

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ
ПРИБОРЫ
(III)**

1. Основные сведения о полупроводниковых приборах

Электроника

– наука, которая изучает:

- 1) физические явления в полупроводниковых и электровакуумных приборах,
- 2) характеристики этих приборов,
- 3) системы и устройства, основанные на их использовании.

В зависимости от среды, в которой протекает электрический ток, электронные приборы подразделяют на 3 основных класса:

1) Электронные (вакуумные) лампы. В них поток электронов проходит в вакууме.

2) Ионные (газоразрядные) лампы. В них основными носителями тока являются ионы (как положительные, так и отрицательные), полученные при ионизации газа, заполняющего прибор.

3) Полупроводниковые приборы. В них ток создается движением двух видов носителей – электронами и дырками в твердом теле полупроводника.

В последние годы получила применение электронная аппаратура, основанная на использовании полупроводниковых приборов, которые по сравнению с вакуумными и газоразрядными имеют следующие преимущества:

1. Высокая надежность работы.
2. Компактность.
3. Высокий к.п.д.

Полупроводниковые приборы находят широкое применение на железнодорожном транспорте и в современном электрооборудовании и электроприводе, используемом при выполнении строительных работ и работ по управлению движением.

По удельному электрическому сопротивлению вещества подразделяются на три типа.

Проводники (металлы)	Полупроводники	Диэлектрики
$10^{-8} \div 10^{-6}$ Ом.м	$10^{-5} \div 10^8$ Ом.м	$10^9 \div 10^{24}$ Ом.м

К полупроводникам относятся:

- химические элементы четвертого столбца таблицы Менделеева (Ge, Si);
- химические соединения, например GaAs.

Полупроводники представляют собой кристаллы с регулярной структурой.

Электроны, расположенные на внешнем слое атома называются валентными.

Каждый из валентных электронов вступает в связь с таким же электроном, но соседнего атома.

Такая связь называется **ковалентной**.

По мере нагрева, эта связь нарушается, в результате образуются свободные **электроны** и пустые места, называемые **«ДЫРКИ»**.

Этот процесс называется **генерацией носителей заряда**.

Полупроводниковые приборы делятся на 4 группы:

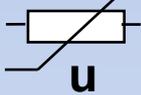
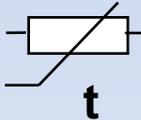
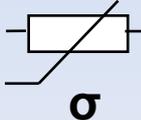
1. Резисторы.
2. Диоды.
3. Триоды (транзисторы).
4. Тиристоры.

Они характеризуются различной полупроводниковой структурой и наличием определенного количества электродов

1. Резисторы выполняются из однородного полупроводникового материала (чаще Si), имеют два электрода.
2. Диоды состоят из двух слоев полупроводников, обладающих различным типом электропроводности; имеют два электрода.
3. Транзисторы имеют трехслойную полупроводниковую структуру, имеют три электрода.
4. Тиристоры имеют четырехслойную полупроводниковую структуру, имеют три электрода.

2. Полупроводниковые резисторы

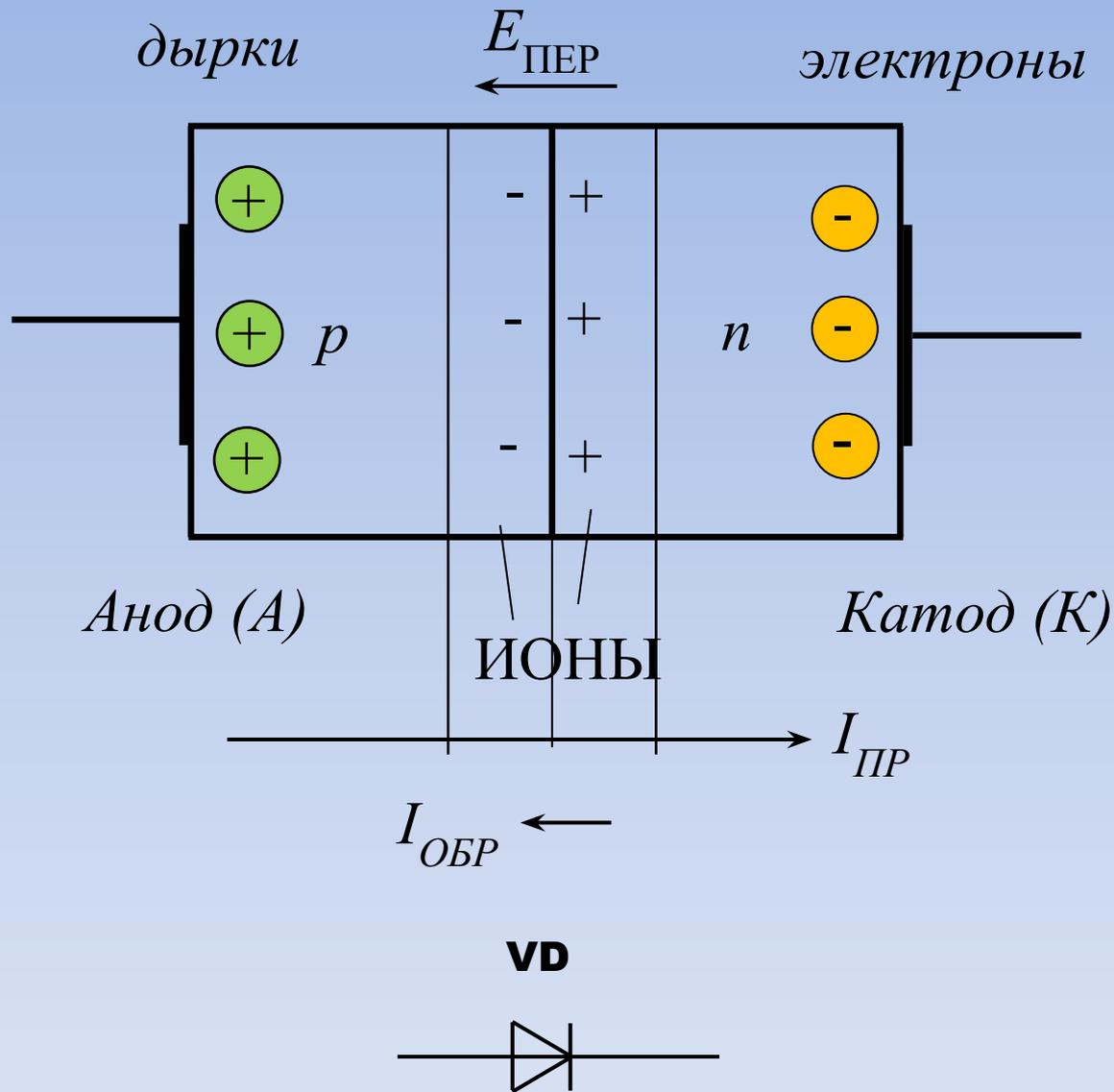
называются приборы, электрическое сопротивление которых является либо величиной постоянной (линейные резисторы), либо зависит от различных физических величин (напряжения, температуры, механической деформации).

	Линейный резистор, электрическое сопротивление является величиной практически постоянной
	Нелинейный резистор (варистор), его электрическое сопротивление зависит от приложенного к нему напряжения, широко применяется для защиты электрических цепей от перенапряжений.
	Терморезистор – его сопротивление зависит от температуры, поэтому он применяется в системах регулирования температуры, а также тепловой защиты.
	Тензорезистор – его сопротивление зависит от величины механической деформации, они широко применяются при механических испытаниях твердых тел.

3. Полупроводниковые диоды

Определение: полупроводниковым диодом или вентилем называется прибор, состоящий из двух полупроводниковых слоев, обладающих дырочной Р и электронной n проводимостями и образующих P-n переход

Основным свойством диода является его односторонняя проводимость



СТРУКТУРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИОДА

Электрод, присоединенный к «р» слою называется Анодом (А).

Электрод, присоединенный к «n» слою называется Катодом (К).

Электрическое сопротивление в прямом направлении существенно меньше, чем в обратном
($R_{пр} \ll R_{обр}$)

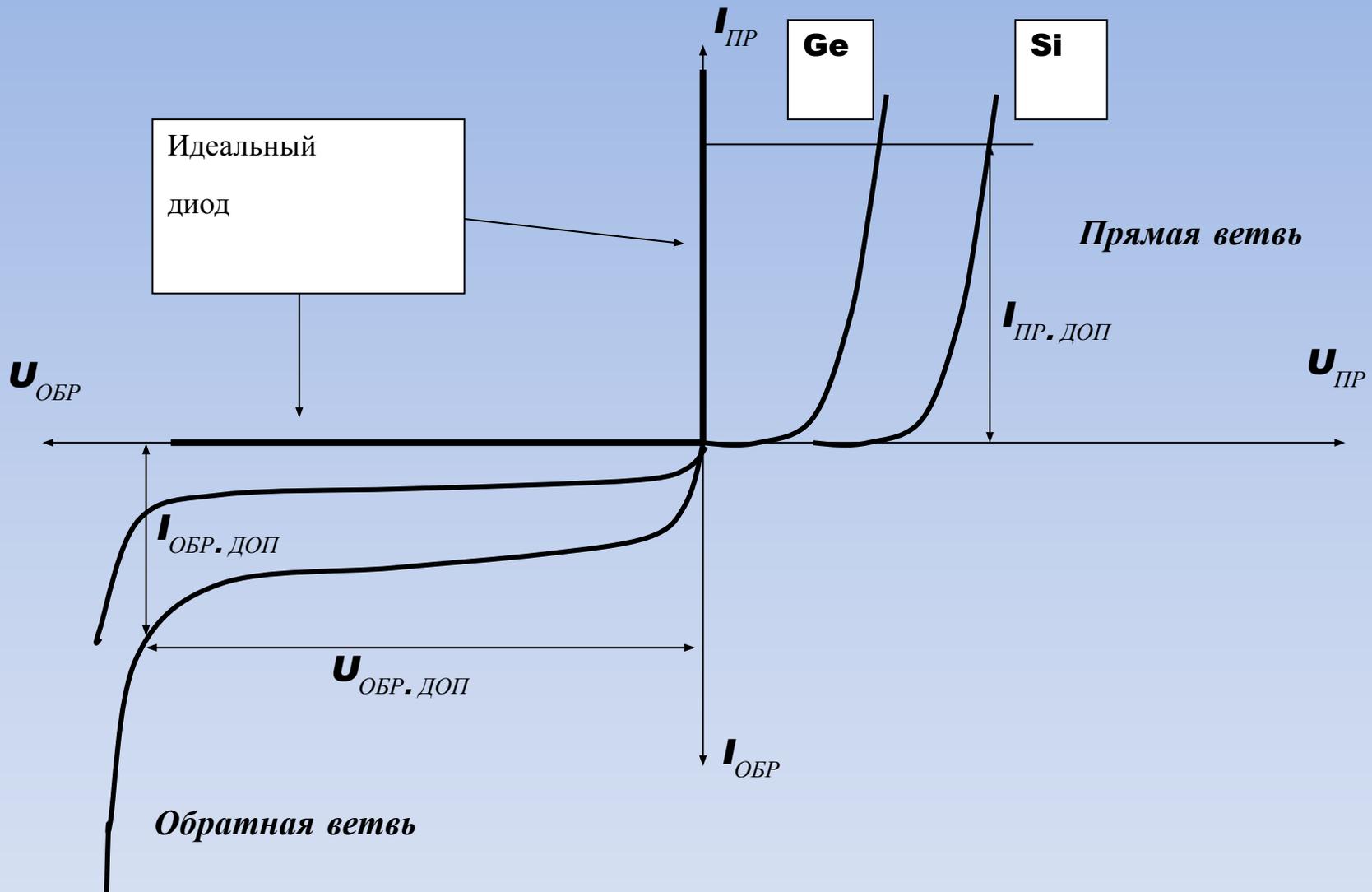
Напряжение, приложенное в прямом направлении (+Анод, -Катод) называется прямым ($U_{пр}$).

Под действием прямого напряжения протекает прямой ток ($I_{пр}$).

Напряжение, приложенное в обратном направлении (-Анод, +Катод) называется обратным ($U_{обр}$).

Под действием обратного напряжения протекает обратный ток ($I_{обр}$), существенно меньший прямого.

Основной характеристикой диода является
Вольтамперная характеристика полупроводникового диода



ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИОДОВ

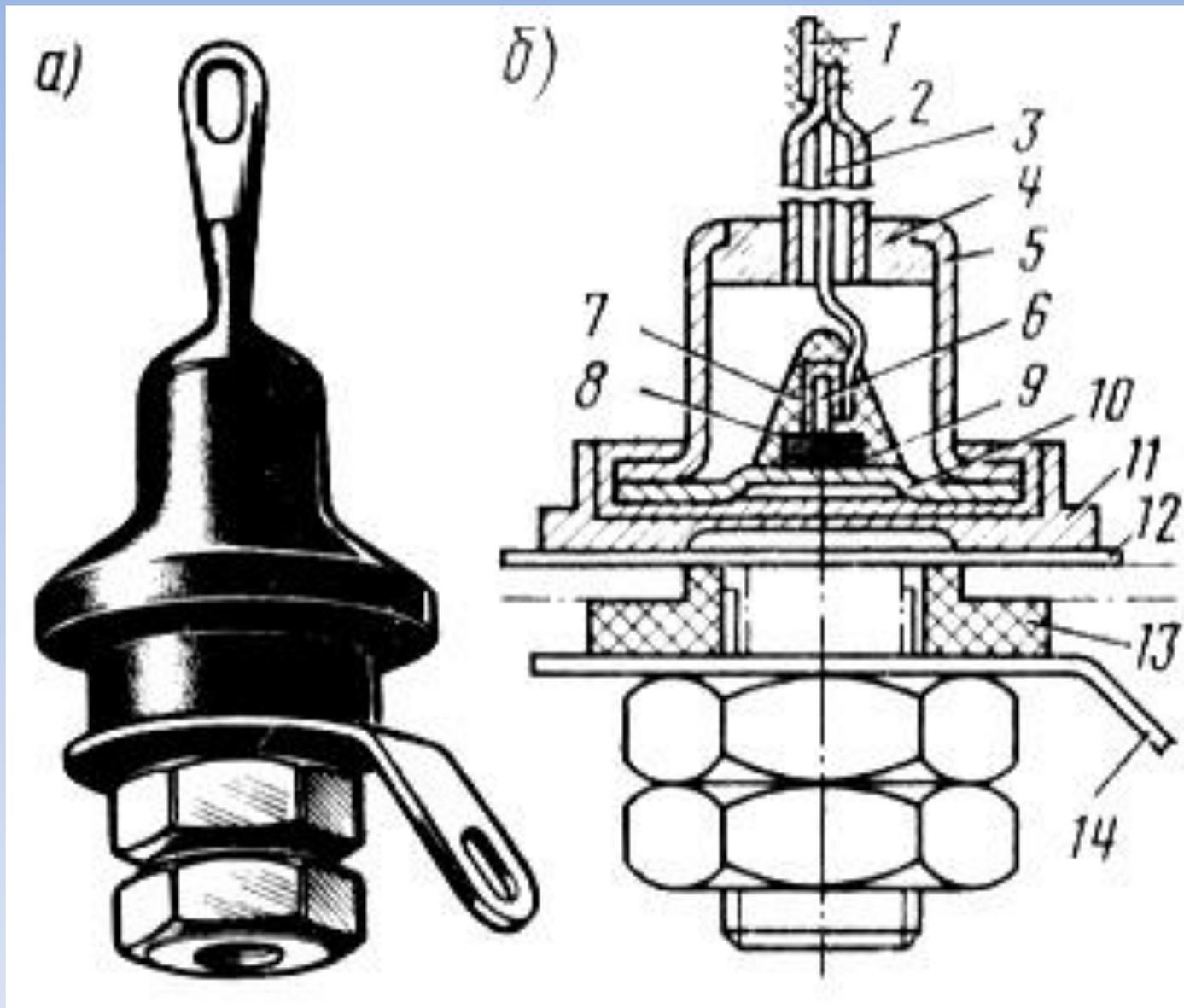
ПАРАМЕТРЫ	СЕЛЕН	ГЕРМАНИЙ	КРЕМНИЙ
ДОПУСТИМАЯ ПЛОТНОСТЬ ТОКА, А/см²	0,1	100	500
ДОПУСТИМОЕ ОБРАТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, В	60	600	1000
ОТНОСИТЕЛЬ- НЫЙ ОБЪЁМ	15	3	1

Наибольшее применение нашли кремниевые диоды:

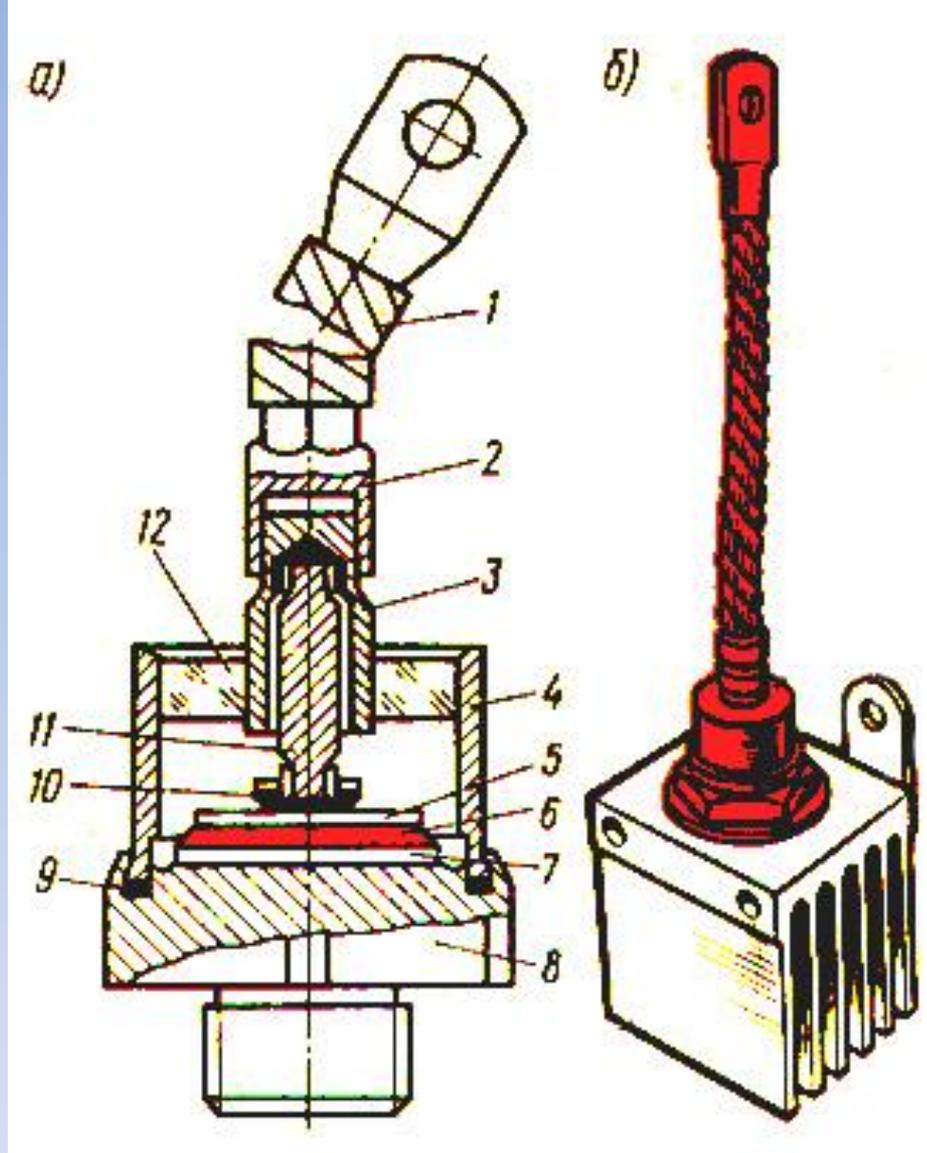
- большой допустимый прямой ток;
- большее допустимое обратное напряжение;
- большая допустимая температура (до 135°)
- меньшие габариты.

Полупроводниковые диоды применяются:

- 1) В статических выпрямителях;*
- 2) Светодиоды*
- 3) Фотодиоды*
- 4) стабилитроны*
- 5) Туннельные диоды*



КРЕМНИЕВЫЙ ДИОД СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ



СИЛОВОЙ КРЕМНИЕВЫЙ ВЕНТИЛЬ В- 200

4. Полупроводниковые стабилитроны

Обратная ветвь вольтамперной характеристики диода имеет участок, который характеризуется неизменным значением напряжения, при изменении тока в определенном диапазоне.

Такая особенность вольтамперной характеристики диода позволила разработать специальные полупроводниковые приборы – *стабилитроны*.

Они предназначены для поддержания неизменного значения напряжения на приёмнике при изменении тока нагрузки

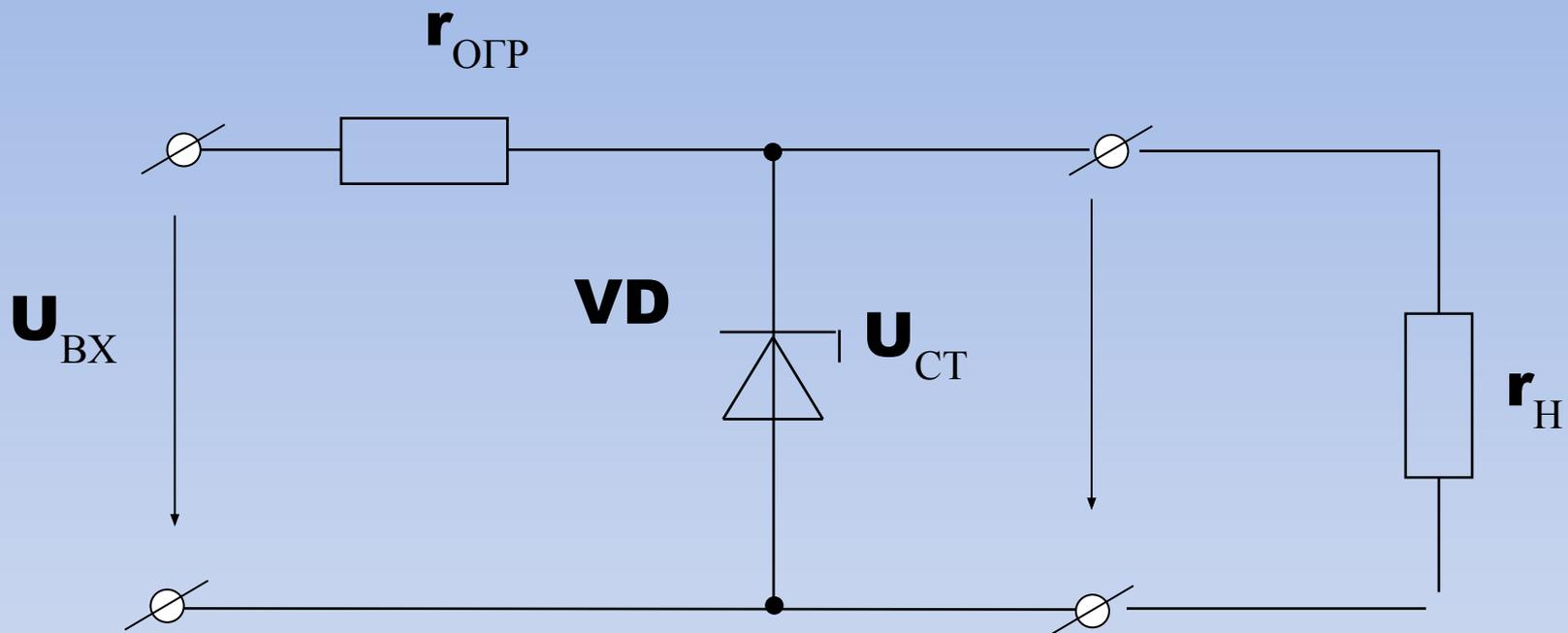
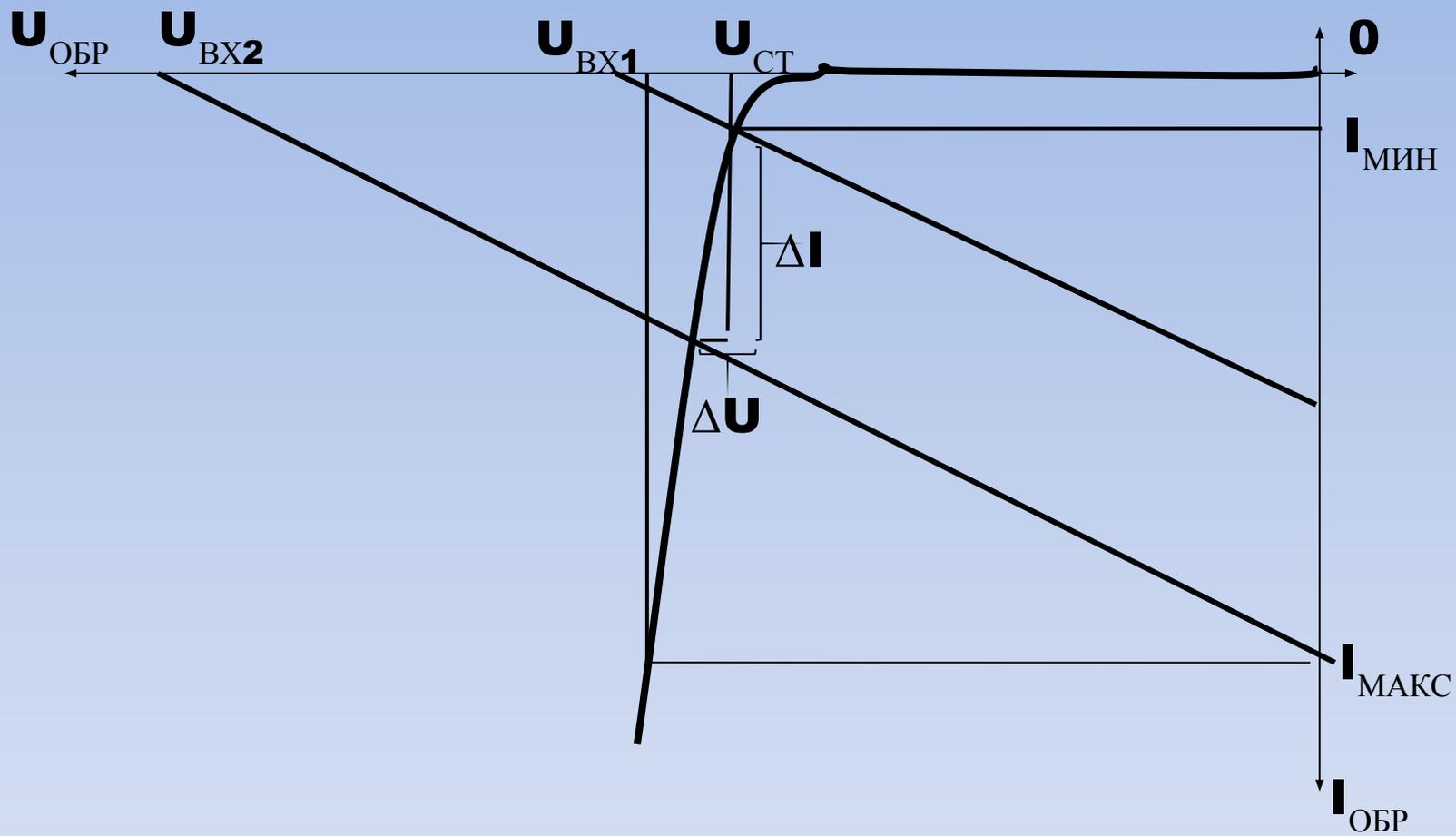


СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ СТАБИЛИТРОНА



**ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
СТАБИЛИТРОНА**

4. Биполярные транзисторы

Транзистором называется полупроводниковый прибор, состоящий из трех слоев, образующих два р-п перехода противоположного направления.

В зависимости от порядка чередования слоев Биполярные транзисторы делятся на две группы :

р-п-р или п-р-п.

Принцип действия у них одинаков.

Разность заключается в разной полярности подключения источников питания.

Транзисторы предназначены для усиления и генерирования электрических сигналов.

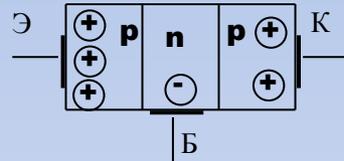
Термин **БИПОЛЯРНЫЙ ТРАНЗИСТОР** означает, что в транзисторе этого типа используются электрические заряды двух противоположных полярностей

— электроны и дырки.

.

*Устройство и принцип действия
Биполярного Транзистора (БТ)*

Рассмотрим работу БТ на примере структуры р-п-р.



Э – Эмиттер;
К – Коллектор;
Б – База.

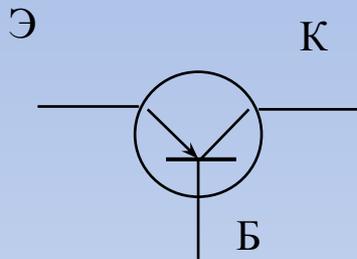
- Крайний *P*-слой, примыкающий к *p-n* переходу, включается в прямом направлении называется ЭМИТТЕРОМ (инжектирует электрические заряды, в данном случае – дырки);
- центральный слой называется БАЗОЙ;
- второй крайний слой называется КОЛЛЕКТОР (принимает заряды), включается в обратном направлении.

В цепи база-эмиттер действует малая по величине ЭДС E_B (меньше 1 В), а в цепи коллектора – большая ЭДС E_K (сотни – тысячи В).

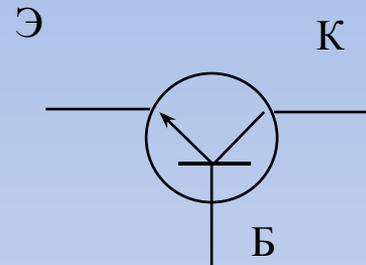
$$E_B \ll E_K$$

Условное графическое обозначение БТ

p-n-p



n-p-n



5. Три схемы включения биполярного транзистора

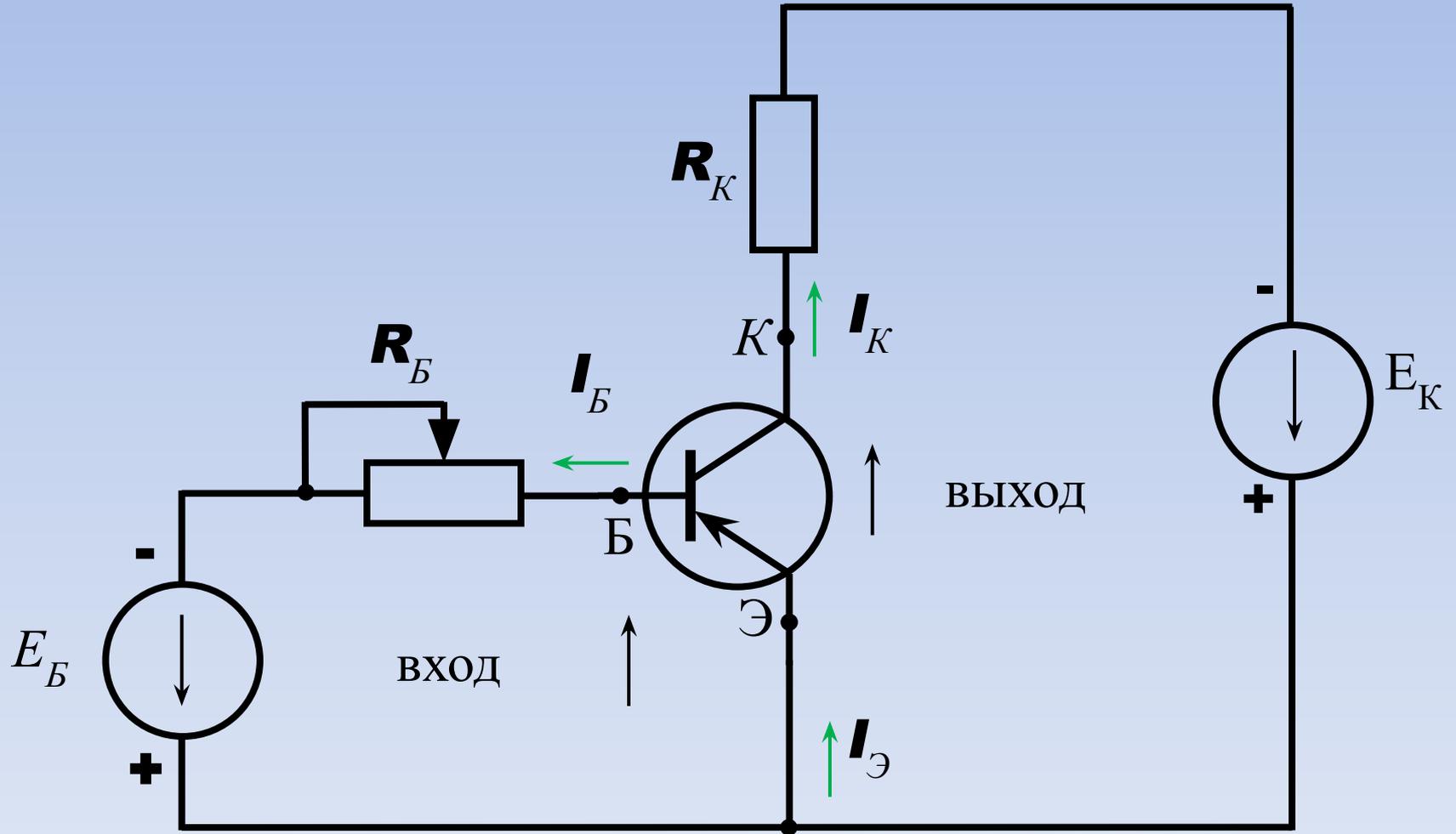
В зависимости от общего электрода для входной и выходной цепей транзистора, различают три схемы включения транзистора:

- с Общим Эмиттером (ОЭ)
- с Общим Коллектором (ОК)
- с Общей Базой (ОБ)

Наибольшим усилением по току и мощности обладает схема включения транзистора с ОЭ.

Она и получила наибольшее применение.

*Схема включения
биполярного транзистора с ОЭ*



При $R_B = \infty$ (т.е. цепь базы разорвана) $I_B = 0$

Через транзистор проходит весьма малый ток коллектора

$$I_K \approx 0$$

При $R_B \neq 0$, то $I_B \neq 0$, то первый P -слой начинает генерировать дырки, большая часть которых достигает коллектора.

Потенциальный барьер между слоями $P-n$ снижается, что резко увеличивает I_K .

$$I_{\text{Э}} = I_K + I_B$$

$$I_B \ll I_{\text{Э}} \Rightarrow I_{\text{Э}} \approx I_K$$

Это позволяет малым током базы изменять большой ток коллектора (усиливать).

Соответственно происходит усиление по мощности –

$$I_B \cdot E_B \ll I_K \cdot E_K$$

Количественные соотношения между токами и напряжениями транзистора определяются его характеристиками:

- Входные статические характеристики;
- Выходные статические характеристики;

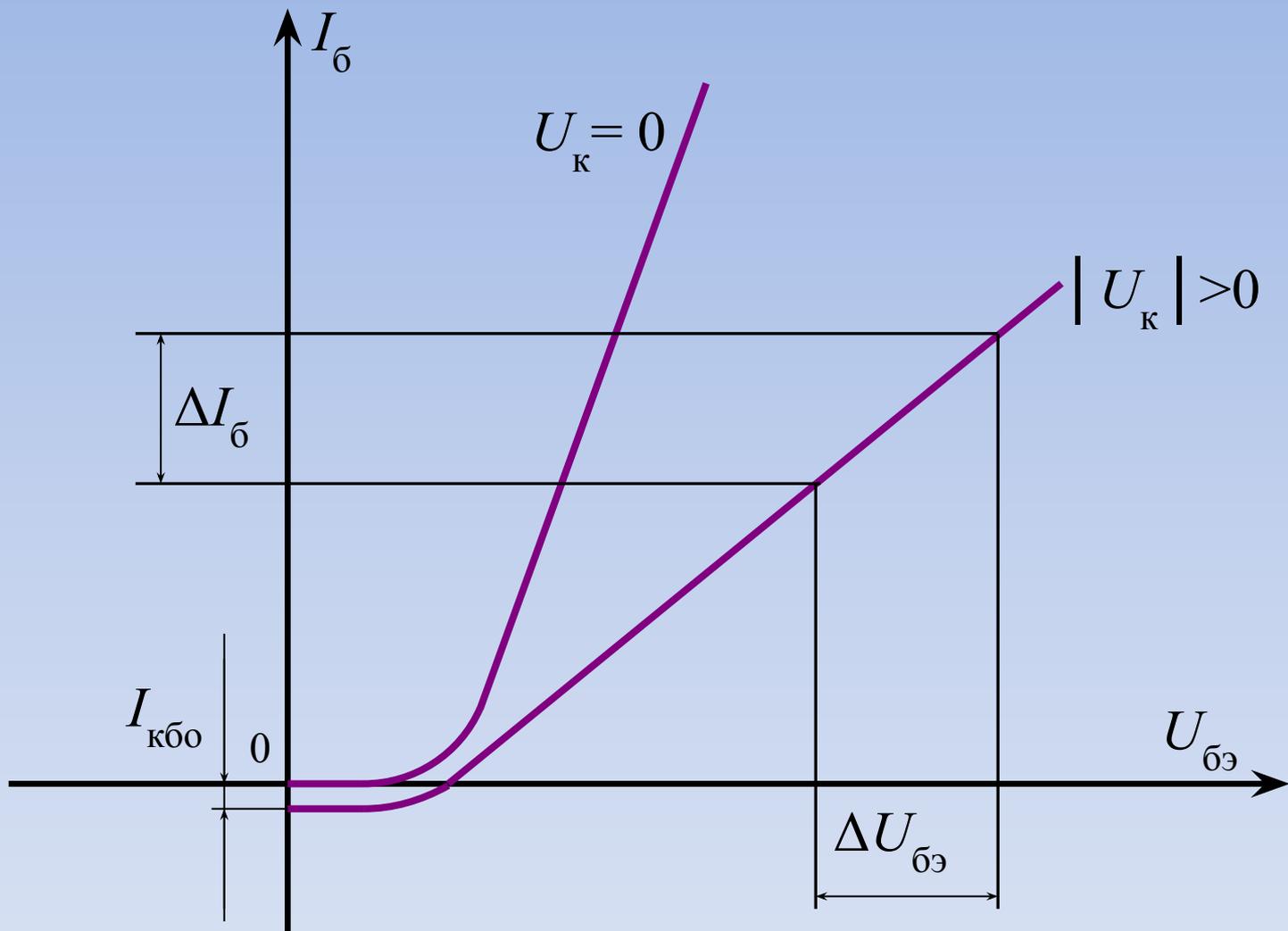
– Входная статическая характеристика БТ

называется зависимость тока базы I_b от напряжения между базой и эмиттером $U_{бэ}$ при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$, т.е.

$$I_b = f(U_{бэ}) \text{ при } U_{кэ} = \text{const} .$$

При $U_k = 0$ характеристика проходит через начало координат и представляет собой прямую ветвь вольт-амперной характеристики двух p - n переходов, включенных параллельно

При $|U_k| > |U_{кэН}|$ переход коллектор-база смещается в обратном направлении, а на переходе эмиттер-база сохраняется прямое включение p - n перехода.



ВХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРА

По входной характеристике определяется

Входное сопротивление

$$R_{BX} = \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B}$$

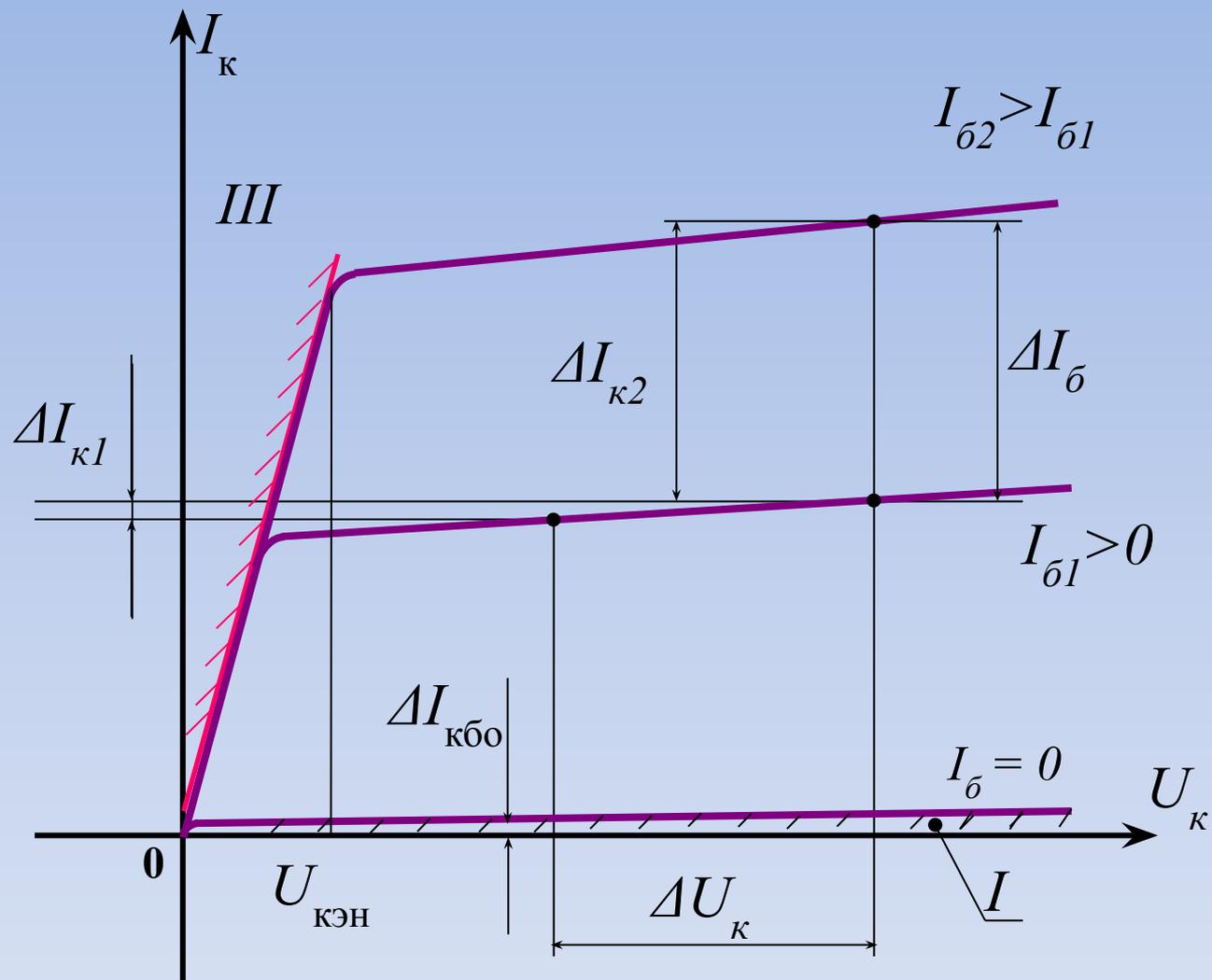
при $U_K = \text{const};$

– *Выходная статическая характеристика БТ*

называется зависимость коллекторного тока I_K от напряжения между коллектором и эмиттером $I_K = f(U_{КЭ})$, снятая при неизменном токе базы $I_B = \text{const}$.

Выходные характеристики используются

- 1) для определения выходного сопротивления;
- 2) для определения коэффициента усиления по току.



ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРА

1) Выходное сопротивление

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{\Delta U_K}{\Delta I_K}$$

при $I_B = \text{const}$;

2) Коэффициент усиления по току

$$\beta = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

при $U_K = \text{const}$;

$$\beta = 20 \times 400$$

5. Тиристор. Вольтамперная хар-ка. Сравнение с транзистором(по степени управляемости).

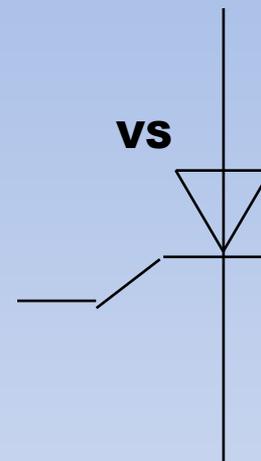
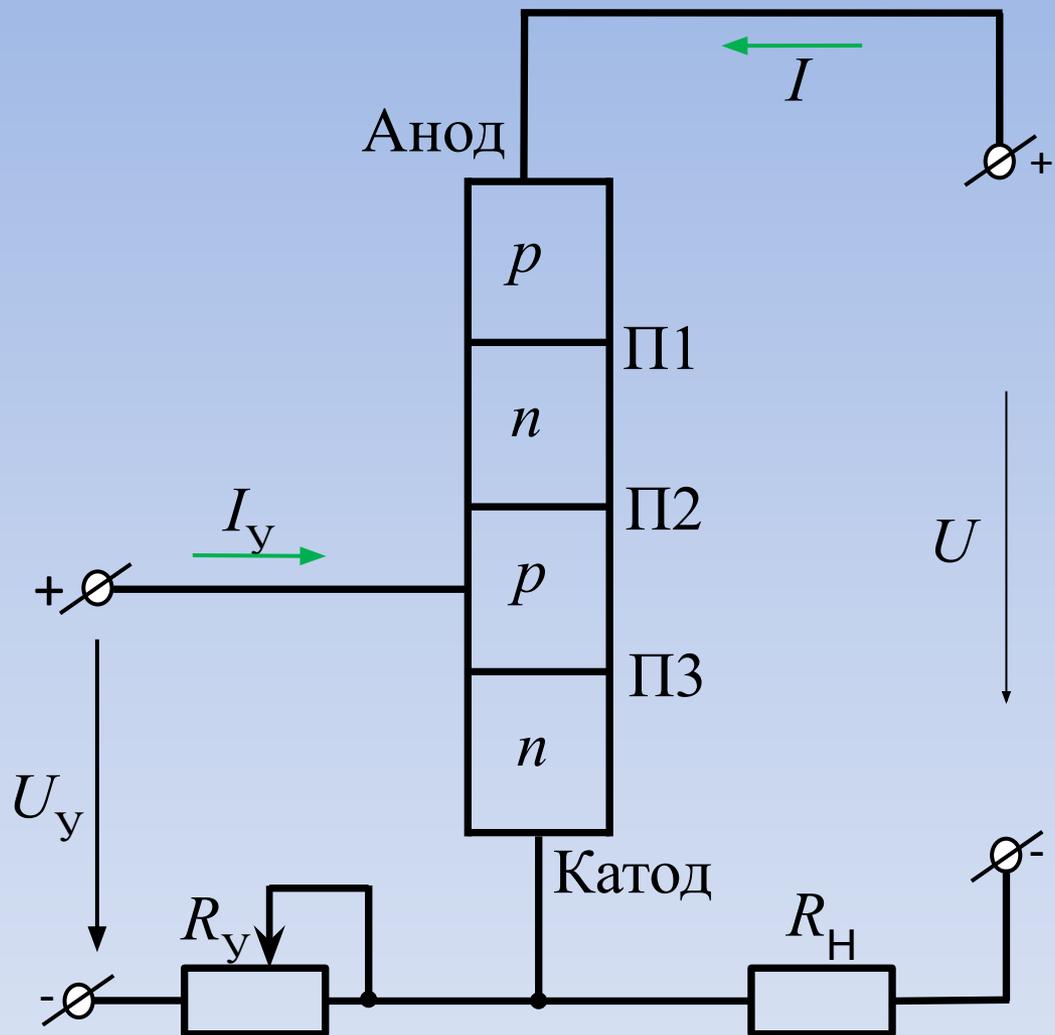
Тиристором называется полупроводниковый прибор, имеющий три или более (p-n) перехода и обладающий свойством переходить из непроводящего состояния в проводящее под действием небольшого сигнала управления.

- в непроводящем состоянии (закрытом) тиристор имеет высокое сопротивление;

- в проводящем состоянии (открытом) тиристор имеет низкое сопротивление.

В отличие от транзисторов тиристоры могут применяться в устройствах значительно большей мощности.

Тиристор имеет четырехслойную структуру (p-n-p-n)



СТРУКТУРА ТИРИСТОРА

А – Анод – примыкающий к крайнему (р) слою вывод;

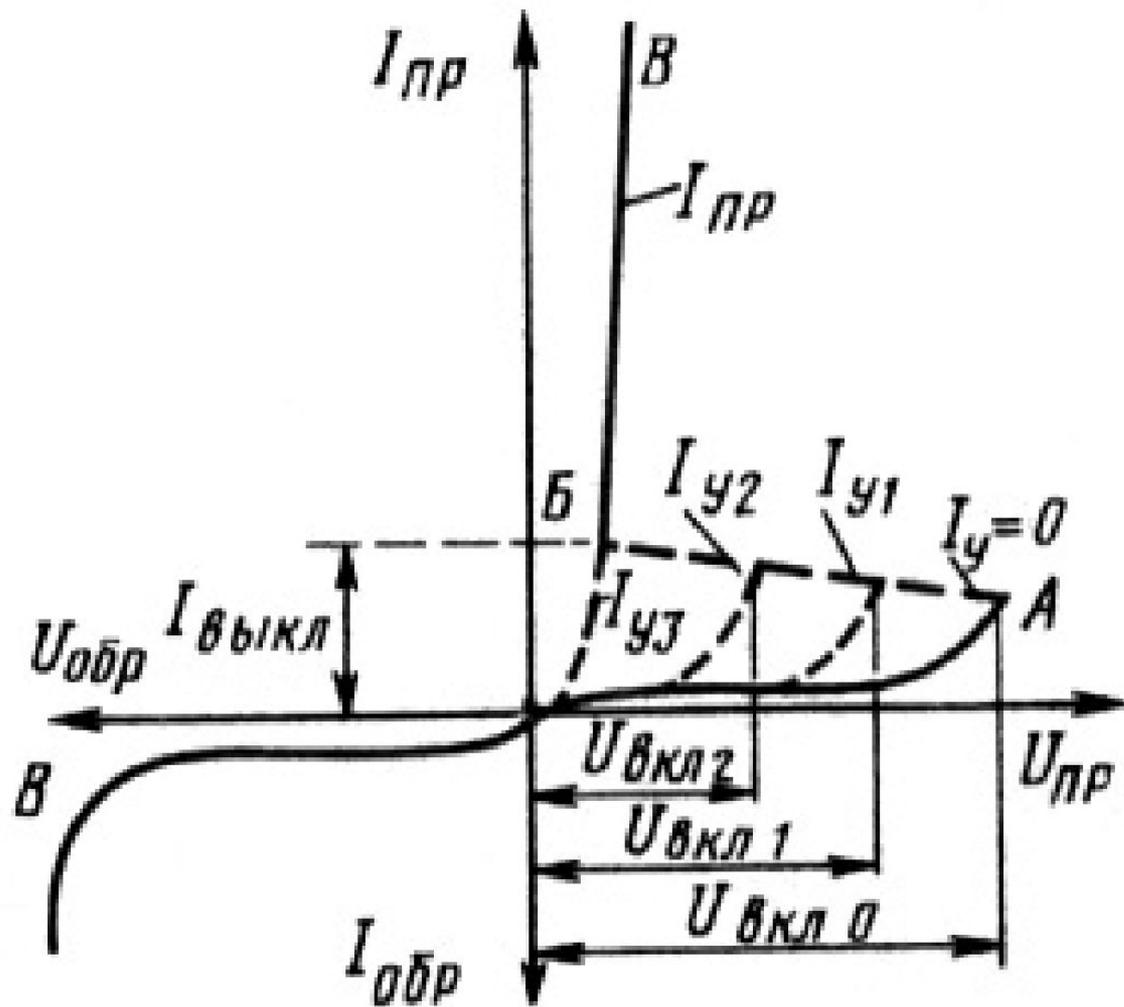
К – Катод – примыкающий к крайнему (n) слою вывод.

У – Управляющий электрод

По отношению к основному источнику

– переходы П1 и П3 включены в прямом направлении;

– переход П2 включен в обратном направлении.



ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТИРИСТОРА

- 1) Если управляющий сигнал отсутствует, т.е. $I_y = 0$; то ток в цепи нагрузки практически отсутствует, т.к. тиристор находится в непроводящем состоянии.
- 2) Однако, при подаче положительного электрического сигнала управления, сопротивление перехода П2 резко уменьшается и тиристор переходит в проводящее состояние.

Если теперь снять управляющий сигнал (сделать $I_y = 0$), то тиристор не закроется.

Чтобы перевести тиристор в непроводящее состояние необходимо уменьшить ток в цепи нагрузки до определенной величины, называемой током удержания (выключения) ($I_{уд}$).

После окончания кратковременных процессов в цепи управления тиристор может находиться только в двух состояниях – открытом и закрытом.

В открытом состоянии напряжение между анодом и катодом тиристора составляет около 1,5 В. Время отпирания составляет несколько микросекунд. Время запираания в несколько раз больше.

Тепловые потери могут вызвать значительный нагрев тиристора. Поэтому в тиристорных устройствах предусматривают систему охлаждения с помощью радиаторов, охлаждаемых естественной конвекции воздуха или принудительного обдува вентилятором.

В настоящее время выпускаются запираемые по управляющему входу тиристоры (GTO). Однако их ток запираения соизмерим с током нагрузки, что является существенным недостатком таких запираемых тириستоров.

По сравнению с транзисторами, время выключения тиристоров (десятки микросекунд) существенно больше времени запираения транзисторов. Это существенно снижает быстродействие электронной аппаратуры, выполненной на тиристорах.

Максимальная мощность современных транзисторов приближается к мощности тиристоров.

Тиристоры применяются:

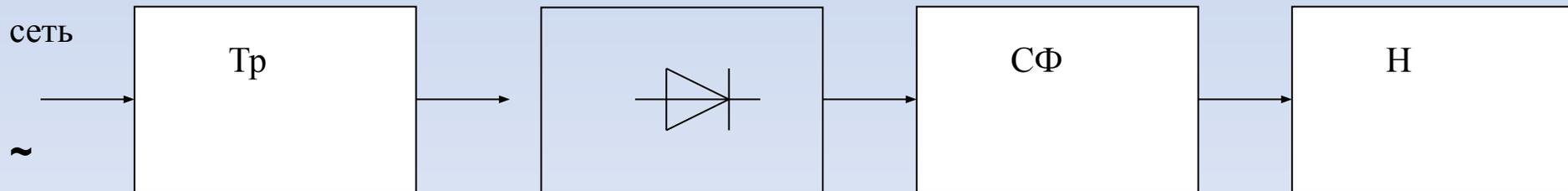
- в преобразователях частоты;*
- в инверторах напряжения;*
- в управляемых выпрямителях;*
- в широтно-импульсных преобразователях постоянного напряжения.*

6. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ (ПВ)

ПВ предназначены для преобразования переменного тока в постоянный (обеспечивают протекание тока только в одном направлении).

ТИПИЧНАЯ БЛОК-СХЕМА ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

(4 прямоугольника, каждый обозначает элемент установки, включая нагрузку)



Трансформатор предназначен для изменения напряжения питающей сети до величины, которая обеспечивает требуемое выпрямленное напряжение.

Выпрямленное напряжение имеет переменную составляющую, называемую пульсации.

Для уменьшения пульсаций между диодами и нагрузкой включается сглаживающий фильтр (СФ);

В зависимости от числа фаз питающей сети, характера нагрузки (Н), а также требований к выпрямленному току Диоды соединяются в различные системы.

