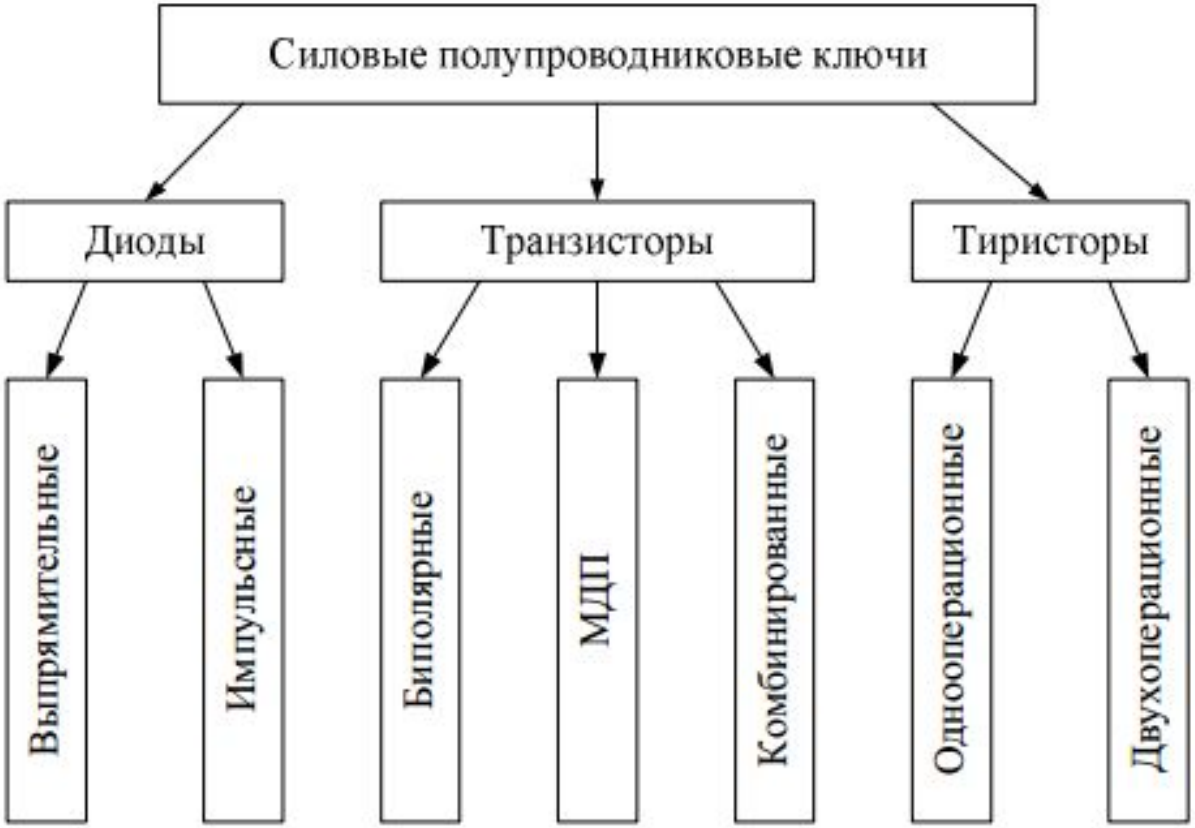
ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СИЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ.

Основными элементами силовых преобразователей электроэнергии являются:

- силовые полупроводниковые ключи;
- электрические конденсаторы;
- резисторы;
- индуктивности.

СИЛОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ КЛЮЧИ

Силовые полупроводниковые ключи выполняются по управляемой и неуправляемой структуре. Классификационная схема ключей имеет вид



Полупроводниковые диоды.

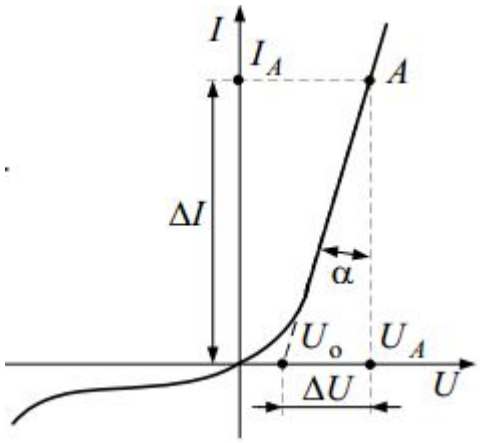
Простейшими неуправляемыми силовыми ключами являются полупроводниковые диоды.

Внешний вид.

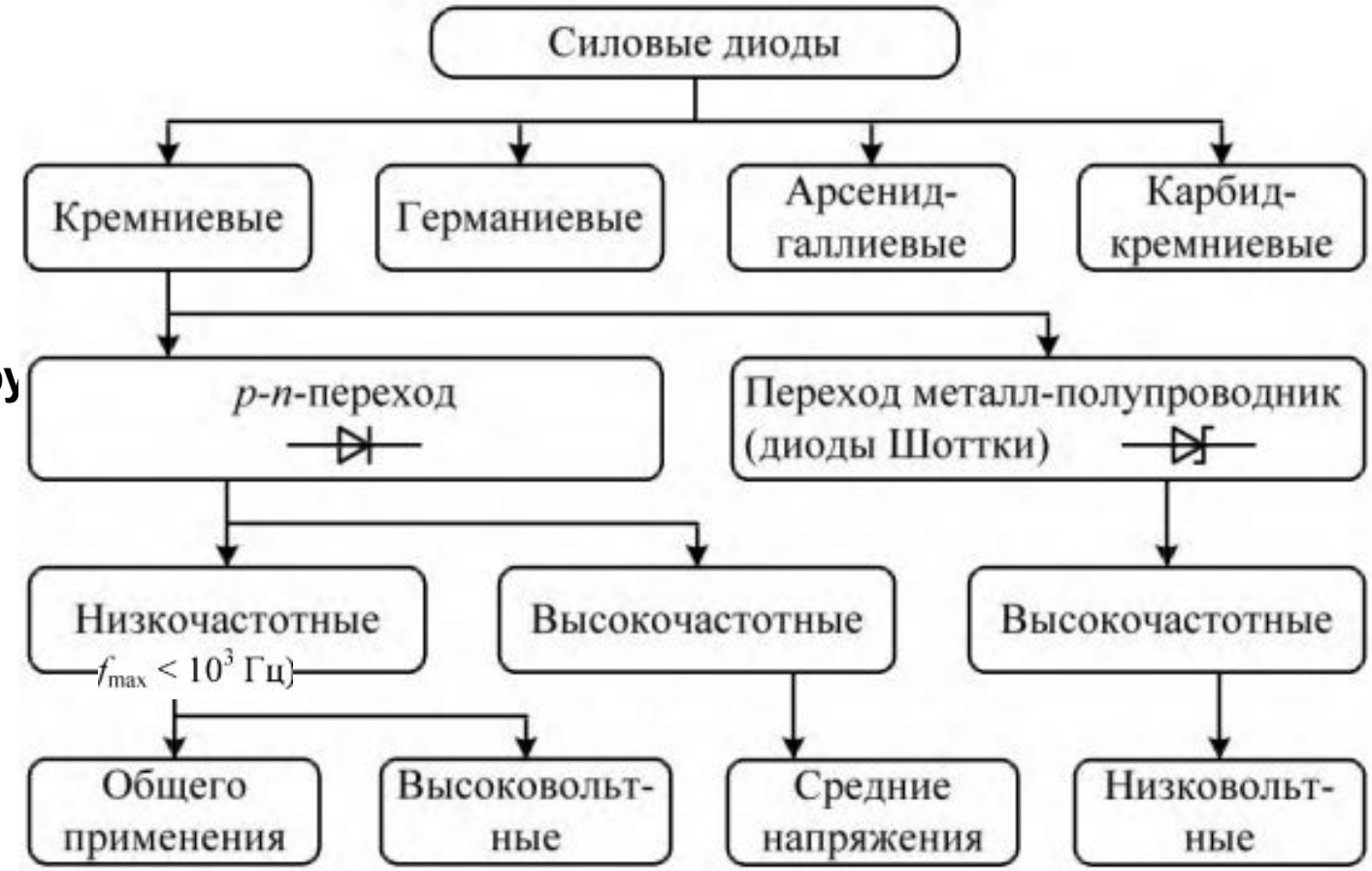
Структура.

Условное обозначение.

Вольт-амперная характеристика.



Классификация силовых полупроводниковых диодов.



В зависимости от материала

По внутренней стру туре

В зависимости от рабочей частоты

По предельному Напряжению

до 1 кВ **до 10 кВ** **до 10 кВ**

Параметры силовых диодов.

1) импульсное обратное напряжение $U_{\text{и.обр}}$- максимальное обратное напряжение, которое каждый период может прикладываться к диоду, примерно 0,7$U_{\text{пр}}$ (достигает 10 кВ).

2) максимально допустимый средний прямой ток (предельный ток $I_{\text{пр.ср}}$) определяется в однофазной однополупериодной схеме выпрямления при синусоидальном токе частотой 50 Гц, угле проводимости 180° и заданной температуре кристалла.

3) максимальный обратный ток I_0 (доли мкА - десятки мА);

4) импульсное прямое напряжение $U_{\text{и}}$ (1...3 В).

5) прямое падение напряжения $U_{\text{пр}}$(0,5 ... 1,5 В).

6) время восстановления обратного сопротивления (доли нс - доли мкс для высокочастотных и 25... 100 мкс для низкочастотных).

Транзисторы.

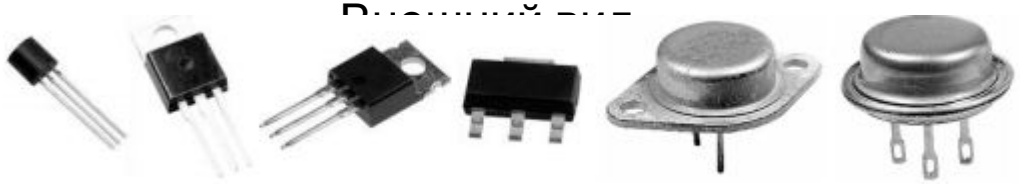
В силовой преобразовательной технике наибольшее распространение получили:

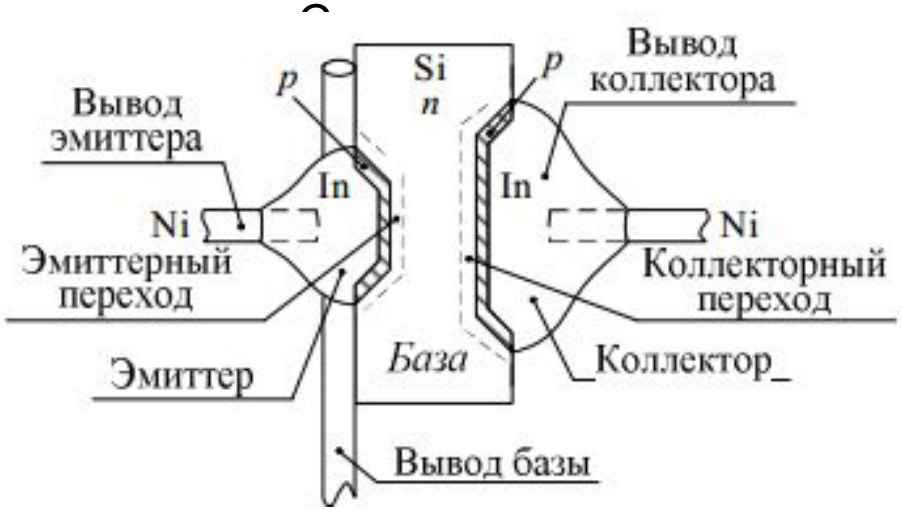
- биполярные транзисторы;
- полевые транзисторы с изолированным затвором;
- комбинированные транзисторы.

Биполярные транзисторы

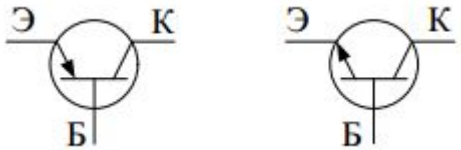
Биполярным транзистором называют полупроводниковый прибор, имеющий два взаимодействующих p–n-перехода.

Биполярный транзистор.

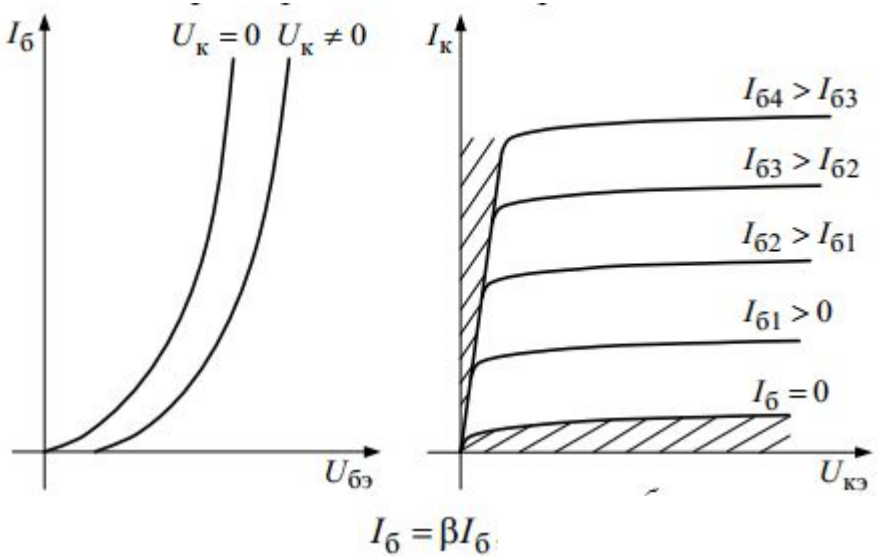




Условное обозначение.



Вольт-амперная характеристика.



Различают три способа включения:
- с общей базой,
- общим эмиттером,
- общим коллектором.

Полевые транзисторы.
Внешний вид.

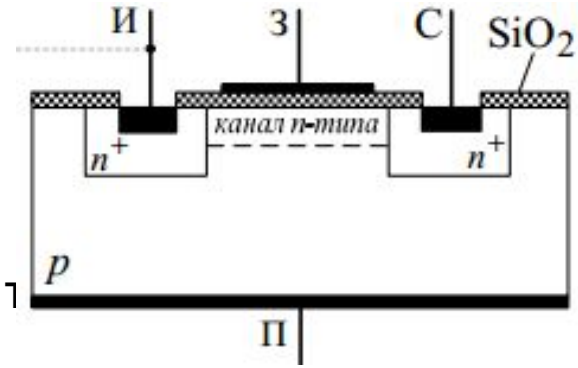
По принципу действия подразделяются на две группы:
- с управляющим p–n-переходом;
- с изолированным затвором.

Полевые транзисторы с управляющим p–n-переходом в качестве силовых управляемых ключей широкого распространения не получили.

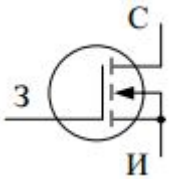
С изолированным затвором на сегодняшний день являются одними из самых распространённых.

Полевые транзисторы с изолированным затвором (**MOSFET**).

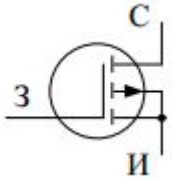
Структура.



Условное обозначение.



с каналом n-типа

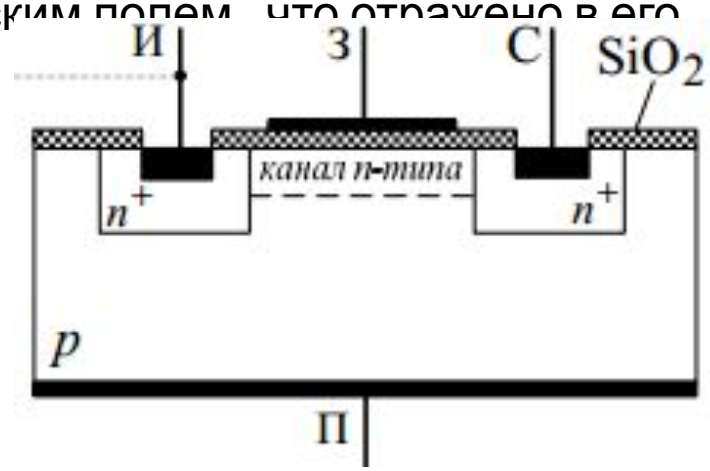


с каналом p-

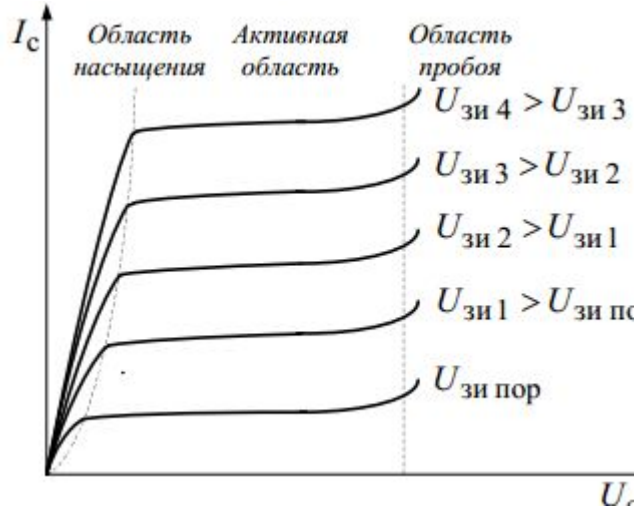
В отечественной литературе полевые транзисторы с изолированным затвором получили обозначение МОП-транзисторы(Металл–Окисел–Полупроводник) или МДП-транзисторы(Металл–Диэлектрик–Полупроводник). В зарубежной литературе их обозначают **MOSFET** (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor). Рассмотрим работу на примере транзистора с транзистор с каналом n-типа проводимости.

Если между И и З подать управляющее напряжение(+) на З, (–) на И, то между затвором и исходным полупроводником возникает электрическое поле, которое будет выталкивать дырки из приповерхностной области, а притягивать туда электроны. В результате, когда в приповерхностной области концентрация электронов превысит концентрацию дырок, произойдёт инверсия проводимости и там возникнет канал n-типа проводимости, соединяющий области истока и стока. Чем больше напряжение между затвором и истоком, тем больше концентрация носителей в канале и больше его проводимость. Таким образом, отпирание транзистора и поддержание его в открытом состоянии осуществляется электрическим полем, что отражено в его названии.

В монокристалле полупроводника например p-типа, созданы две области противоположного типа проводимости, называемые истоком (И) и стоком (С)



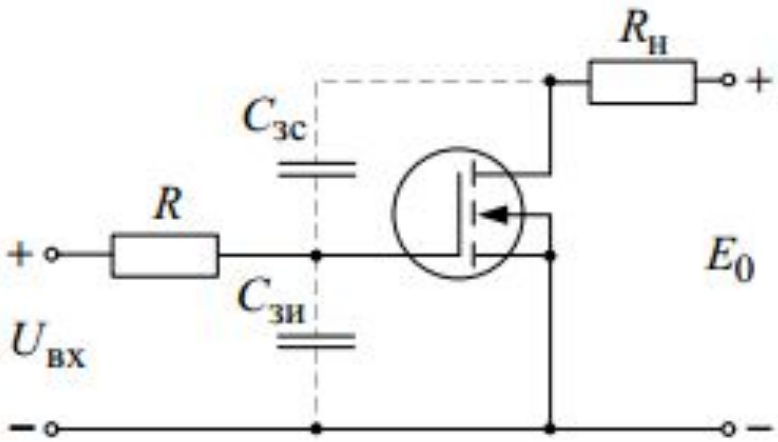
Семейство выходных(стоковых) характеристик MOSFET.



Уравнение нагрузочной прямой.

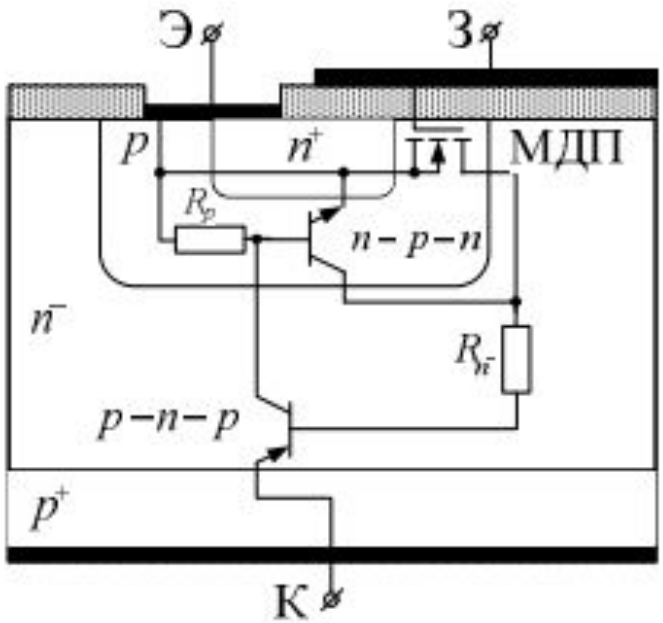
$$U_{си} = E_0 - I_c R_н$$

Схема включения с общим истоком в режиме усиления.

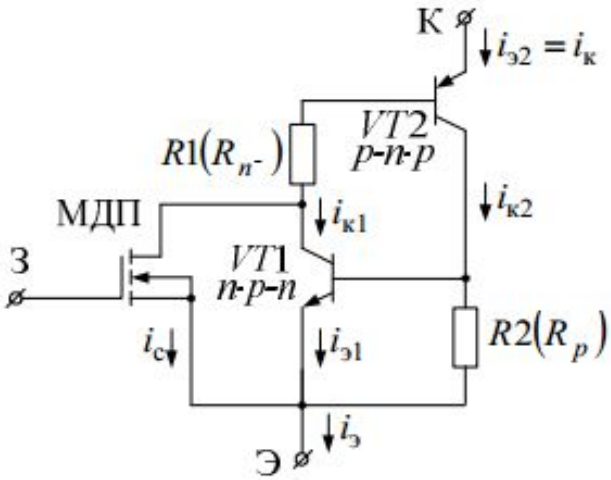


Комбинированные транзисторы

Достоинство биполярного транзистора – возможность пропускания больших токов. Недостаток – большой ток управления. Преимущество полевых транзисторов – малый ток управления. Компромиссное решение, позволяет объединить положительные качества биполярного и МДП-транзистора. Это решение представляет собой монолитную структуру называемую IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), т. е. Биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ). Отличие в структуре заключается в материале исходной подложки, в качестве которой используется полупроводниковая пластина с дырочной +p - электропроводностью.

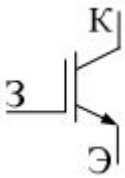


Эквивалентная схема



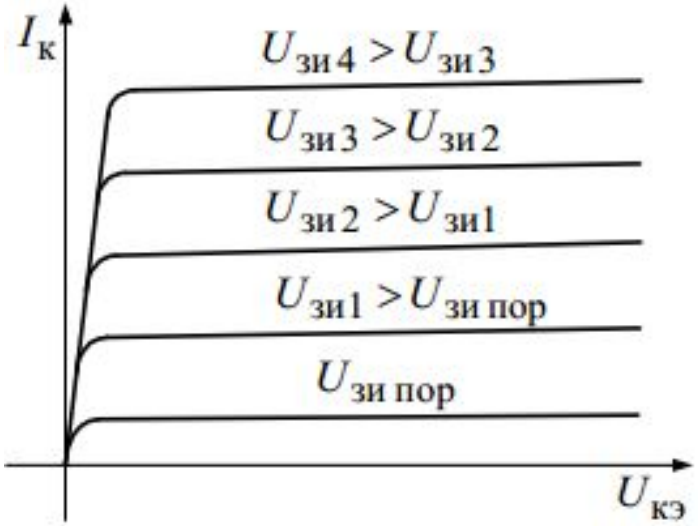
Внешний вид.

Условное обозначение.



Динамические свойства IGBT хуже, чем у MOSFET, но значительно лучше, чем у биполярных транзисторов.

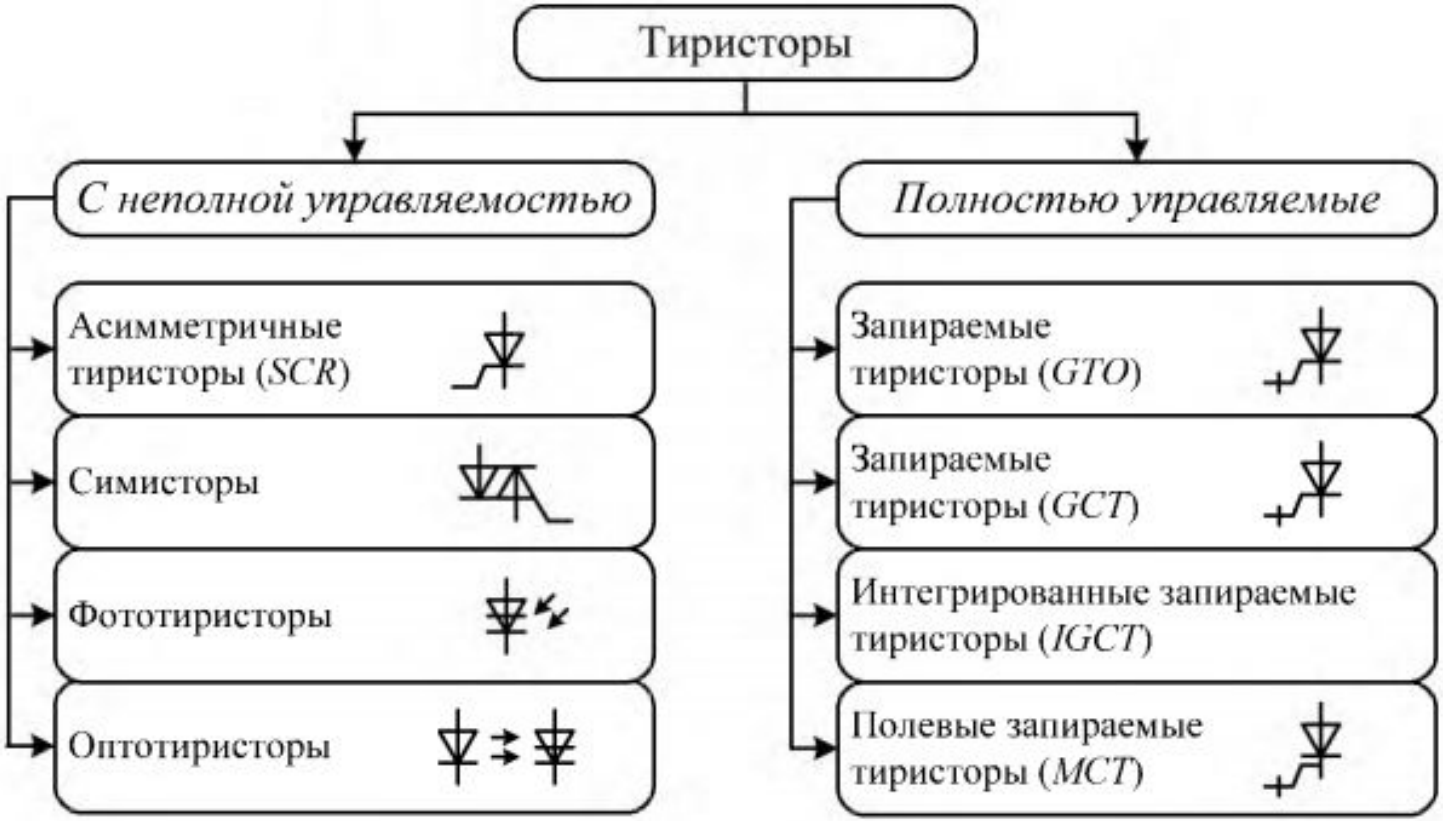
Выходные характеристики IGBT



Тиристоры.

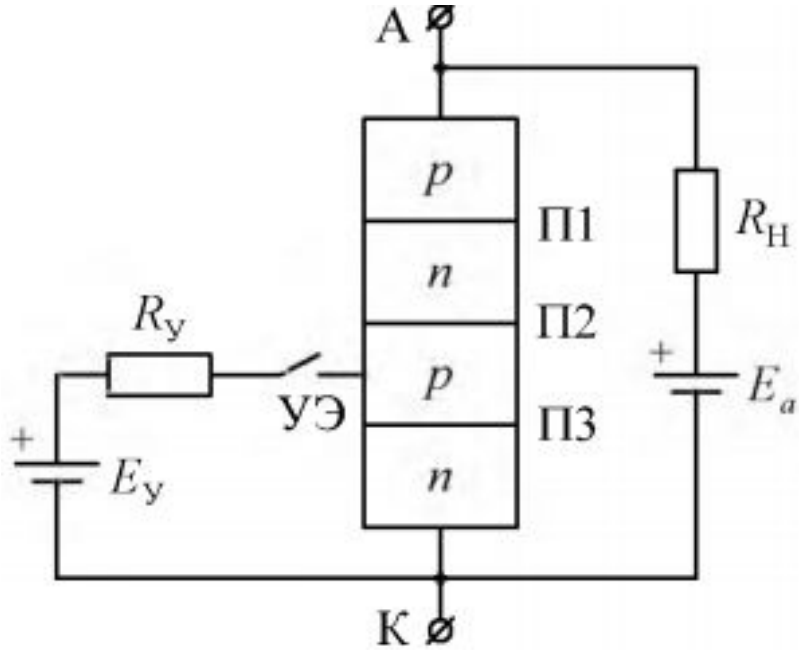
Назначение и классификация тиристоров.

Тиристорами называются полупроводниковые приборы с тремя и более p-n-переходами, предназначенные для использования в качестве электронных ключей.

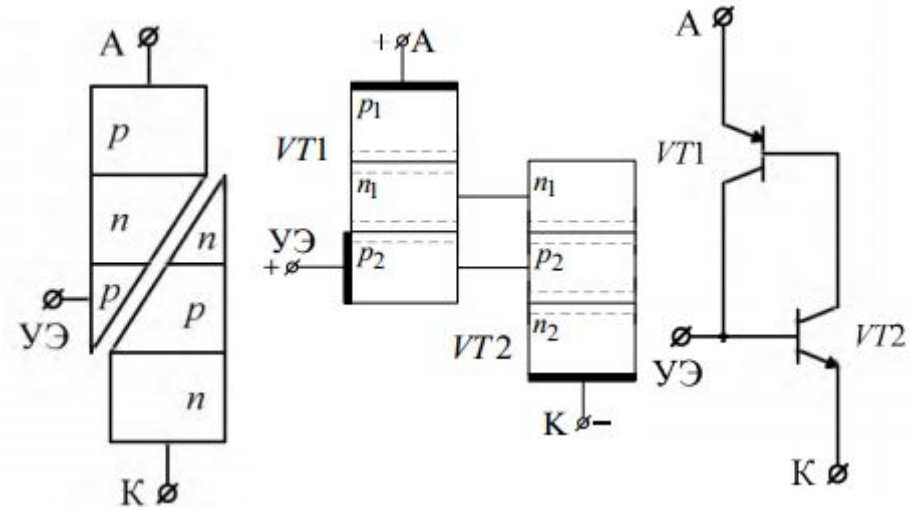


Аббревиатура **GTO**- это gate turn-off thyristor.В переводе это значит тиристор, **включаемый** (выключаемый) **управлением**.
Аббревиатура **GCT**- это gate commutated thyristor.В переводе это значит тиристор, **коммутируемый управлением**.
Аббревиатура **IGCT** – integrated gate commutated thyristor.В переводе это значит **интегрированный тиристор, коммутируемый управлением**.
Аббревиатура **МСТ** - это MOS - control thyristor. В переводе это значит тиристор, **управляемый МОП**.

Структура обычного тиристора.

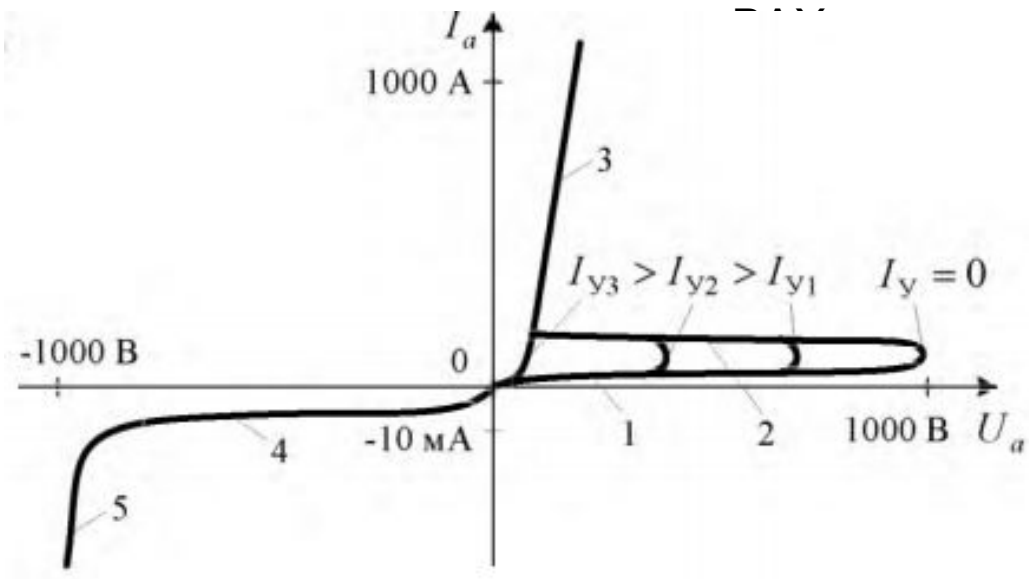


Эквивалентная схема.

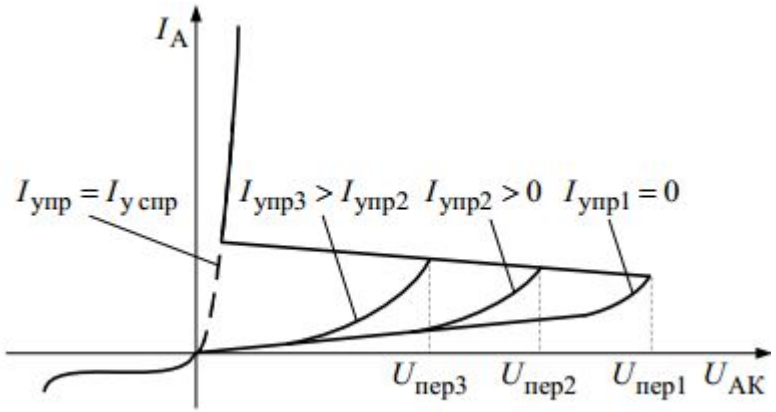


Структуру тиристора можно представить в виде двух соединенных трехслойных структур: р - п - р и п -р-п, эквивалентных биполярным транзисторам VT1 и VT2.

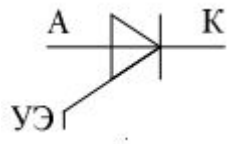
Включение тиристора происходит при наличии между **анодом и катодом положительного напряжения** и подаче на его **управляющий электрод импульса управления**. Благодаря положительной обратной связи между эквивалентными транзисторами VT1 и VT2 процесс включения тиристора начинает лавинообразно развиваться до состояния, когда анодный ток становится равным значению, определенному сопротивлением нагрузки.
Если произошло включение тиристора (протекает анодный ток), то **прекращение тока управления не приводит к выключению** схемы. Это связано с наличием внутренней положительной обратной связи. Чтобы **выключить тиристор** нужно **уменьшить ток в**
цепи анода до малой величины или **приложить** к нему **обратное напряжение**. Таким образом, обычный тиристор - это прибор с неполной управляемостью.



а.



Графическое изображение тиристора.



Если вывод управляющего электрода сделан от промежуточной зоны ***n***, то управляющий сигнал подают между катодом и управляющим электродом.

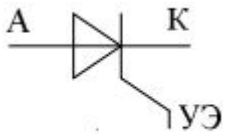
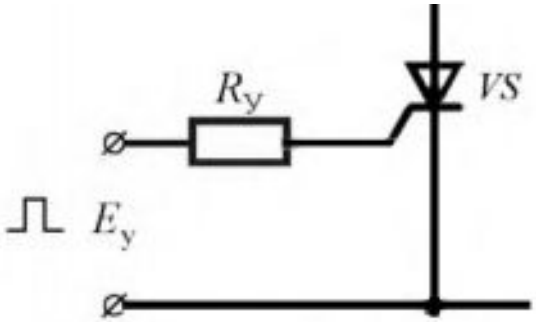
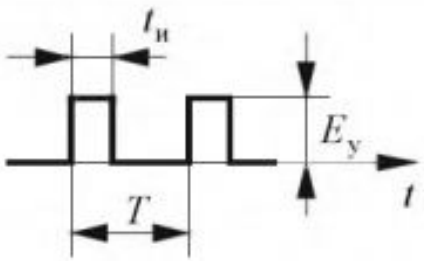


Схема управления тиристором .



Форма сигнала управления.

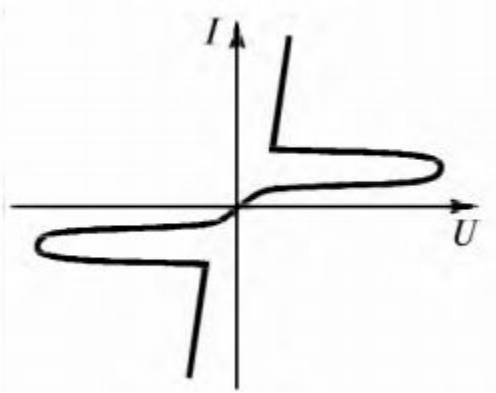


Управляющие импульсы Еу подаются на управляющий электрод через резистор RУ, служащий для ограничения тока.

Разновидности тиристоров

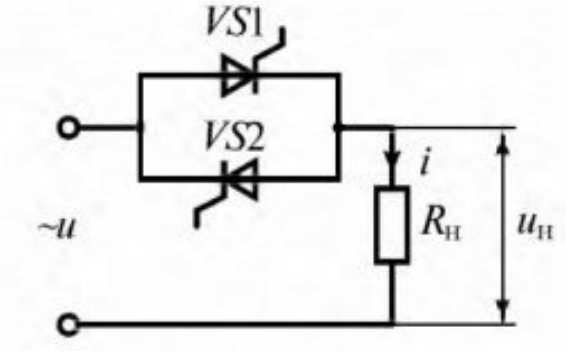
Кроме обычных (асимметричных) тиристоров существуют их разновидности. Тиристоры, которые могут пропускать и не пропускать ток в обоих направлениях, называются симметричными или **симисторами**.

Вольт-амперная характеристика симистора.



Симисторы выполняются на основе пятислойных структур. **При подаче на управляющий электрод сигнала одной полярности симисторы включаются как в прямом направлении, так и в обратном**. Они применяются дл переменного тока.

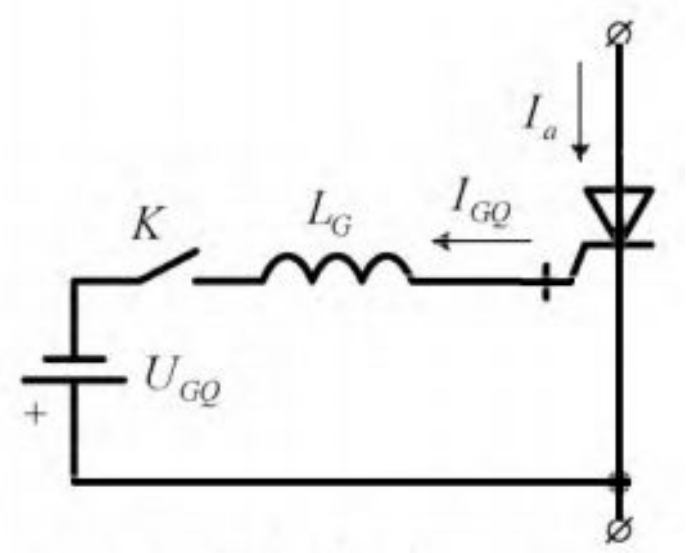
Для регулирования переменного тока можно применить встречно-параллельно включенные тиристоры VS1 и VS2. Вместо них можно включить один симистор.



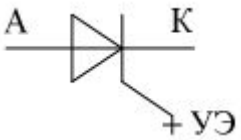
Запираемый тиристор GTO (gate turn-off thyristor),переключаемый в открытое состояние и наоборот путем подачи на управляющий электрод импульсов тока положительной и отрицательной полярности. Включение GTO тиристора осуществляется так же, как и обычного тиристора.

Схема выключения запираемого тиристора.

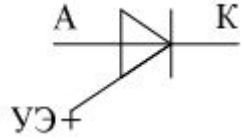
Для выключения тиристора GTO к управляющему электроду и катоду по цепи управления прикладывается отрицательное напряжение U_{GQ}. Оно вызывает запирающий ток выключения I_{GQ}, протекание которого приводит к рассасыванию основных носителей заряда (дырок) в базовом p -слое тиристора.



Недостатком такого выключения является низкий коэффициент усиления при Так, например, если тиристор пропускает ток 1000 А, то для его выключения на управляющий электрод надо подать короткий импульс амплитудой I_{GQ} = 250 А.



управление по катоду



управление по аноду

Сравнительная характеристика мощных силовых тиристоров по предельно допустимым параметрам.

Показатель	Обычный тиристор (*SCR*)	Запираемый тиристор (*GTO*)	Запираемый тиристор (*IGCT*)
Максимальное напряжение U_{RRM}, кВ	10	6	6
Средний прямой ток I_{TAVm}, кА	10	6	6
Импульсное напряжение в открытом состоянии U_{TM}, В	3,0	6,0	4,0

Сравнительная характеристика мощных силовых тиристоров по области применения.

Показатель	Обычный тиристор (*SCR*)	Запираемый тиристор (*GTO*)	Запираемый тиристор (*IGCT*)
Рабочая частота, Гц	до 1000	250 – 300	1000 – 2000
Преимущества	Самые низкие потери во включенном состоянии, высокая перегрузочная способность, высокая коммутируемая мощность	Способность к управляемому запиранию	Способность к управляемому запиранию, меньшие потери во включенном состоянии и на переключение чем у GTO, высокая рабочая частота
Недостатки	Отсутствие выключения по управляющему электроду, низкая рабочая частота	Высокие потери во включенном состоянии и на переключение, сложная система управления, низкая рабочая частота	
Области применения	Электропривод постоянного тока, пускатели, мощные источники питания для сварки, нагрева	Электропривод переменного тока (автономные инверторы напряжения для преобразователей частоты), мощные источники питания электрических подстанций, системы бесперебойного питания	