

Лекция 2

Полупроводниковые диоды

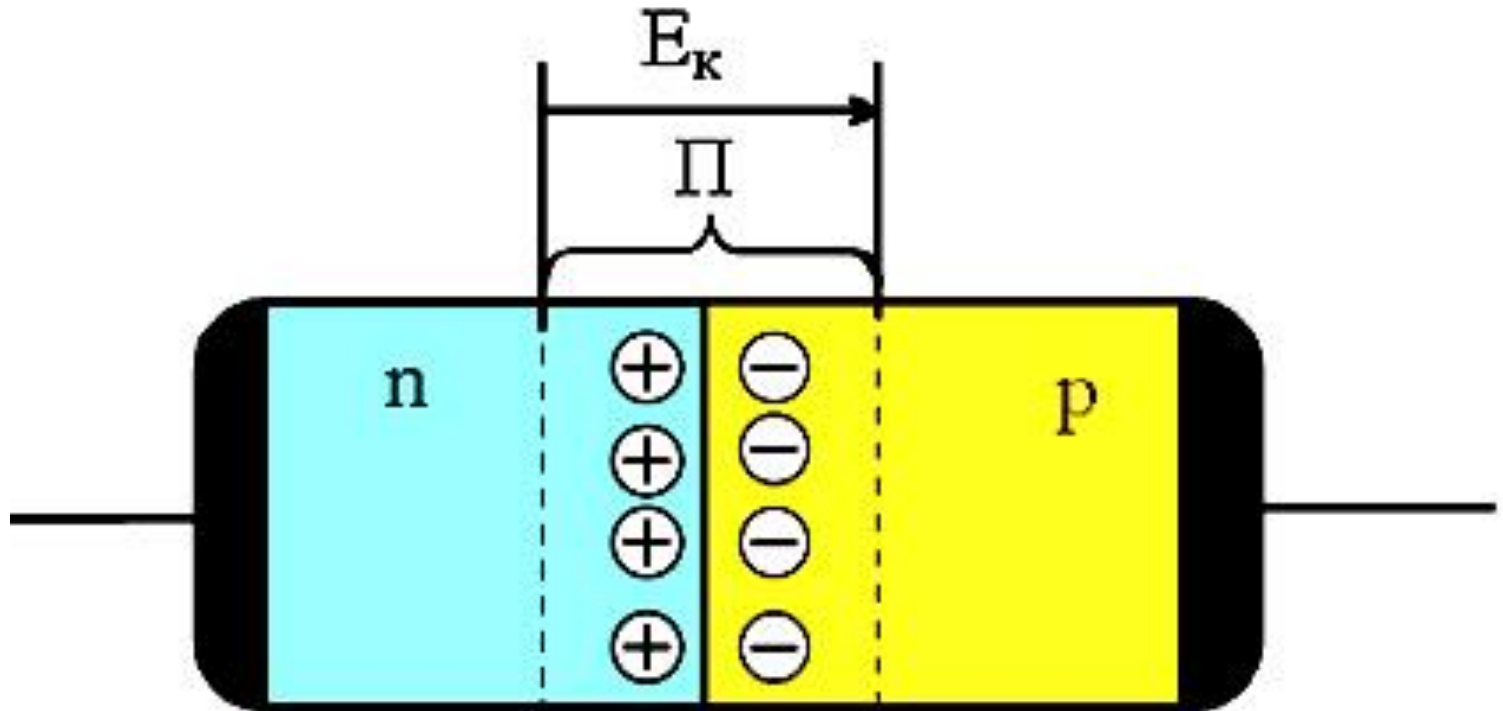
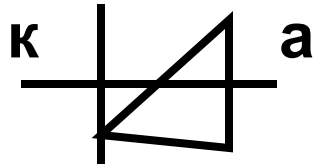
**Типы диодов, принципы работы,
параметры и характеристики**

То, что мы знаем,— ограничено, а то, чего мы не знаем,— бесконечно.

Лаплас



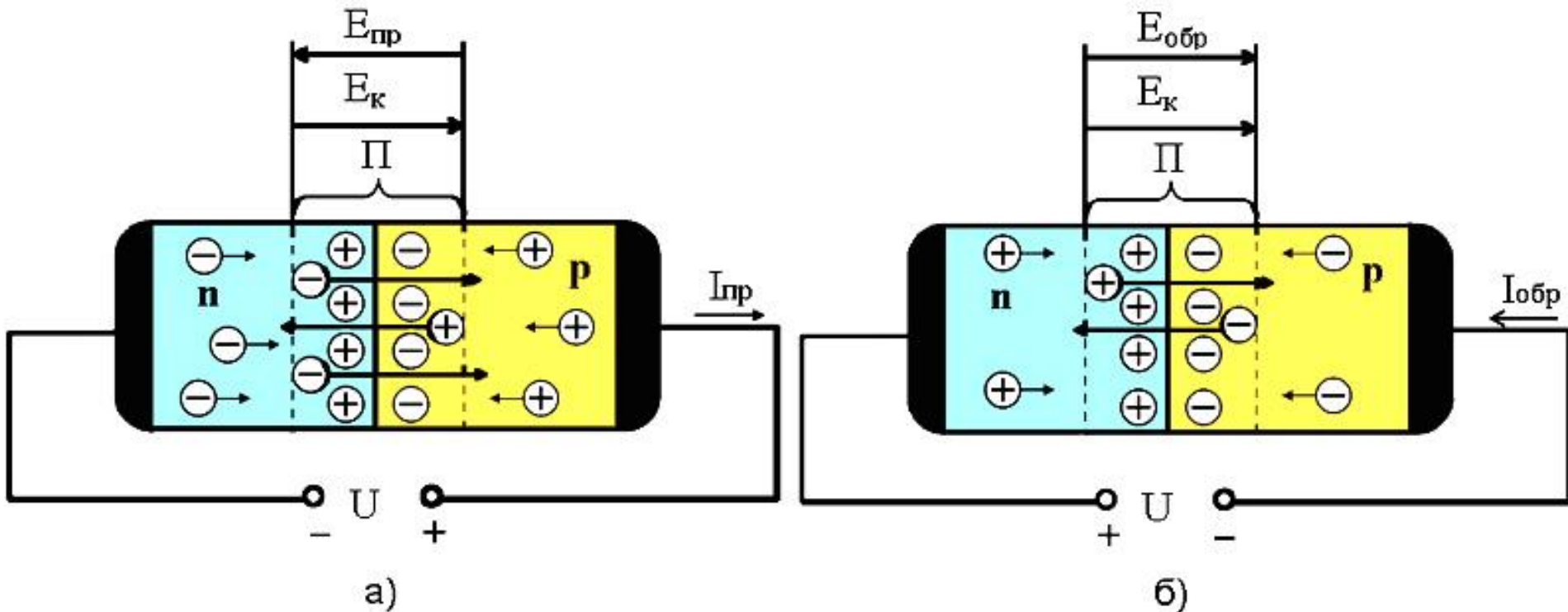
Принцип работы полупроводникового диода



Распределение объемных зарядов **p-n**-перехода при отсутствии внешнего напряжения



Принцип работы полупроводникового диода



Процессы в **p-n**-переходе диода:

а) – при прямом напряжении, б) – при обратном напряжении



Тепловой ток

$$I_0(T) = I_0 \cdot 2^{\frac{(T-T_0)}{\Delta T}}$$

где I_0 - значение теплового тока при комнатной температуре $T_0 = 300$ К; ΔT - значение приращения температуры, соответствующее удвоению значения теплового тока. Значение ΔT зависит от материала полупроводника и составляет примерно 10 К для германия и 7 К для кремния.



Вольт-амперная характеристика (ВАХ) диода

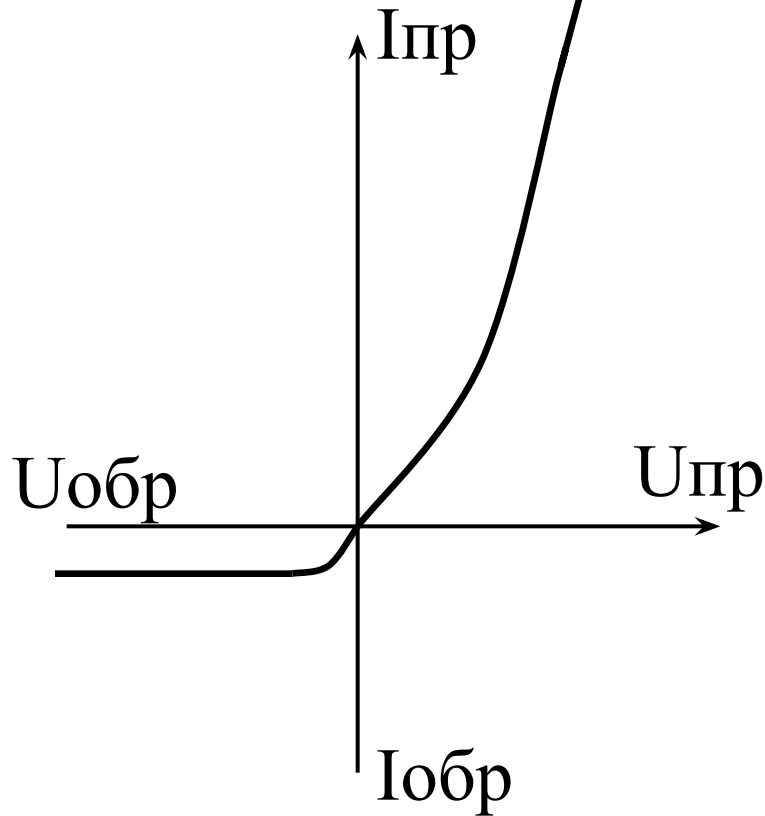
$$I = I_0 [\exp(U_D / \varphi_T) - 1]$$

где U_D - напряжение на p-n-переходе;
 $\varphi_T = kT/q$ - тепловой потенциал, равный
контактной разности потенциалов φ_K
на границе p-n-перехода при
отсутствии внешнего напряжения (при
 $T=300$ К, $\varphi_T = 0.025$ В); k - постоянная
Больцмана; T - абсолютная
температура; q - заряд электрона.

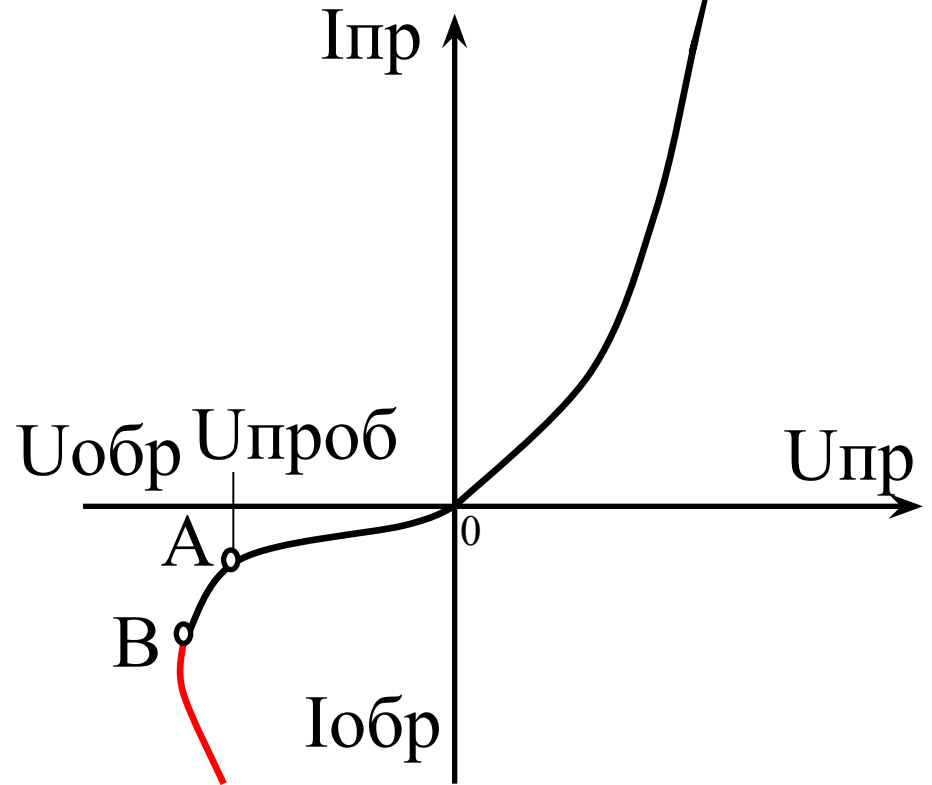


Вольт-амперные характеристики

идеального диода



реального диода



Обратная ветвь характеристики

$$I_{обр} = I_0 + I_{ген} + I_{ут.}$$

$I_{ут}$ – ток утечки

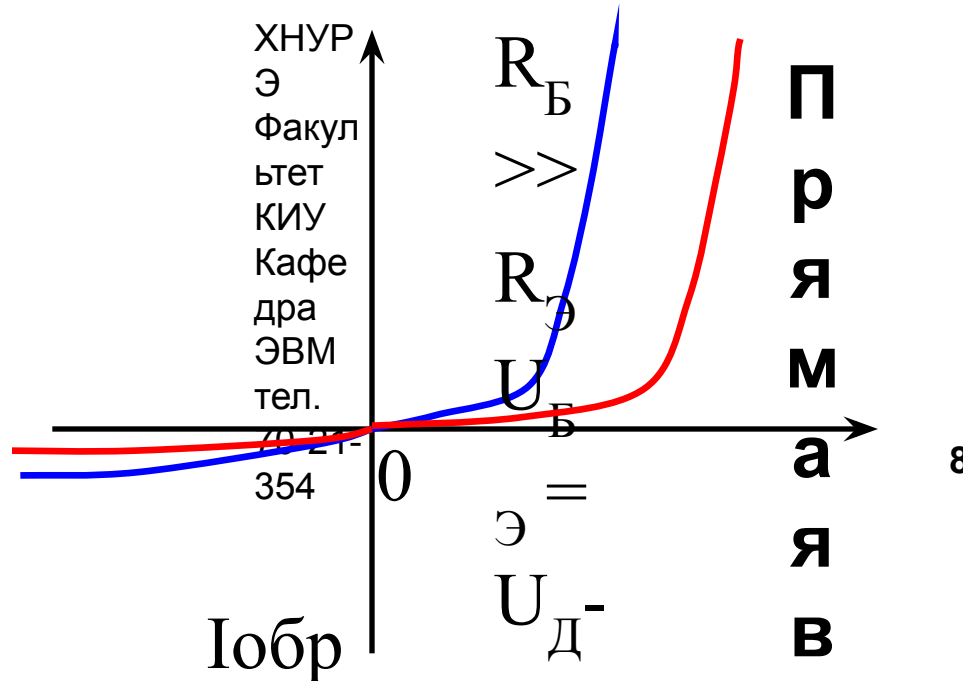
$I_{ген}$ – ток генерации

для германия $I_{ген}/I_0 \ll 1$.

для кремния $I_{ген}/I_0 = 1000$



Прямая ветвь



**П
р
я
м
я
в
ет
в
ь**

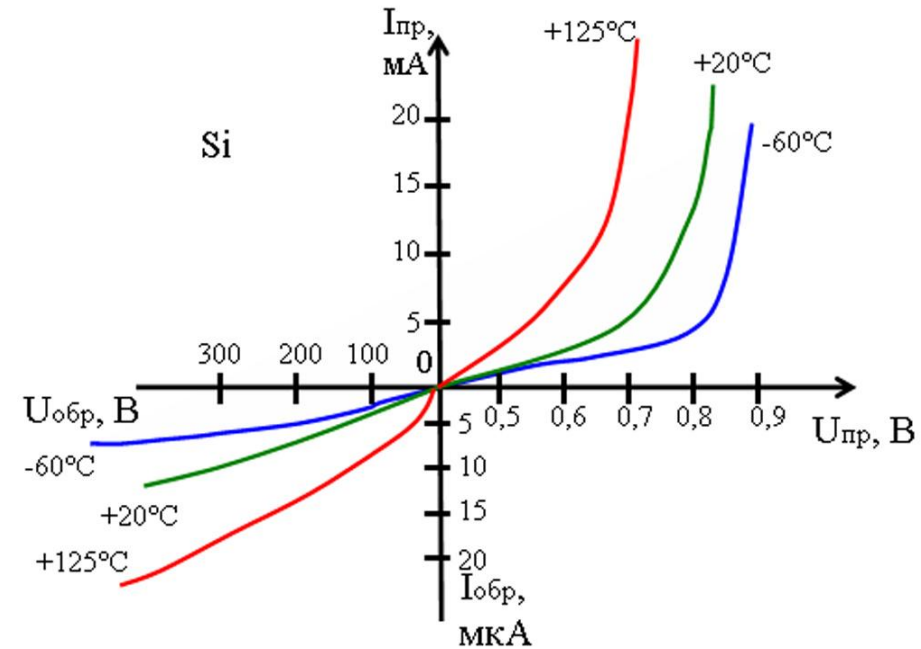
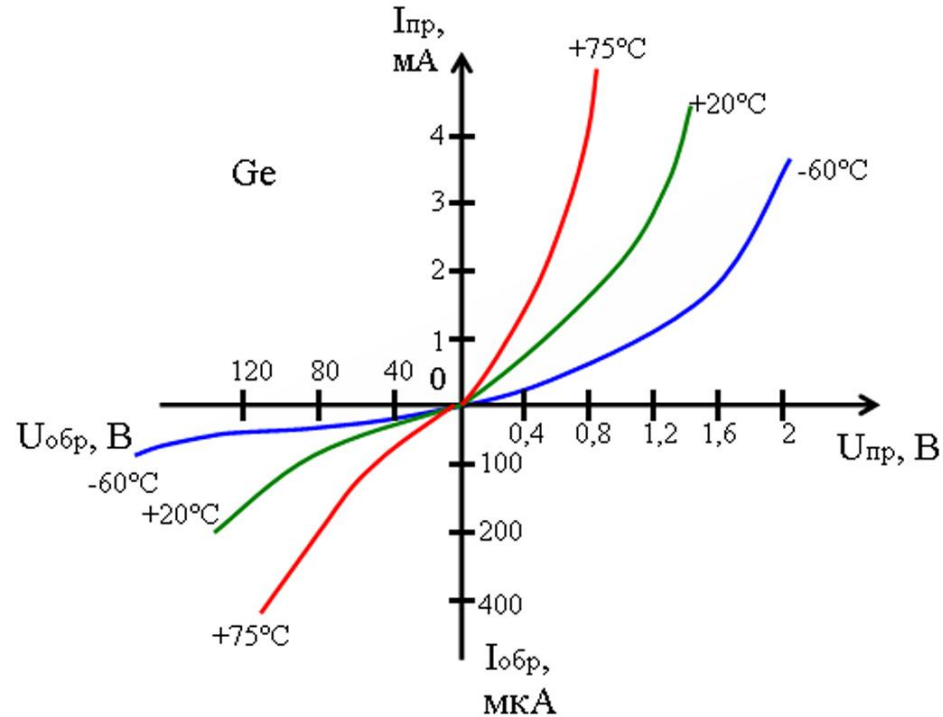
$$R_B \gg R_{\text{Э}} \quad U_{\text{БЭ}} = U_{\text{Д}} - IR_B$$

$$U = \varphi_T \ln(I/I_{\text{ОБР}}) + IR_B$$

При $I \gg I_{\text{ОБР}}$ - линейная зависимость $U = IR_B$

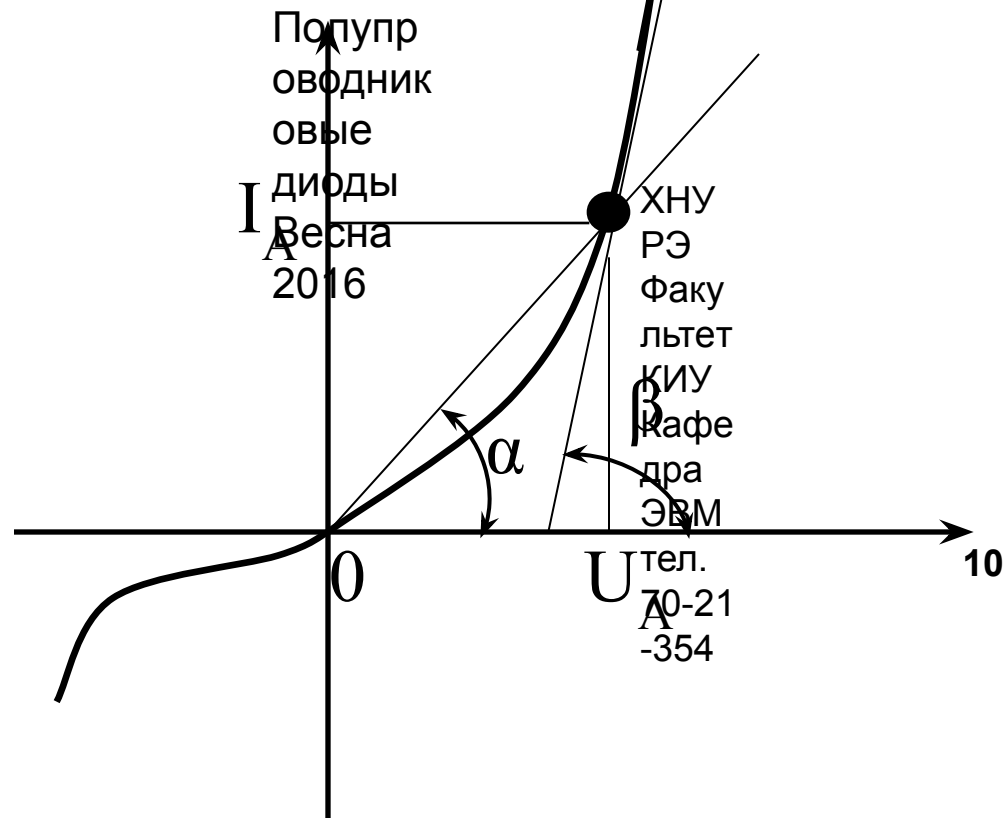


Зависимость ВАХ от температуры



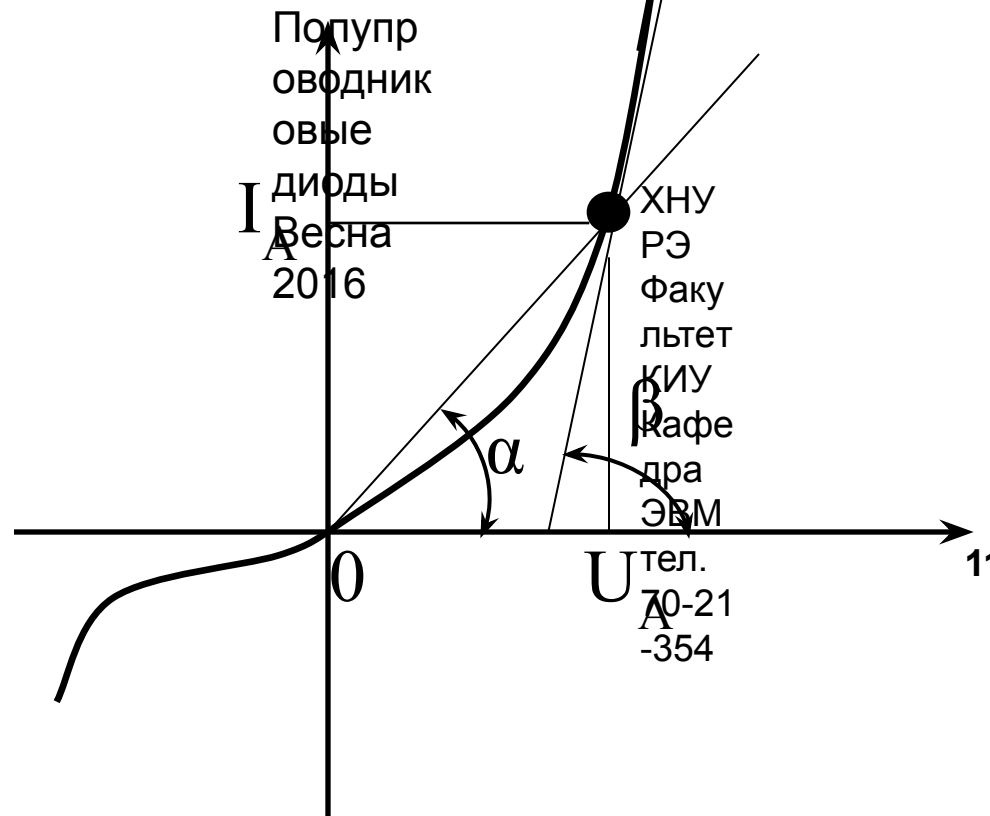
Дифференциальное сопротивление диода

$$r_D = dU/dI = \Delta U/\Delta I = (m_U/m_I) \operatorname{ctg} \beta$$



Статическое сопротивление диода

$$R_{ст} = U_A / I_A = (m_U / m_I) \operatorname{ctg} \alpha.$$



Емкости диода

$$C_D = C_{\text{диф}} + C_{\text{зар}} + C_k$$

$C_{\text{диф}} = \Delta Q / \Delta U$ - диффузионная емкость

При прямом напряжении

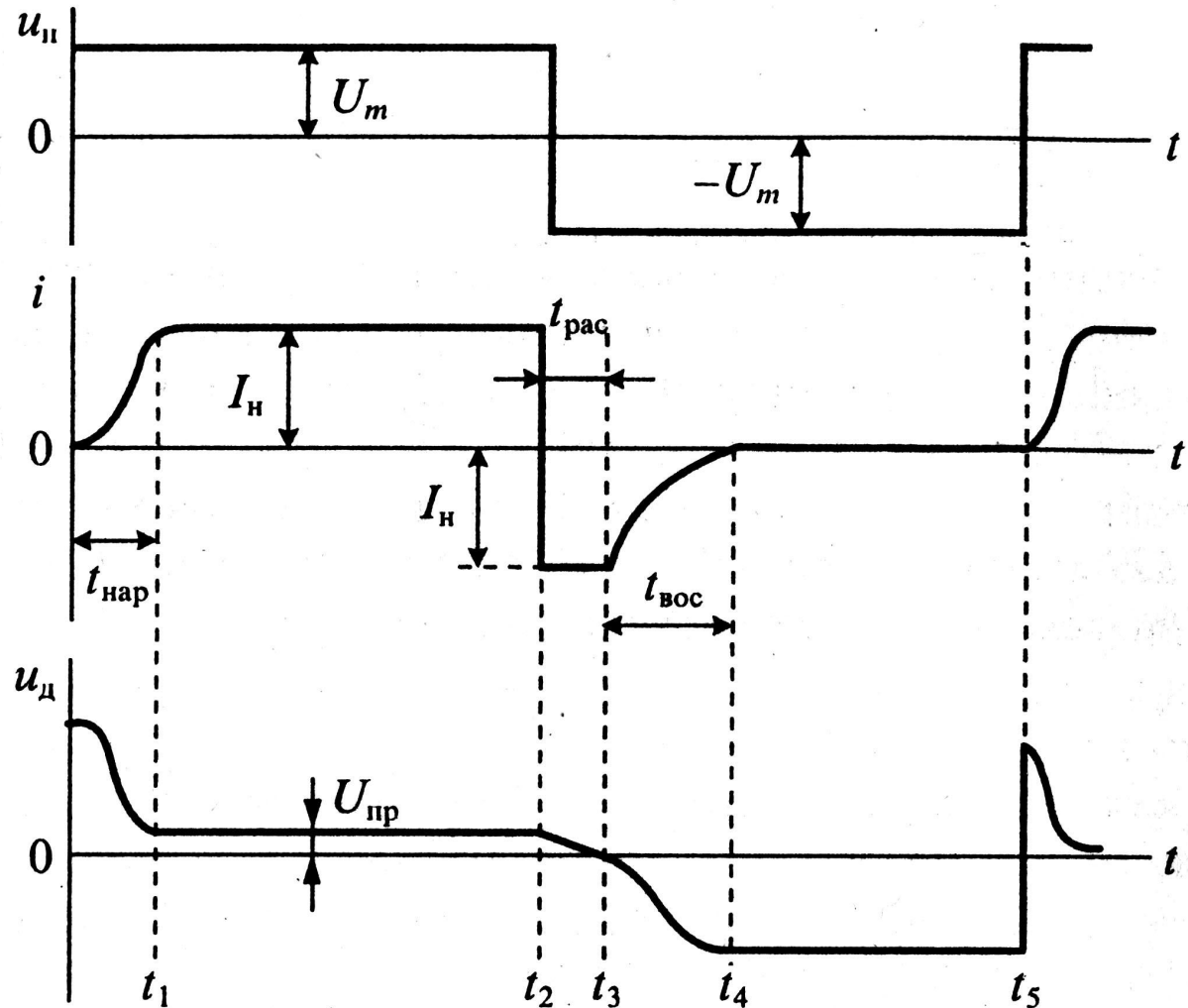
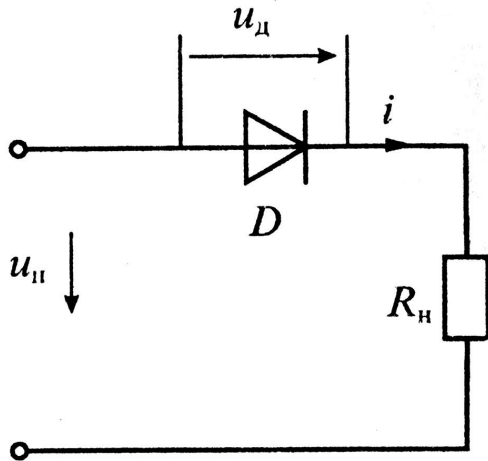
$$C_D = C_{\text{диф}} + C_k$$

При обратном напряжении

$$C_D = C_{\text{зар}} + C_k$$

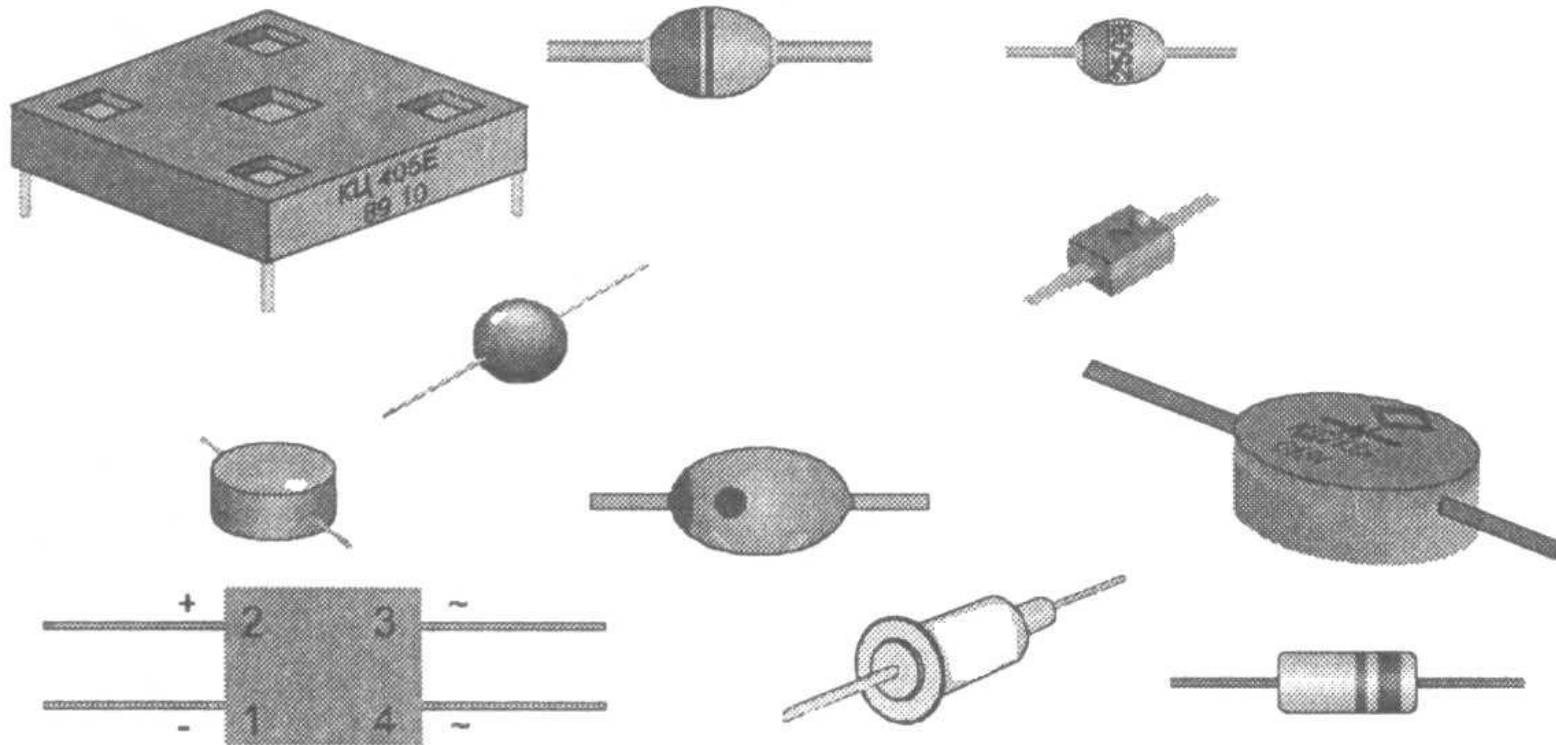


Импульсный режим работы диода



Виды диодов

Выпрямительные диоды



Основные параметры выпрямительных диодов

Постоянное прямое напряжение $U_{пр}$

(постоянное напряжение на диоде при заданном постоянном прямом токе).

Постоянное обратное напряжение $U_{обр}$

(постоянное напряжение, приложенное к диоду в обратном направлении)



Основные параметры выпрямительных диодов

Постоянный прямой ток $I_{пр}$

(постоянный ток, протекающий через диод в прямом направлении).

Постоянный обратный ток $I_{обр}$

(постоянный ток, протекающий через диод в обратном направлении при заданном обратном напряжении)



Основные параметры выпрямительных диодов

Средний прямой ток $I_{пр.ср.}$

(среднее за период значение прямого тока диода).

Средний выпрямленный ток $I_{вп.ср.}$

(среднее за период значение прямого и обратного токов)



Предельно допустимые параметры:

Максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{обр.мах}$

Максимально допустимый прямой ток $I_{пр.мах}$

Максимально допустимая средняя мощность рассеивания $P_{ср.мах}$



Классификация диодов по допустимой мощности рассеивания

Малой мощности - $I_{пр}$ до 0.5А

Средней мощности - $I_{пр}$ 1-5 А

Большой мощности - $I_{пр}$ 5- 10 А



Типы корпусов



TO-247AC



DO-5



TO-220AB



TO-220AC



PowIRtab™



PowIRtab™ (short)



TO-262



DO-201AD



DO-204AL



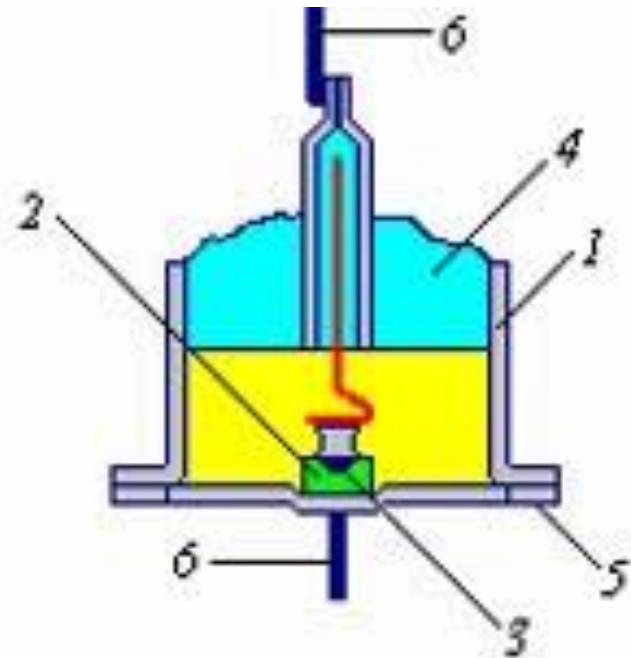
DO-204AR



Выпрямительные диоды

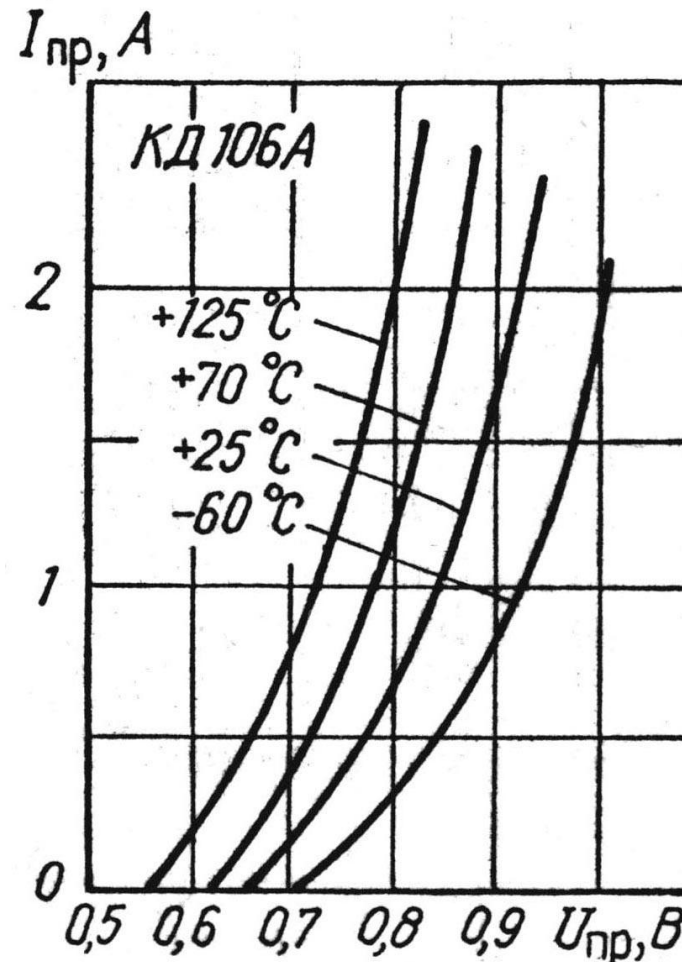
Устройство германиевого выпрямительного диода

- 1 – корпус
- 2 – кристалл Ge
- 3 – p-n переход
- 4 – стеклянный изолятор
- 5 – кристаллодержатель
- 6 - выводы



Выпрямительные диоды

Пример ВАХ выпрямительного диода



Высокочастотные диоды

Применяются для выпрямления токов в широком диапазоне частот, для модуляции, детектирования сигналов и других нелинейных преобразований.



Высокочастотные диоды

Основные параметры:

$I_{пр}$ - Постоянный прямой ток при прямом напряжении 1В;

Δt - Диапазон рабочих температур;

$I_{пр.max}$ - Максимально допустимый прямой ток;

C_d - Общая емкость диода;

$I_{обр}$ - Максимально допустимый обратный ток;

$U_{обр.max}$ - Максимально допустимое постоянное обратное напряжение

f_{max} - Максимальная рабочая частота



Импульсные диоды

Основные параметры

- Импульсное прямое напряжение диода $U_{пр.и}$ - наибольшее мгновенное значение прямого напряжения, обусловленное импульсным прямым током диода заданной величины;
- Импульсное обратное напряжение диода $U_{обр.и}$ - мгновенное значение обратного напряжения диода
- Импульсный прямой ток $I_{пр.и}$ - Наибольшее мгновенное значение прямого тока диода.



Импульсные диоды

Основные параметры

- Общая емкость диода

C_D - значение емкости между выводами диода при заданном режиме;

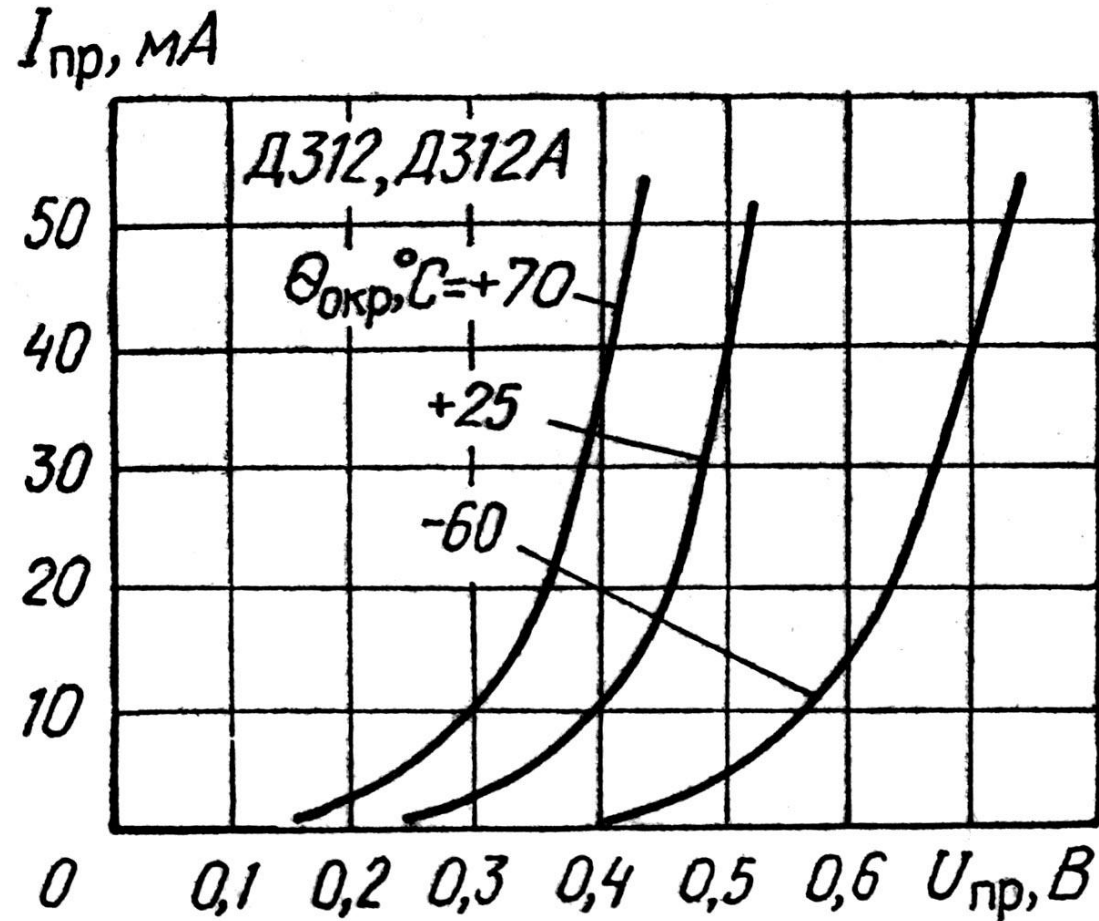
$t_{\text{ВОС.ПР}}$ - Время прямого восстановления диода – время, в течении которого происходит включение диода

$t_{\text{ВОС.ОБР}}$ - Время обратного восстановления диода - время переключения диода с заданного прямого тока на заданное обратное напряжение.



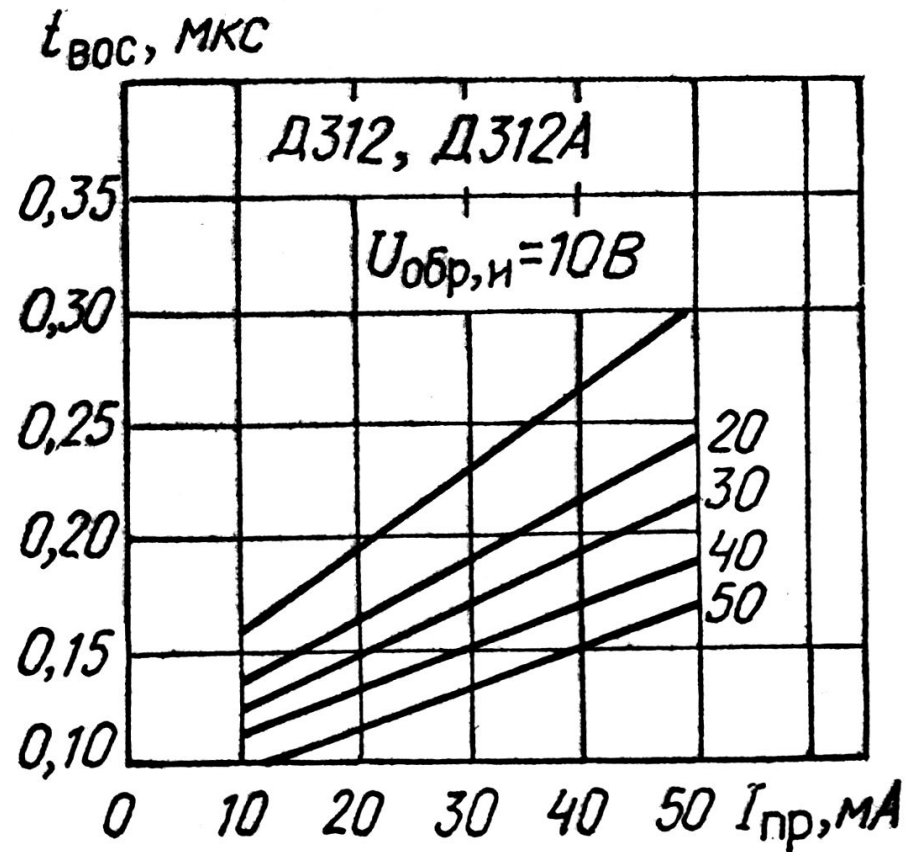
Импульсные диоды

Примеры характеристик



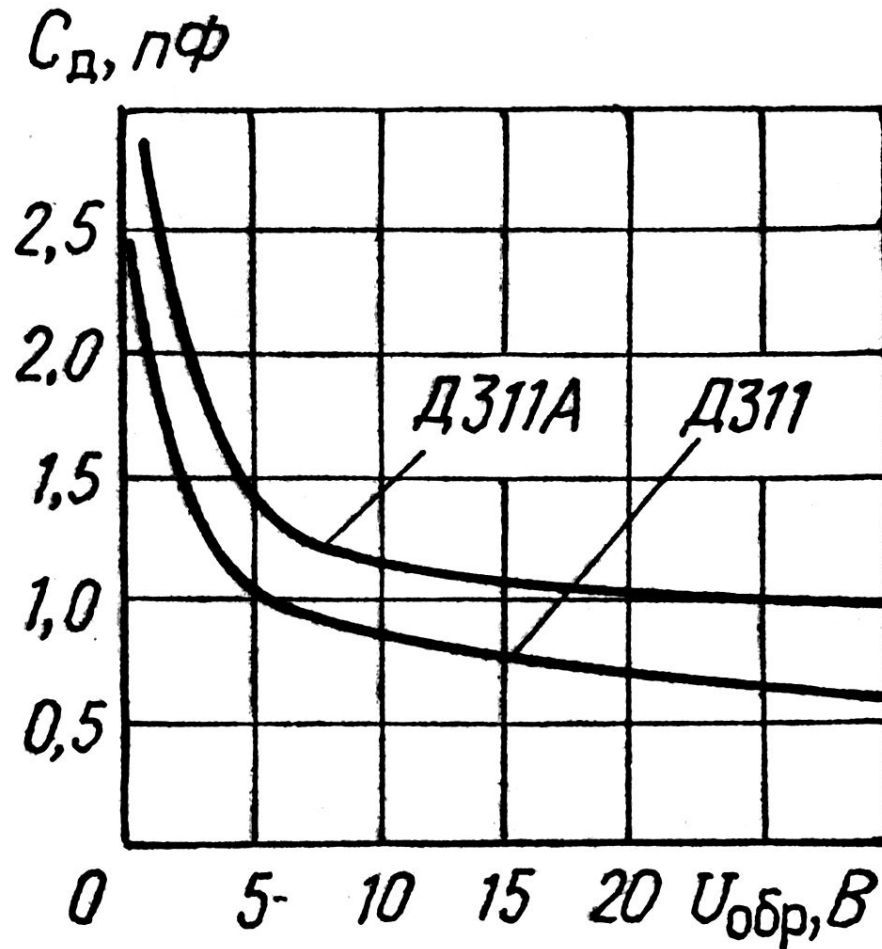
Импульсные диоды

Примеры характеристик



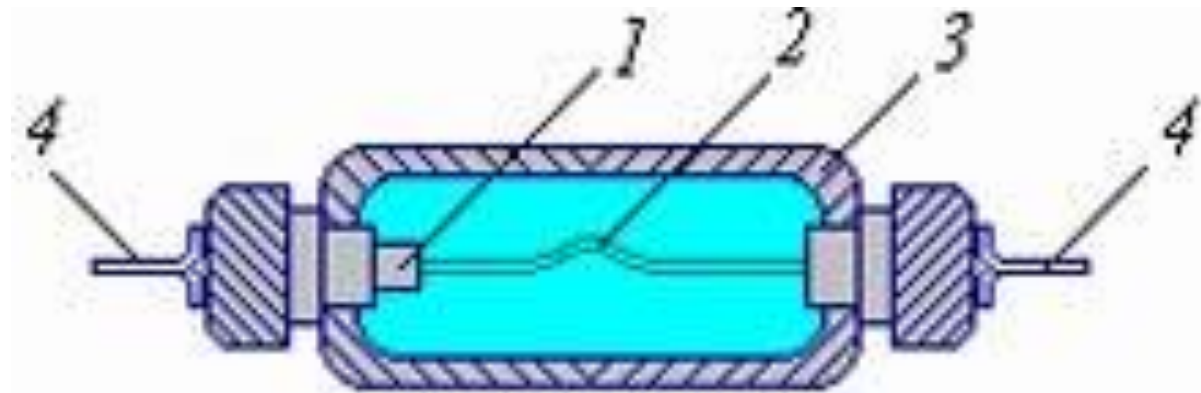
Импульсные диоды

Примеры характеристик



Импульсные диоды

Устройство германиевого импульсного диода

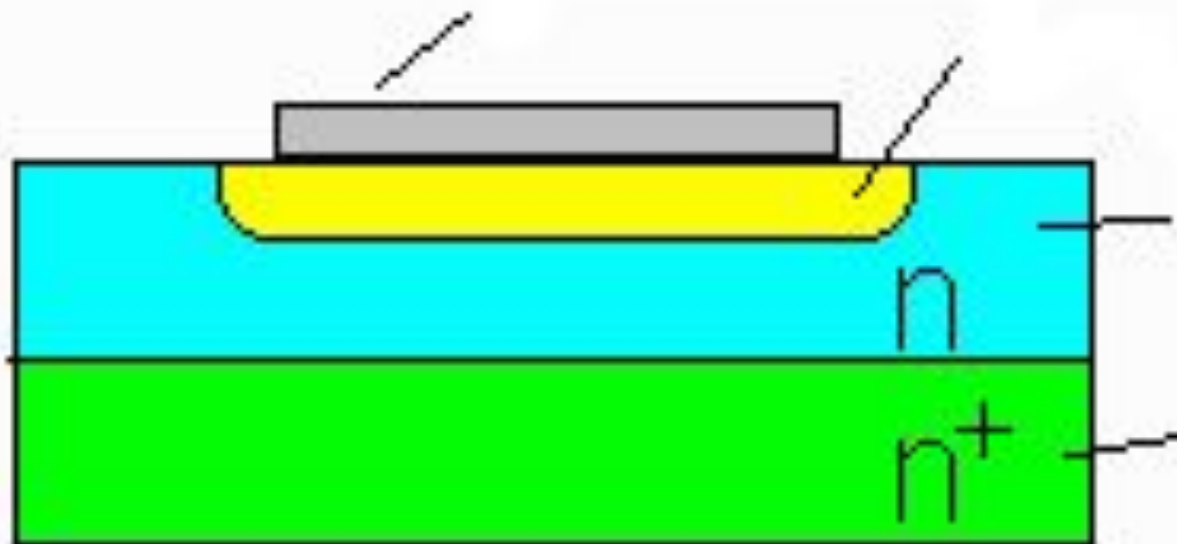


1- кристалл Ge

2 – вольфрамовая игла

3 – стеклянный корпус 4 - выводы

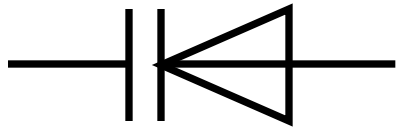
Диоды Шоттки



- 1- Низкоомный n-слой
- 2- Высокоомный n-слой
- 3- Запирающий слой
- 4- Металлический контакт



Варикап



$$C_U = C_0 \cdot \left[\frac{\varphi_K}{\varphi_K + U} \right]^{\frac{1}{n}}$$

C_U – емкость диода при обратном напряжении U

C_0 – емкость диода при нулевом обратном напряжении

φ_K – контактный потенциал

n – коэффициент, зависящий от типа варикапа



Основные параметры варикапов

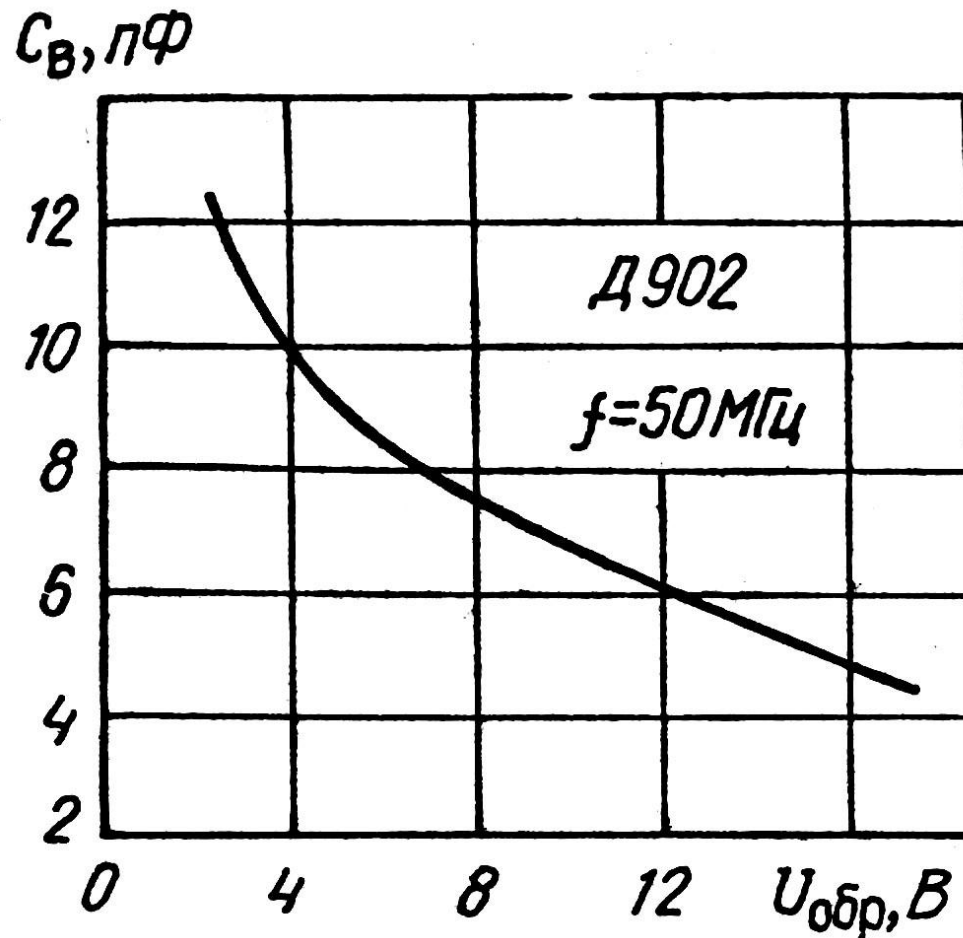
Общая емкость варикапа C_V (емкость варикапа при заданном обратном напряжении)

Коэффициент перекрытия по емкости $K_C = C_{VMAX} / C_{VMIN}$ (отношение общих емкостей варикапа при двух заданных значениях обратного напряжения)

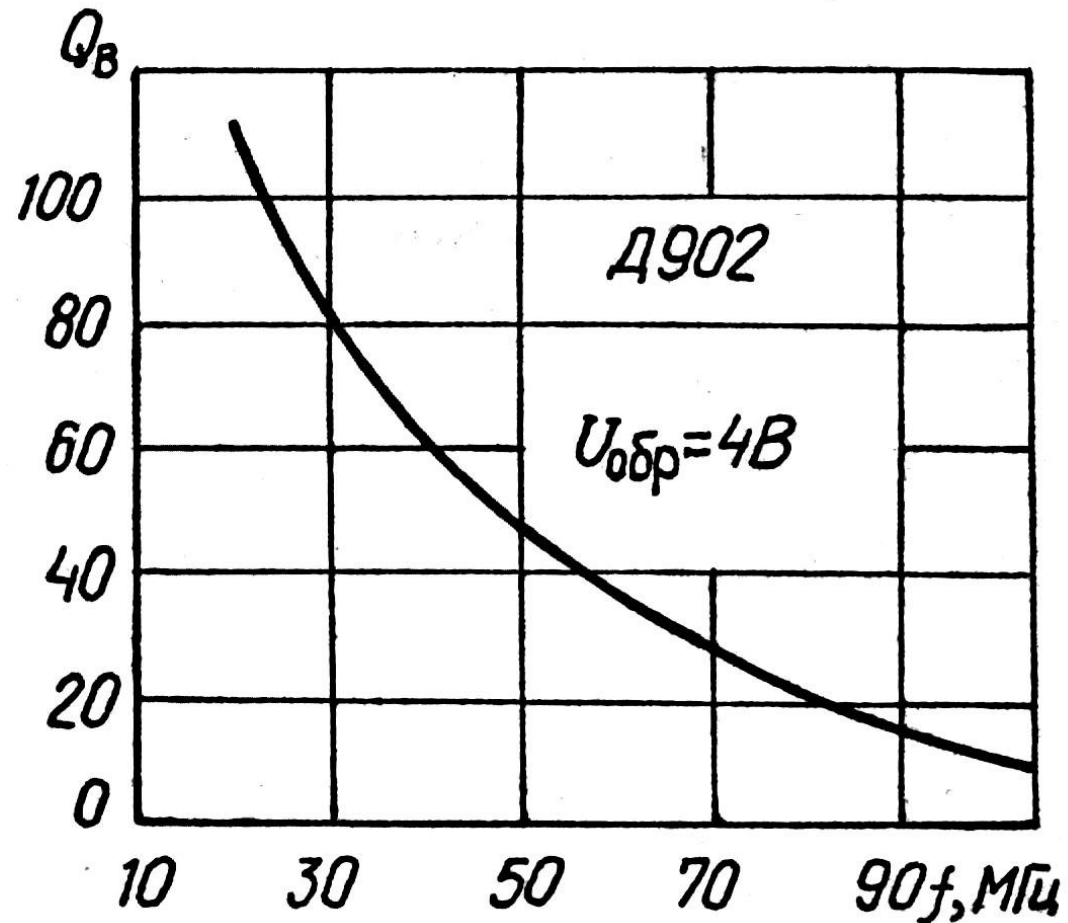
Добротность Q_V (отношение реактивного сопротивления варикапа на заданной частоте к сопротивлению потерь)



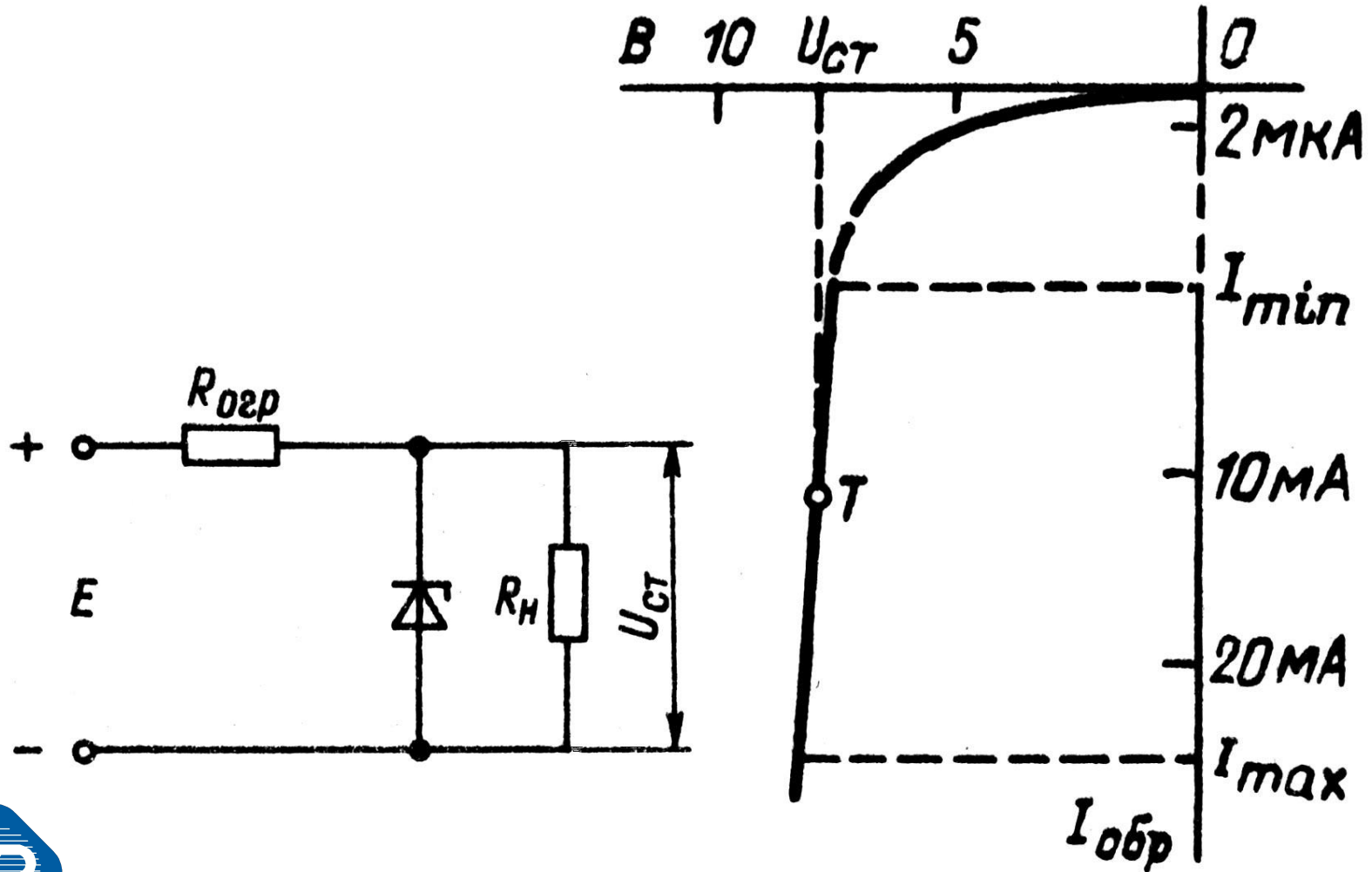
Пример вольт-фарадной характеристики варикапа (Д902)



Пример характеристики добротности варикапа (Д902)



Стабилитроны



Стабилитроны

Зенеровский пробой

$$U_{ст} < 5 \text{ В}$$

Лавинный пробой

$$U_{ст} > 5 \text{ В}$$



Стабилитроны

Основные параметры

Номинальное напряжение
стабилизации $U_{ст}$

Напряжение на стабилитроне при
протекании номинального тока

Ток стабилизации $I_{ст}$

Ток, протекающий через стабилитрон в
области стабилизации

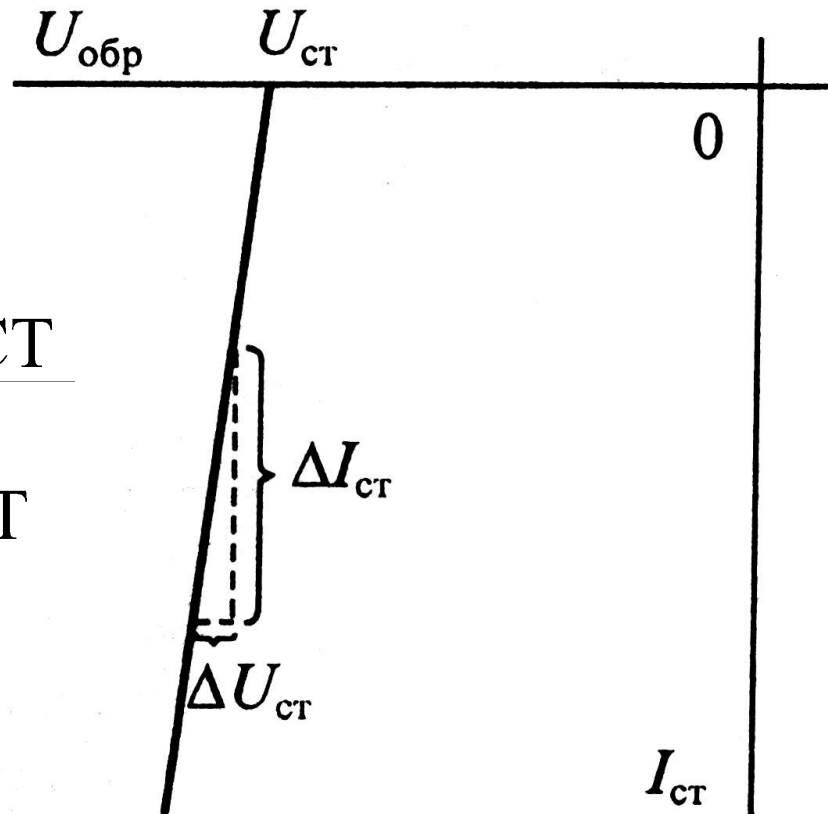


Стабилитроны

Основные параметры

Дифференциальное сопротивление стабилитрона $r_{\text{ДИФ}}$

$$r_{\text{ДИФ}} = \frac{\Delta U_{\text{СТ}}}{\Delta I_{\text{СТ}}}$$

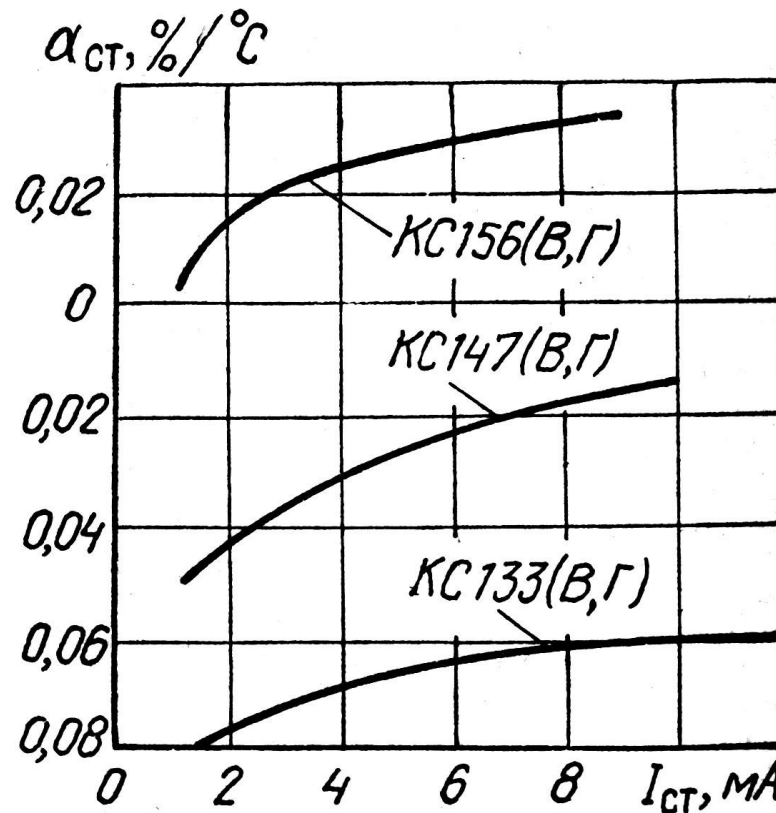


Стабилитроны

Основные параметры

Температурный коэффициент
напряжения стабилизации (ТКН)

$$\alpha_{U_{ст}} = \frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст.ном} \cdot \Delta T}$$



Стабилитроны

Предельно допустимые параметры

Максимально допустимый ток стабилизации **$I_{ст.мах}$**

Минимально допустимый ток стабилизации **$I_{ст.мин}$**

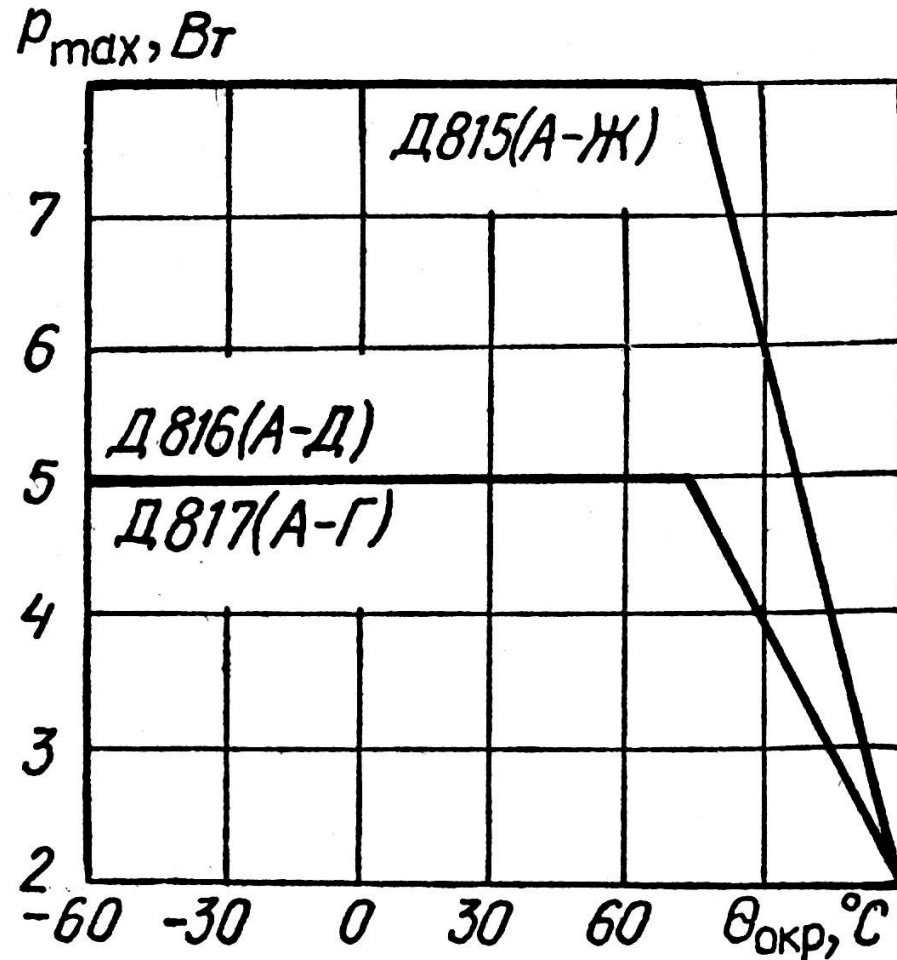
Максимально допустимый прямой ток **$I_{пр.мах}$**

Максимально допустимая мощность рассеивания **$P_{мах}$**



Стабилитроны

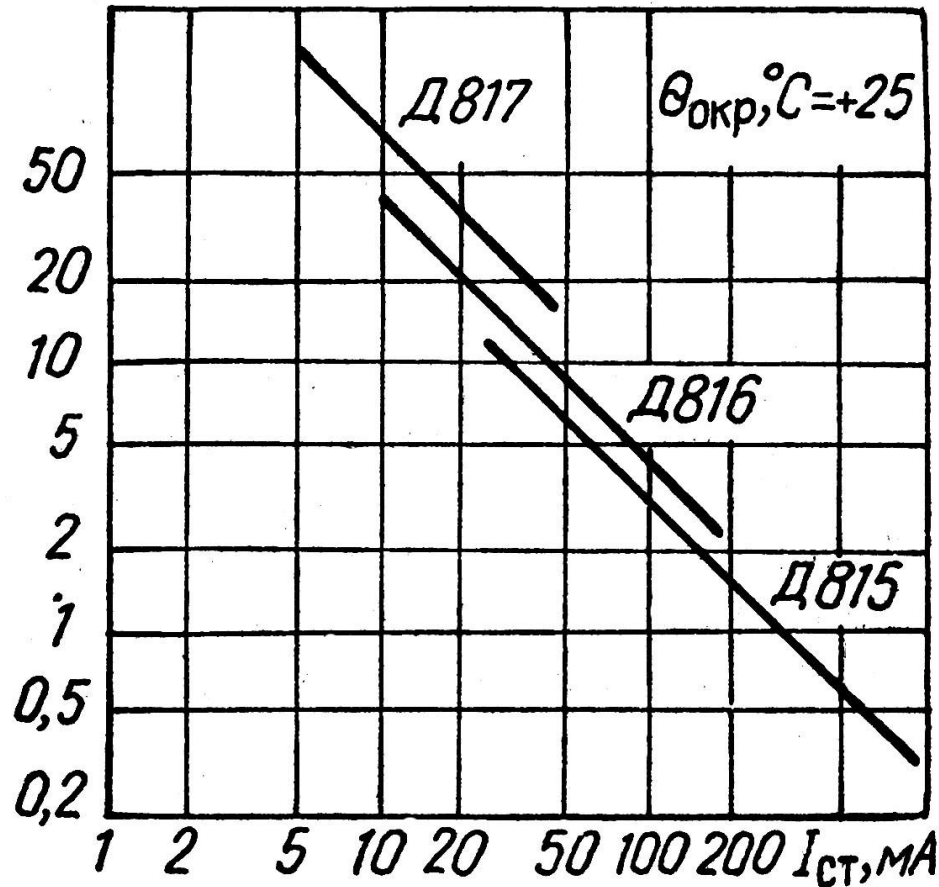
Примеры характеристик



Стабилитроны

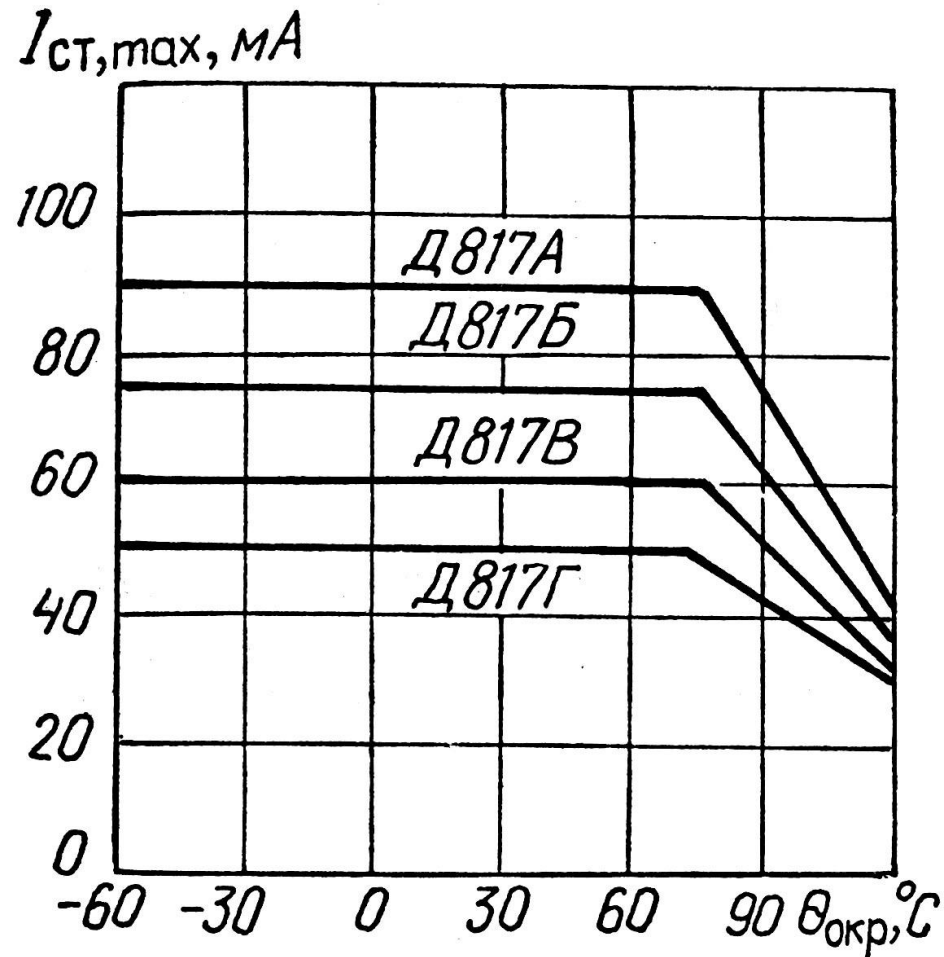
Примеры характеристик

$r_{\text{диф}}, \text{Ом}$



Стабилитроны

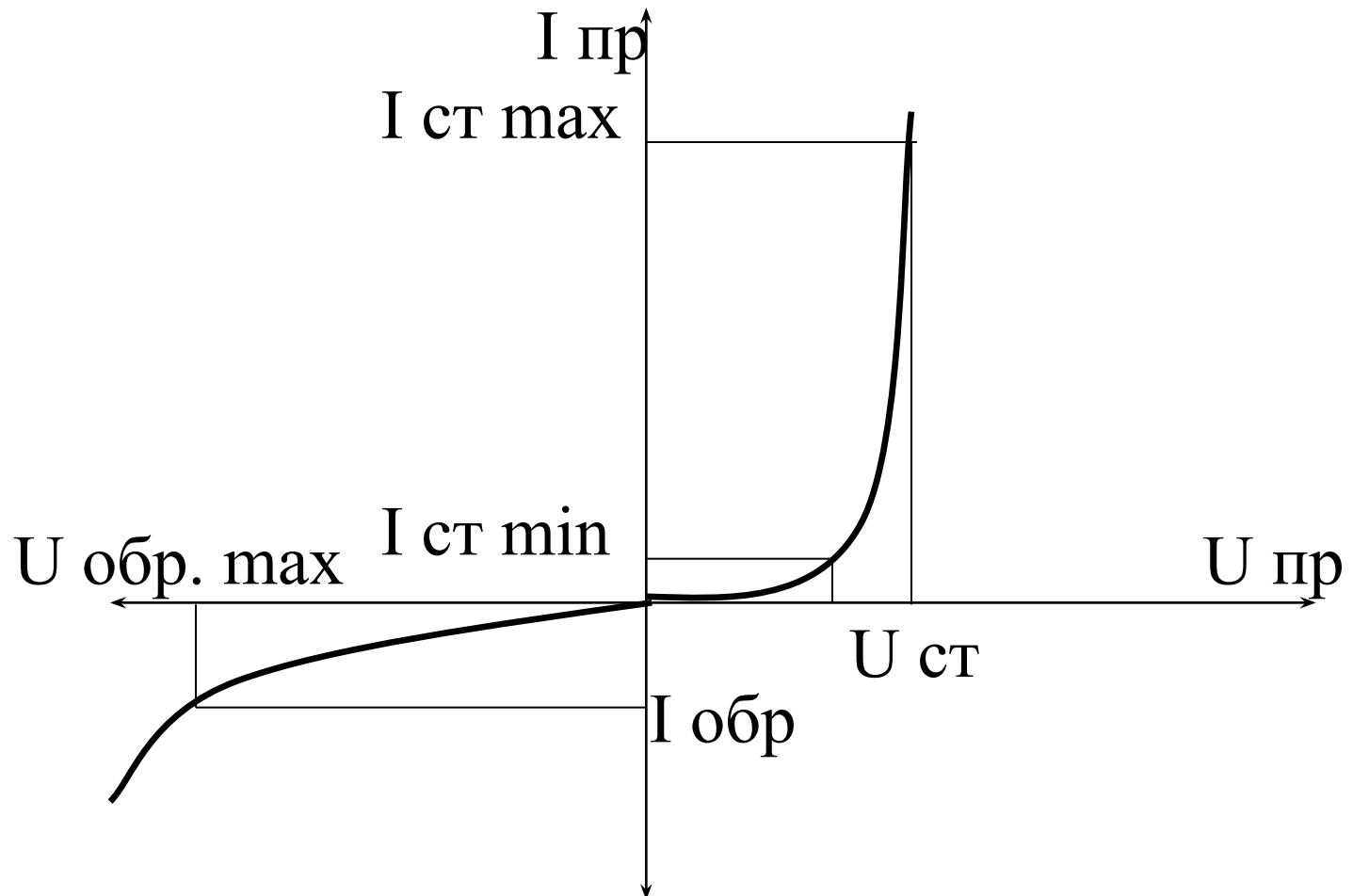
Примеры характеристик



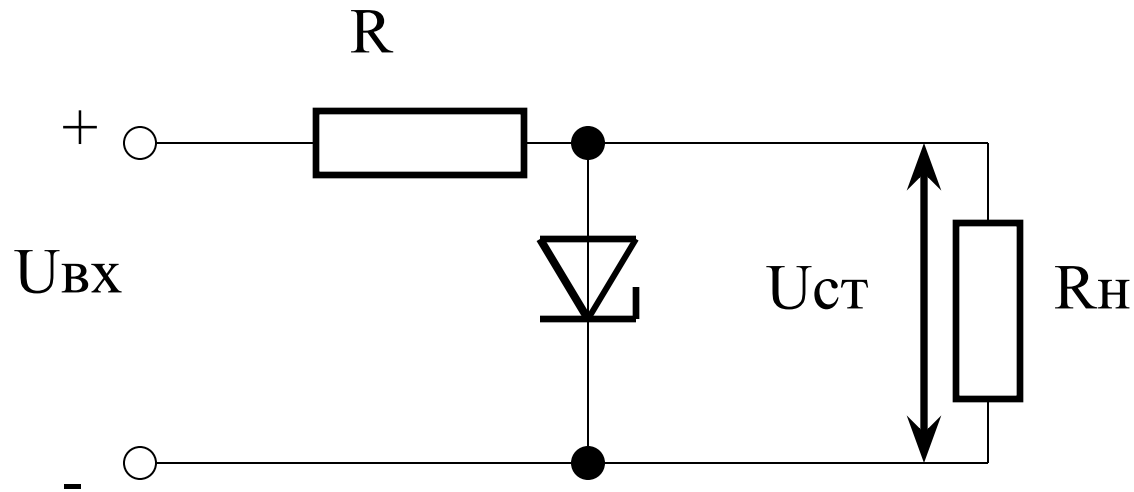
Пример



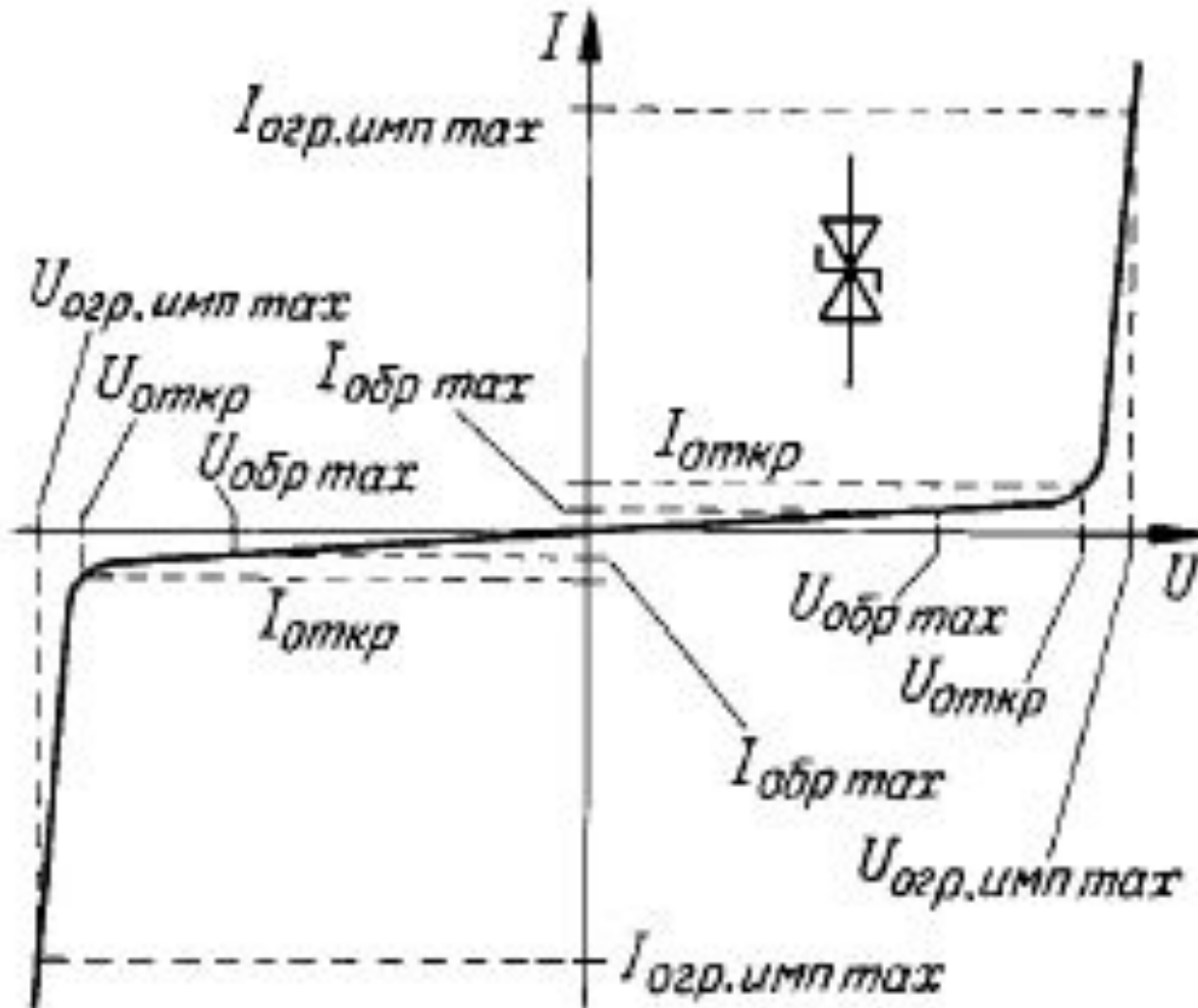
Стабисторы



Стабисторы



Ограничительные диоды - супрессоры



Основные параметры ограничительных диодов

$P_{\text{имп.мах}}$ $t_{\text{вкл.}}$

$I_{\text{обр.мах}}$ $U_{\text{обр.мах}}$

$U_{\text{откр}}$ $I_{\text{откр}}$

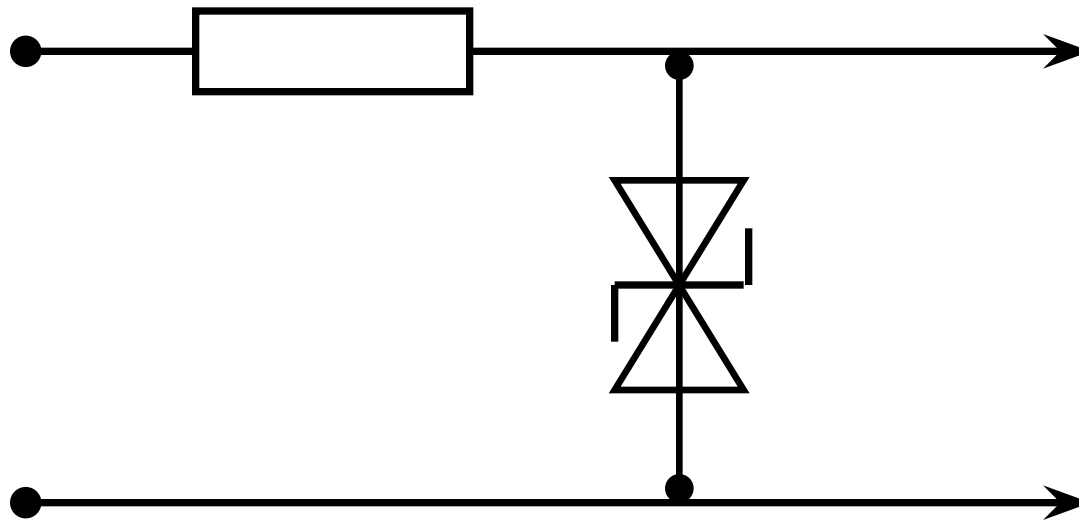
$U_{\text{огр. имп.}}$

$I_{\text{пр.имп.мах}}$ $U_{\text{пр.имп.мах}}$

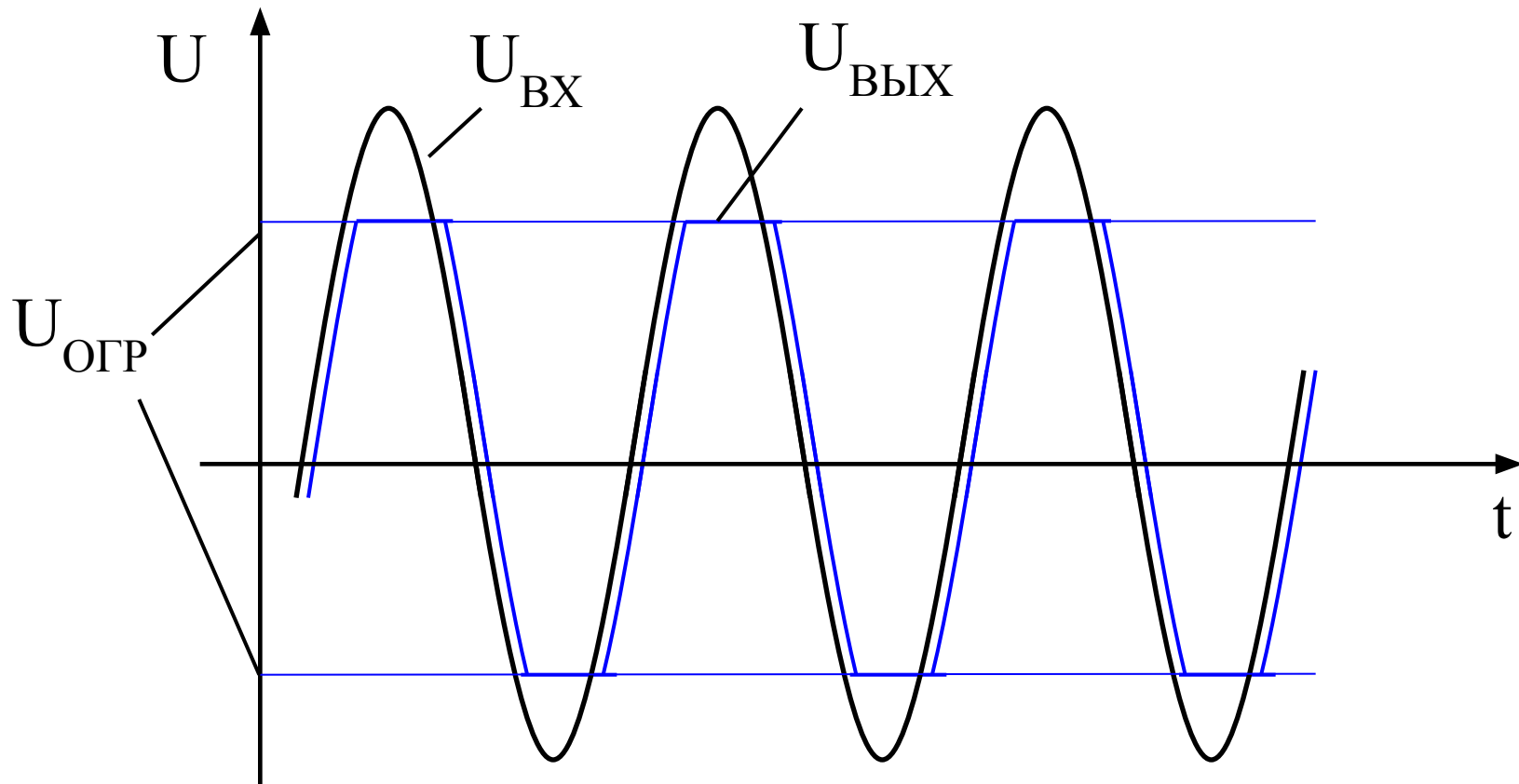
$K_{\text{огр}} = U_{\text{огр.имп.мах}} / U_{\text{откр}}$



Пример схемы включения



Пример работы ограничителя



Домашнее задание

- Привести примеры современных диодов рассмотренных типов, их параметры и характеристики

Круглое невежество — не самое большое зло:
накопление плохо усвоенных знаний еще хуже.

Платон