

# Что такое выпрямитель

## Для чего нужны выпрямители

Как известно, электрическая энергия производится, распределяется и потребляется преимущественно в виде энергии переменного тока. Так удобнее. Однако потребители электрической энергии бывают разные. Для потребителей переменного тока (асинхронных и синхронных электрических двигателей, трансформаторов, люминесцентных ламп) важно, чтобы потребляемый ими ток был знакопеременным (лучше всего – синусоидальным). Частота изменения знака тока стандартизована (в Украине – 50 Гц). Другие потребители требуют, ток был одного знака. К таким относятся электрические двигатели переменного тока, аккумуляторные батареи во время их заряда, гальванические и электролизные ванны, сварочные установки, электронные микросхемы и т.п. Их называют потребителями постоянного тока.

Выпрямитель – полупроводниковый преобразователь энергии, предназначенный для преобразования электрической энергии переменного тока в энергию постоянного тока. Потребность в использовании выпрямителя возникает тогда, когда для питания потребителя постоянного тока необходимо использовать энергию из источника переменного тока (например, промышленной или бытовой сети переменного тока). В таком случае выпрямитель включают между источником переменного тока и потребителем постоянного тока.

Выпрямители широко используются в блоках питания компьютеров, агрегатах бесперебойного питания, зарядных устройствах для мобильных телефонов и ноутбуков, на преобразовательных подстанциях электрического транспорта, в электроприводах постоянного тока, разнообразных электронных схемах.

## Какие бывают выпрямители

Если задачей выпрямителя есть лишь преобразование рода тока (выпрямление), их строят на основе неуправляемых вентилей (диодов). В случае, когда на выпрямитель возложено также регулирование уровня напряжения, подаваемого к потребителю, необходимо использование управляемых вентилей (тиристоров). Подобного регулирования требует, например, электрический двигатель постоянного тока для изменения скорости вращения.

В зависимости от количества фаз питающей сети различают однофазные выпрямители и трехфазные.

По уровню мощности выпрямители подразделяют на маломощные (выпрямители сигналов) и мощные или силовые.

## Вентили

Современные вентили – обычно полупроводниковые (маломощные – на основе кристаллов германия, более мощные – кремниевые). Не вдаваясь в подробности их внутреннего строения и физических принципов функционирования, рассмотрим только потребительские свойства.

Простейший из вентилях (диод) является неуправляемым. Он имеет два вывода (анод А и катод К, см. рис. 1) и может проводить ток только в одном направлении – от анода к катоду. Если к аноду приложен положительный потенциал, а к катоду – отрицательный (как на рис. 1а), диод будет открыт, и через него будет протекать ток. Если поменять направление включения диода (как на рис. 1б) или источника питания  $U$ , диод будет закрыт, а ток – отсутствовать. Будем считать диод идеальным вентиляем (то есть, его внутреннее сопротивление в открытом состоянии равно нулю, а в закрытом – бесконечности). Графическое обозначение диода на электрических схемах похоже на стрелку, показывающую единственное возможное направление протекания тока. Чтобы отличить на схеме один диод от других, рядом с их графическим обозначением пишут  $VD$  и текущий номер диода (например,  $VD1$ ).

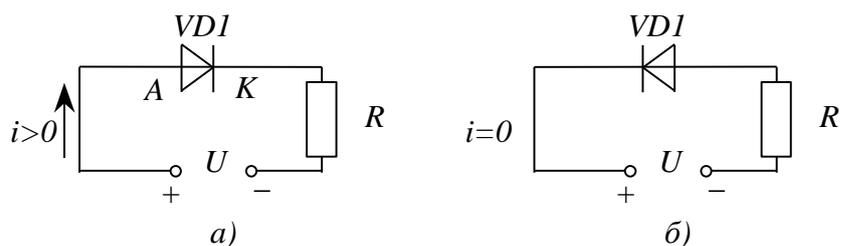


Рис. 1. Способы включения диода (а – прямой, б – обратный)

**Тиристор** является вентиляем управляемым. Кроме анода и катода, он имеет третий вывод (управляющий электрод УЭ на рис. 2). Он также проводит ток только в одном направлении (от анода к катоду). Для его отрывания необходимо выполнить два условия:

- подать на анод положительный потенциал относительно катода (как для диода);
- обеспечить протекание в цепи между управляющим электродом и катодом тока управления  $i_y$ , направленного как на рис. 2а.

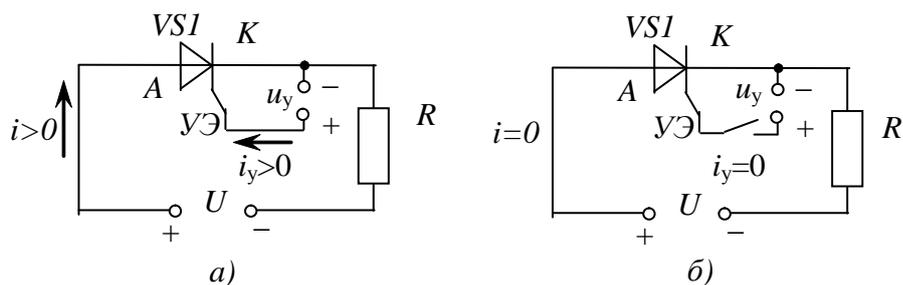


Рис. 2. Два состояния тиристора (а – открыт и б – закрыт)

Для обеспечения протекания тока управления используют дополнительный источник напряжения  $u_y$ . Величина тока управления намного меньше тока между анодом и катодом (то есть силового тока). Если цепь управляющего электрода разомкнуть (как на рис. 2б), ток управления будет отсутствовать, и тиристор не откроется. Графическое обозначение тиристора похоже на обозначение диода, однако имеет третий вывод УЭ. Нумерацию тиристоров на схемах производят с использованием букв  $VS$ . Благодаря наличию управляющего электрода тиристор становится управляемым вентиляем. Он открывается только тогда, когда будет выполнено не только первое условие его открывания, но и второе. Потому ток управления могут подавать не сразу после выполнения первого условия, а несколько позднее. Этот ток подается от специальной системы управления. Далее мы не будем показывать цепь, по которой протекает ток управления.

Тиристор имеет одну особенность: он открывается при помощи управляющего электрода, но закрывается только тогда, когда ток между анодом и катодом исчезнет. Добиться этого с помощью управляющего электрода невозможно. Поэтому тиристор иногда вентиляем называют полууправляемым вентиляем.

Конструкция диодов малой мощности показана на рис. 3. У верхнего диода (более мощного, чем нижние) катод расположен слева. Внизу изображен диодный мостик (о них ниже).

Более мощные диоды и тиристоры изображены на рис. 4. Катод обычно имеет резьбу, которой крепится на охладителе, анод – гибкий вывод. Охладители (рис. 5), отводя тепло от вентиля, предотвращают их перегрев. Наиболее мощные приборы имеют таблеточную конструкцию (см. нижнюю часть рис. 4), которая обеспечивает отвод тепла наружу от обоих торцов (справа на рис. 5).

### Простейший выпрямитель

Выпрямитель (рис. 6а) питается от источника знакопеременного (обычно синусоидального) напряжения  $u$ . Он состоит только из одного диода. Будем считать, что нагрузка выпрямителя – потребитель с чисто активным внутренним сопротивлением ( $R$ ). Ток, протекающий через нагрузку, и приложенное к ней напряжение обозначены на рис. 6б индексами  $d$  (от англ.

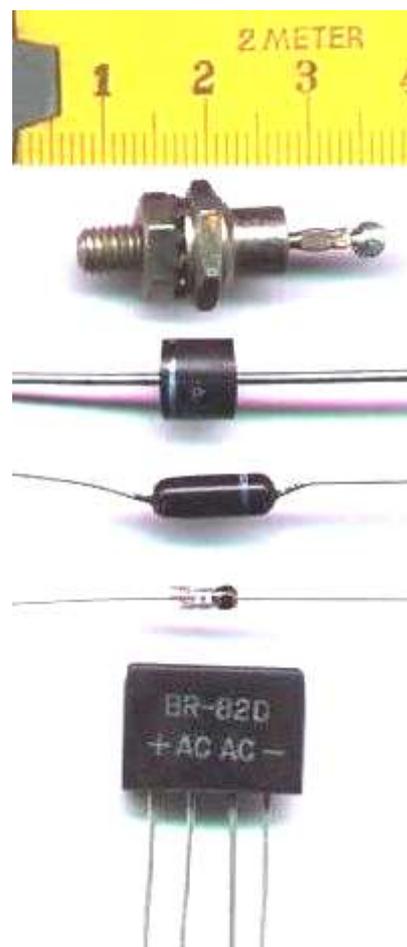


Рис. 3. Диоды

*Direct* – постоянный). Диод открыт только тогда, когда к аноду приложен положительный потенциал (напряжение источника положительное, первый полупериод на рис. 6б).



Рис. 4. Мощные диоды и тиристоры



Рис. 5. Тиристоры с охладителями

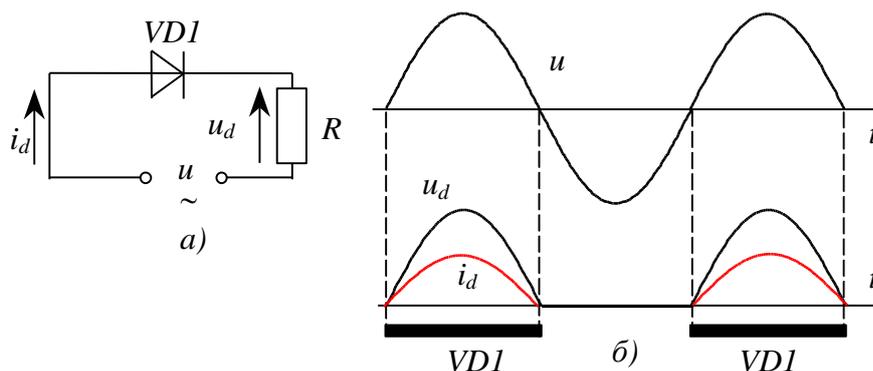


Рис. 6. Процессы в простейшем выпрямителе

К нагрузке через открытый диод подается напряжение от источника. Ток, протекающий по цепи «источник  $u$  – диод – нагрузка» при чисто активной нагрузке повторяет по форме напряжение:  $i_d = \frac{u}{R}$ . Поэтому со снижением напряжения до нуля исчезает и ток, а диод закрывается. На следующем полупериоде, когда напряжение источника отрицательно, ток отсутствует, напряжение на нагрузке равняется нулю. После того, как напряжение источника снова станет положительным, открывается диод, и к нагрузке снова прикладывается напряжение. Таким образом, благодаря выпрямителю напряжение на нагрузке (**выпрямленное напряжение  $u_d$** ) содержит в себе только положительные полупериоды напряжения  $u$ , а **выпрямленный ток  $i_d = \frac{u_d}{R}$**  повторяет по форме выпрямленное напряжение. В нижней части рис. 6б изображена диаграмма работы диода (черная линия показывает интервалы времени, когда диод открыт).

### Мостовой выпрямитель

Только что рассмотренная схема используется только для питания потребителей малой мощности. Более распространена мостовая схема (рис. 7а).

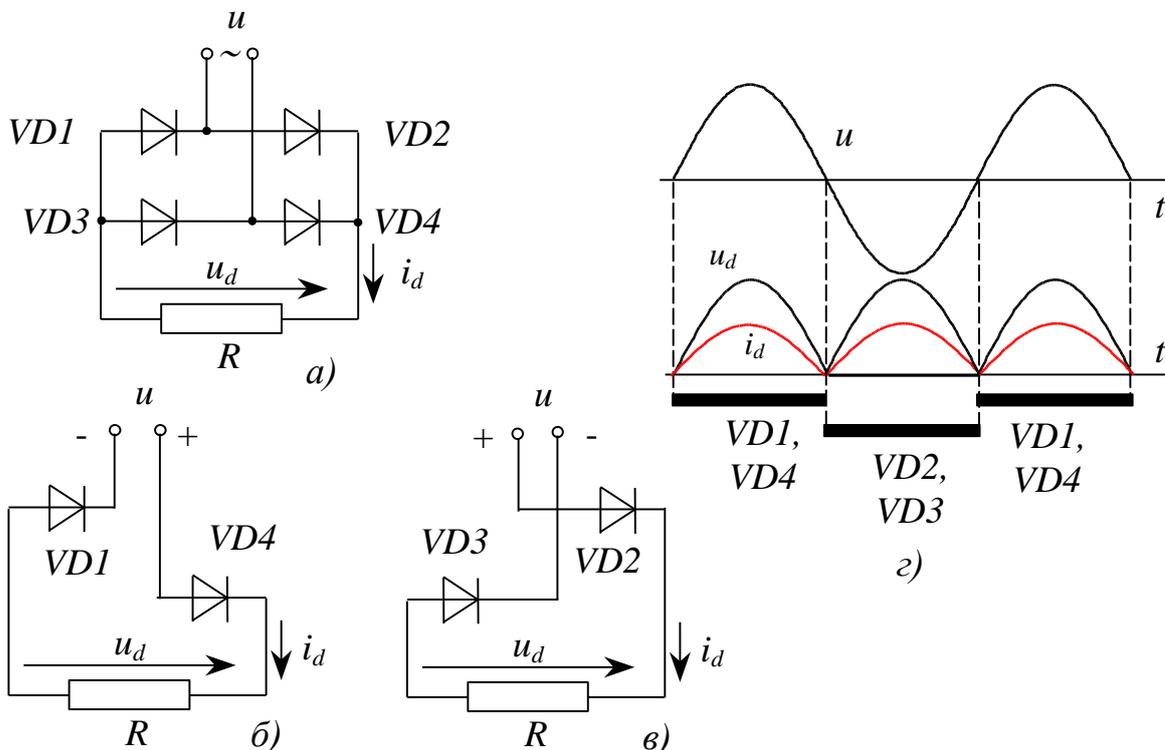


Рис. 7. Мостовой выпрямитель

В ее состав входят четыре диода, работающие попарно-поочередно. На первом полупериоде питающего напряжения (правая клемма источника имеет положительный потенциал) открыты диоды  $VD1$  и  $VD4$ , образуется путь протекания тока, изображенный на рис. 7б. К нагрузке прикладывается положительное напряжение. На втором полупериоде открыты  $VD2$  и  $VD3$ , а

ток протекает, как показано на рис. 7в (в нагрузке – в прежнем направлении). К нагрузке вновь приложено положительное напряжение. Выпрямленное напряжение и ток во времени изменяются согласно рис. 7г. Поскольку оба полупериода напряжения питания являются рабочими, среднее значение выпрямленного напряжения вдвое больше по сравнению со схемой рис. 6а. Мостовые выпрямители небольшой мощности выпускают в виде т.н. «диодных мостиков» (снизу на рис. 3).

Если необходимо не только формировать на нагрузке знакопостоянное напряжение, но и изменять при необходимости ее среднее значение (для регулирования сварочного тока, скорости электродвигателя), вместо диодов в выпрямителях используют тиристоры (рис. 8а). Если тиристоры получают в цепь управления управляющий сигнал сразу же после того, как напряжение их анодах становится положительным, тиристоры работают также, как и диоды, и процессы в схеме ничем не отличаются от рассмотренных ранее. Если же задержать подачу тока управления, открывание тиристоров происходит позднее (на рис. 8б – по окончании времени задержки  $t_3$ ). Пока тиристоры закрыты, ток отсутствует, и напряжение к нагрузке не прикладывается. Из кривой выпрямленного напряжения «вырезается» определенный участок, и среднее значение напряжения уменьшается. Увеличение задержки  $t_3$  приводит к дальнейшему уменьшению среднего выпрямленного напряжения.

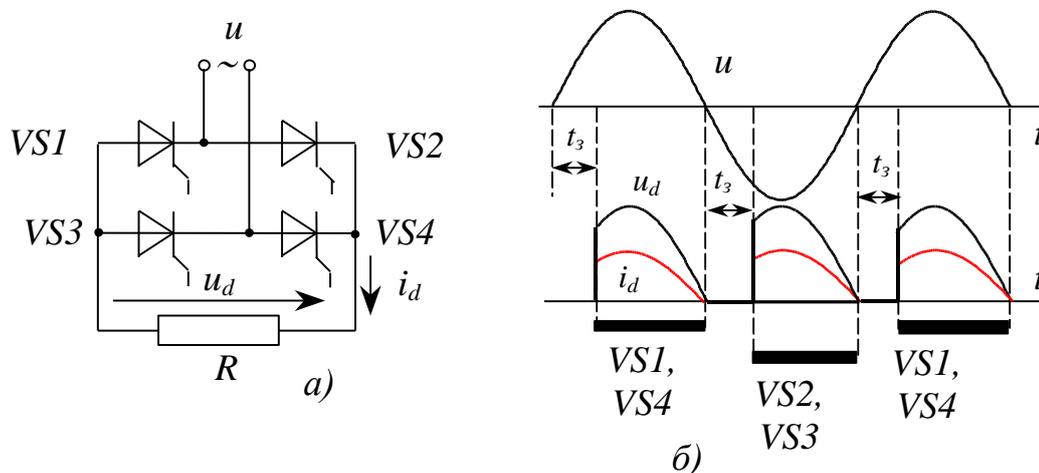


Рис. 8. Тиристорный мостовой выпрямитель

Тиристорные выпрямители используются в электроприводах постоянного тока для питания обмоток якоря и возбуждения электродвигателей постоянного тока. На рис. 9 показан внешний вид подобного электропривода. Кроме собственно выпрямителя, в его состав входят микропроцессорные системы управления вентилями, скоростью и моментом электродвигателя, дисплей и пульт управления для диалога с пользователем, а также дополнительные элементы, обеспечивающие функционирование электропривода. Выпрямители большой мощности размещаются в электрических шкафах (рис. 10).



Рис. 9. Современный электропривод постоянного тока на базе тиристорного выпрямителя



Рис. 10. Мощный выпрямитель