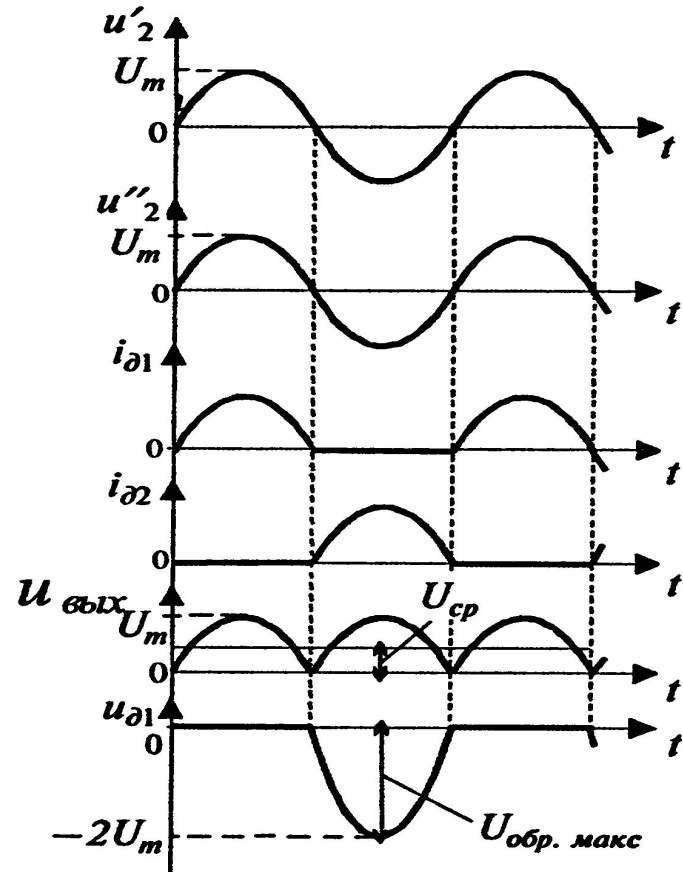
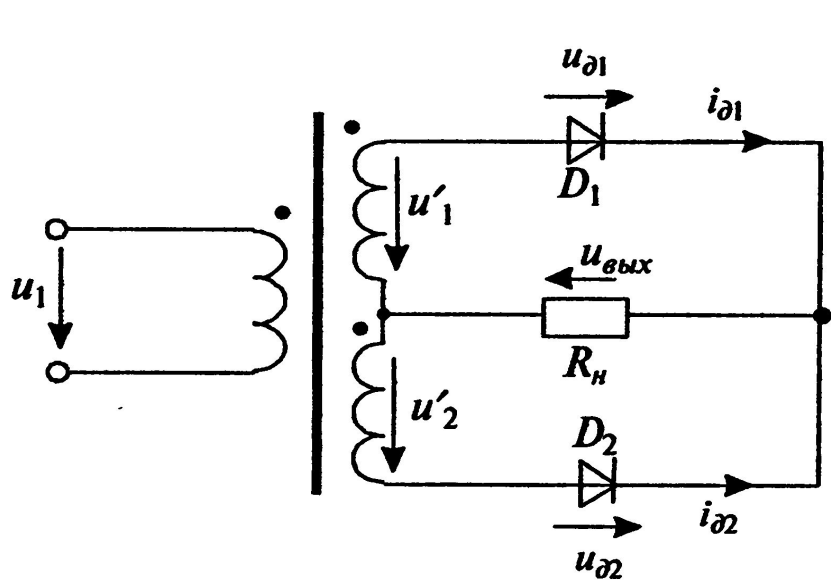
$$U_d = 0,45 \cdot U_2$$

Максимальное значение обратного напряжения между анодом и катодом вентиля равно максимальному значению напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{обр.макс} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

Для данной схемы выпрямления коэффициент пульсации $K_p = 1,57$. Большой коэффициент пульсации, большие размеры трансформатора вследствие плохого использования его обмоток, большое обратное напряжение на диоде резко ограничивают применение однополупериодной схемы выпрямления, несмотря на её простоту.

Однофазная двухполупериодная схема выпрямления с общей точкой



Однофазная двухполупериодная схема выпрямления с общей точкой

Схема состоит из трансформатора и двух диодов, по которым попеременно протекает ток. Коэффициент трансформации при такой схеме определяется соотношением $K_t = U_1/U_2$ (где U_2 — напряжение одной из вторичных обмоток). Нагрузка R_d включается между **нулевым выводом вторичной обмотки** трансформатора и катодами диодов. При подаче напряжения на первичную обмотку трансформатора на вторичных появляется синусоидальное напряжение. В первый полупериод, когда напряжение u_1' в обмотке положительно, ток проходит через диод D1, а во второй полупериод через диод D2. Таким образом, ток в нагрузке оба полупериода течёт в одном направлении от катодов диодов к средней точке трансформатора.

Среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке (его постоянная составляющая U_d) определяется соотношением:

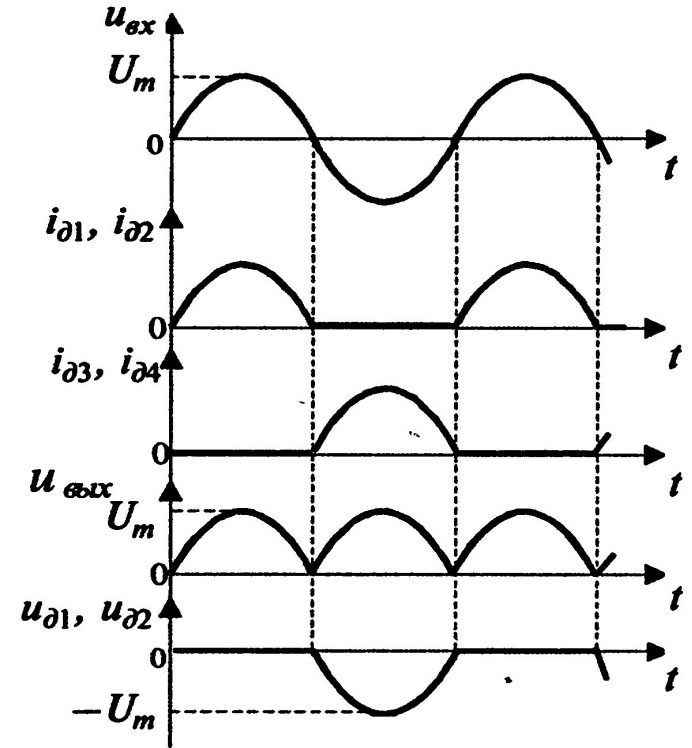
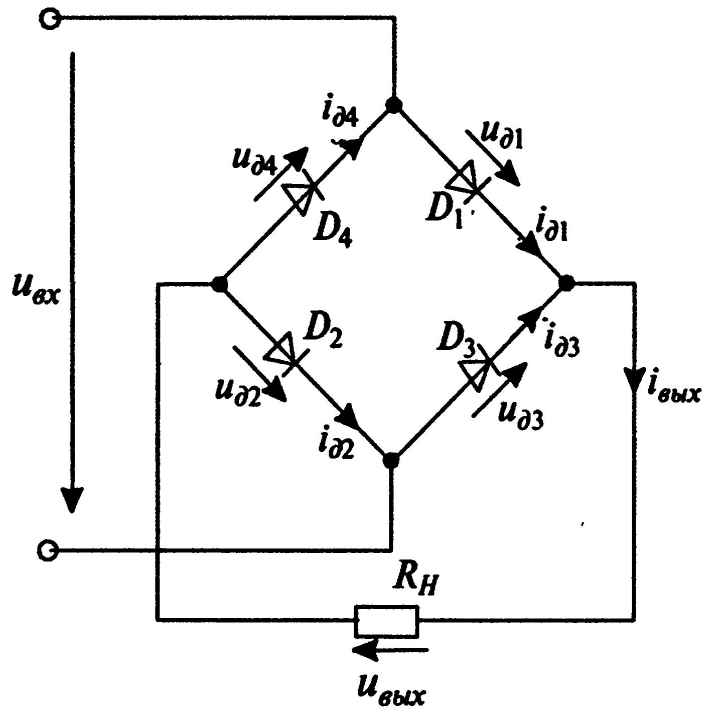
$$U_d = 0,9 \cdot U_2$$

Максимальное значение обратного напряжения между анодом и катодом вентиля равно максимальному значению напряжения вторичной обмотки трансформатора:

$$U_{обр.макс} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

В двухполупериодной схеме выпрямления по сравнению с однополупериодной лучше используются возможности трансформатора, меньше коэффициент пульсации, а значение среднего тока на диоде в 2 раза меньше, чем на нагрузке, поэтому можно использовать менее мощные диоды.

Однофазная двухполупериодная мостовая схема выпрямления



Однофазная двухполупериодная мостовая схема выпрямления

Эта схема состоит из трансформатора и четырёх диодов, собранных по схеме моста. К одной диагонали моста подсоединена вторичная обмотка трансформатора, а к другой— нагрузка R_n . На рисунке показаны кривые изменения напряжения и тока во вторичной обмотке трансформатора. Диоды в схеме работают парами поочередно. В первый полупериод напряжения U_2 ток проводят диоды VD_1 и VD_2 , а диоды VD_3 и VD_4 закрыты, так как к ним приложено обратное напряжение. Во второй полупериод изменяется направление тока и вступают в работу диоды VD_3 и VD_4 , а диоды VD_1 и VD_2 закрыты. Следовательно, ток в нагрузке протекает всё время в одном направлении. Кривые тока в нагрузке и напряжения по форме аналогичны кривым двухполупериодного выпрямления с нулевой точкой

Среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке (его постоянная составляющая U_d) определяется соотношением:

$$U_d = 0,9 \cdot U_2$$

Максимальное значение обратного напряжения между анодом и катодом вентиля равно максимальному значению напряжения вторичной обмотки трансформатора:

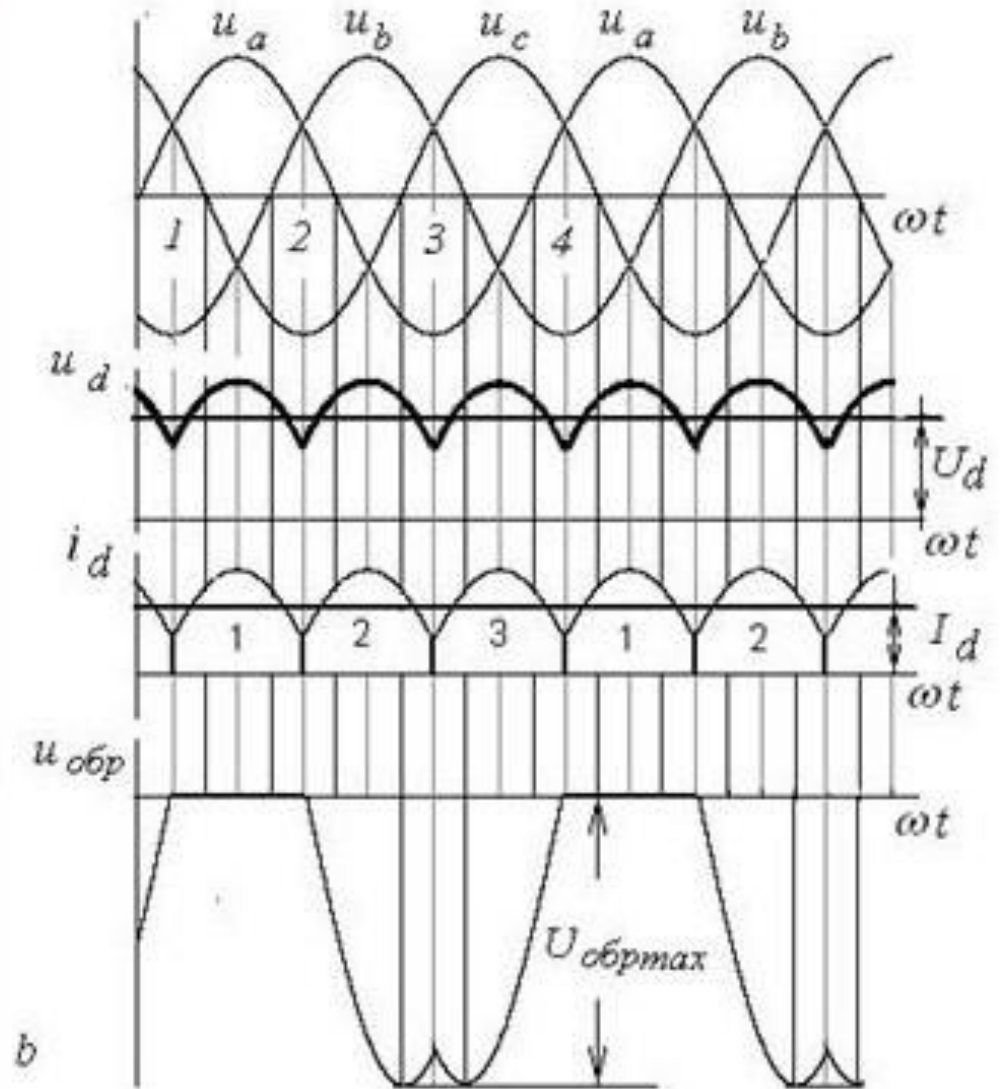
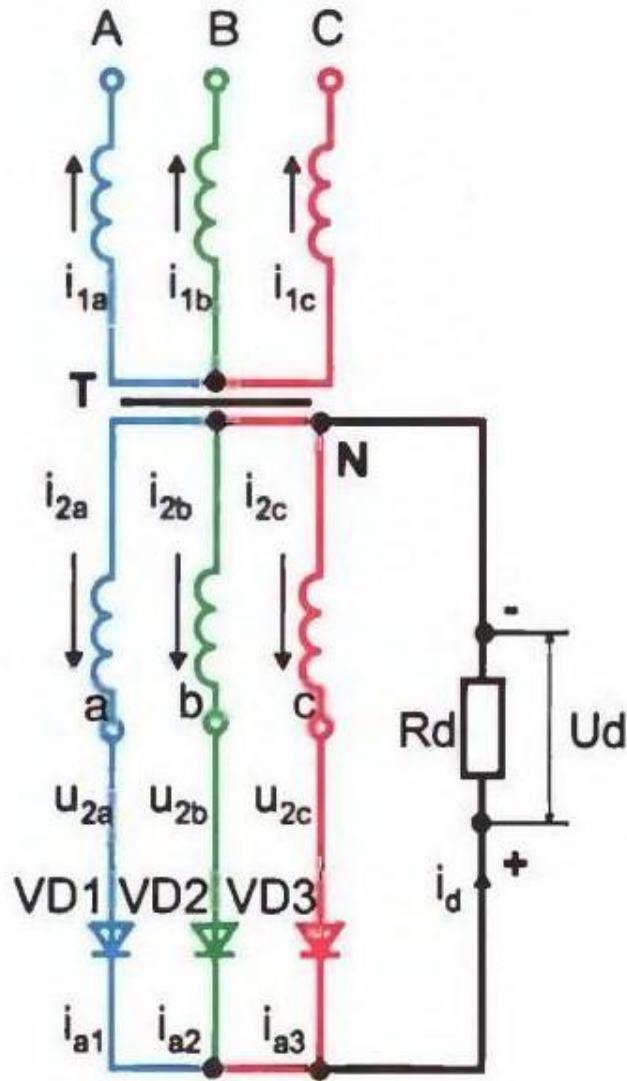
$$U_{обр.мах} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

Ток, протекающий по диодам, в 2 раза меньше тока в нагрузке, т.е. $I_a = 0,5 I_d$.

Для данной схемы выпрямления коэффициент пульсации $K_p = 0,67$. Достоинства мостовой схемы —
--- снижение габаритной мощности трансформатора на 20 %;

- возможность включения выпрямителя непосредственно в питающую цепь, если напряжение сети обеспечивает нужное значение выпрямленного напряжения.

Трехфазный выпрямитель со средней точкой (нулевой)



Трёхфазный выпрямитель со средней точкой (нулевой)

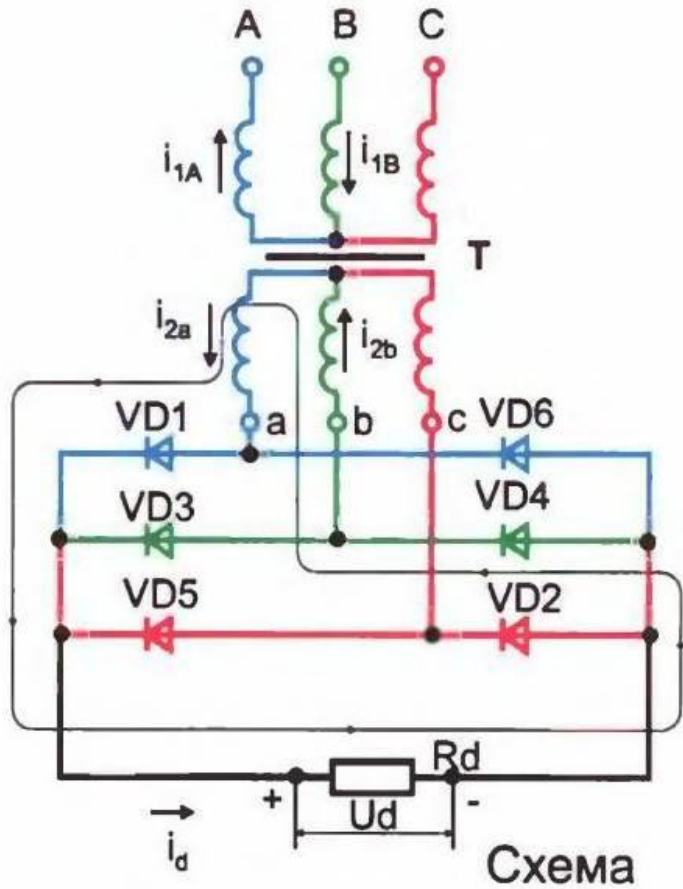
Данная схема состоит из трёхфазного трансформатора, трёх диодов и нагрузки R_d . Первичные обмотки можно соединять в «звезду» или «треугольник», а вторичные обмотки — только в «звезду». Из диаграммы видно, что при работе выпрямителя с нагрузкой напряжения u_{2A} , u_{2B} и u_{2C} сдвинуты по фазе на $2/3 \pi$ и в течение $1/3$ периода T напряжение на одной из трёх фаз выше двух остальных. Третью часть периода, через диод VD_1 и нагрузку протекает ток равный i_{a2} . Когда потенциал на аноде становится ниже, чем на катодах, диод VD_1 закрывается, но в момент времени, открывается диод VD_2 . Таким образом, через нагрузку протекает непрерывно выпрямленный ток i_d . Процесс коммутации происходит в моменты, соответствующие точкам пересечения кривых фазных напряжений (ТЭВ- точки естественного включения). Напряжение на выходе выпрямителя U_d в любой момент времени равно мгновенному значению напряжения той обмотки, в которой диод открыт.

Среднее значение выпрямленного напряжения на нагрузке (постоянная составляющая)

$$U_d = 0,45 \cdot U_2$$

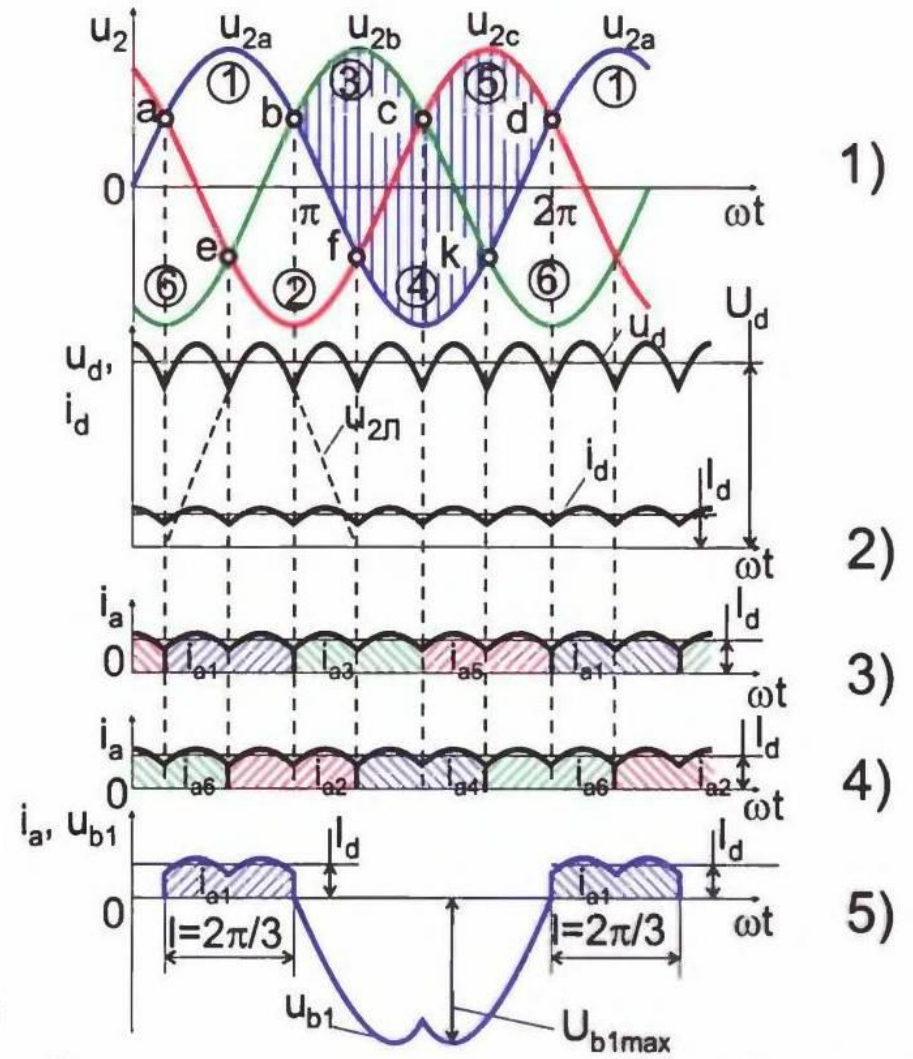
Для данной схемы выпрямления коэффициент пульсации $K_p = 0,25$.

Трёхфазный мостовой выпрямитель



VD1 }
 VD3 } катодная группа
 VD5 }

VD2 }
 VD4 } анодная группа
 VD6 }



Временные диаграммы напряжений и токов

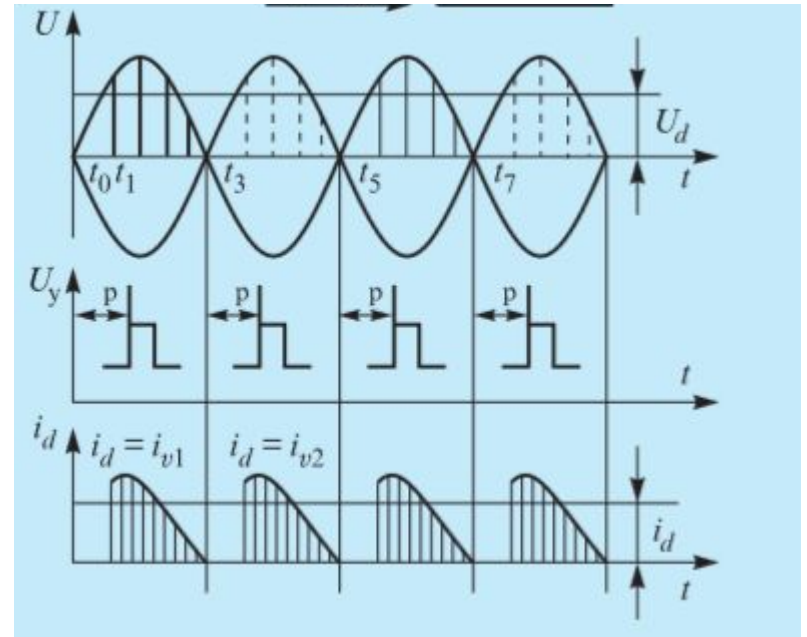
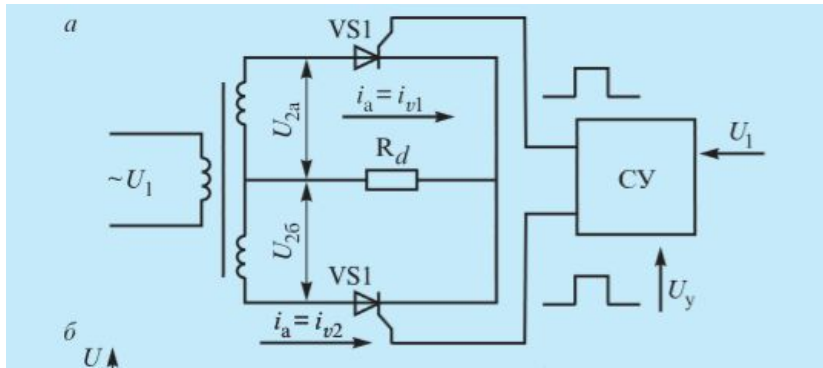
Трёхфазный мостовой выпрямитель

Данная схема включает в себя трансформатор, шесть диодов и нагрузку R_d . Диоды объединены в две группы: катодную (диод VD_1 , VD_3 и VD_5), образующую положительный полюс, и анодную (диод VD_2 , VD_4 и VD_6), образующую отрицательный полюс для внешней цепи. Первичную и вторичную обмотки трансформатора можно соединять как в «звезду», так и в «треугольник». В каждый момент времени работают два диода: один из катодной группы, а другой из анодной. Катодная группа диодов повторяет режим трёхфазной нулевой схемы. В этой группе в определённый момент работает диод с наибольшим потенциалом на аноде. В анодной группе в данный момент работает диод, катод которого имеет наибольший отрицательный потенциал по отношению к общей точке анодов. Диоды катодной группы открываются в моменты, соответствующие точкам пересечения положительных участков синусоид (точки a , b , c , на диаграмме), а диоды анодной группы — в моменты, соответствующие точкам пересечения отрицательных участков синусоид (точки e , f , k , на диаграмме,). Каждый диод работает в течение одной трети периода. Положительные полуволны синусоид выпрямляются диодами катодной группы, а отрицательные полуволны — диодами анодной группы. Для данной схемы выпрямления коэффициент пульсации $K_p = 0,057$.

Преимущества данной схемы:

- меньшая типовая мощность по сравнению с другими схемами;
- высокая частота и незначительная пульсация выпрямленного напряжения, что уменьшает размеры и вес сглаживающего фильтра;
- хорошее использование диодов по напряжению $U_{обр\max} = U_d$, что позволяет получать высокие выпрямленные напряжения.

Управляемые выпрямители



Управляемые выпрямители

Управляемые выпрямители находят всё большее применение. Основой управляемого выпрямителя являются **тиристоры**, трансформатор и система управления тиристорами. Схемы управляемых выпрямителей повторяют схемы обычных выпрямителей, но основное их преимущество — **возможность плавного регулирования выпрямленного напряжения в широких пределах**.

Рассмотрим работу управляемого выпрямителя, собранного по однофазной схеме с нулевой точкой. При подаче напряжения на первичную обмотку трансформатора во вторичной обмотке будет возникать синусоидальное напряжение, которое в первый полупериод прикладывается к тиристорам $V1$, а второй — к тиристорам $V2$, но так как тиристоры выключены, ток в нагрузке будет равен нулю. Если на анод тиристора $V1$ подать положительный потенциал первого полупериода, а на управляющий электрод отпирающий импульс, то тиристор $V1$ открывается и через него на нагрузку потечёт ток. При этом тиристор $V2$ закрыт, так как к нему приложено обратное напряжение. При изменении направления тока на противоположное тиристор $V1$ закрывается обратным напряжением, а тиристор $V2$ при подаче на его **управляющий электрод импульса открывается**. Тогда через тиристор $V2$ и нагрузку R_d потечёт ток. Для изменения выпрямленного напряжения необходимо изменять угол регулирования α , т.е. сдвигать по фазе управляющие импульсы U_u относительно напряжения на анодах тиристоров. Угол регулирования α необходимо изменять от 180° до нуля. При максимальном угле открытия на выходе будет минимальное значение выпрямленного напряжения и, наоборот, при минимальном угле регулирования на выходе управляемого выпрямителя будет максимальное значение напряжения.