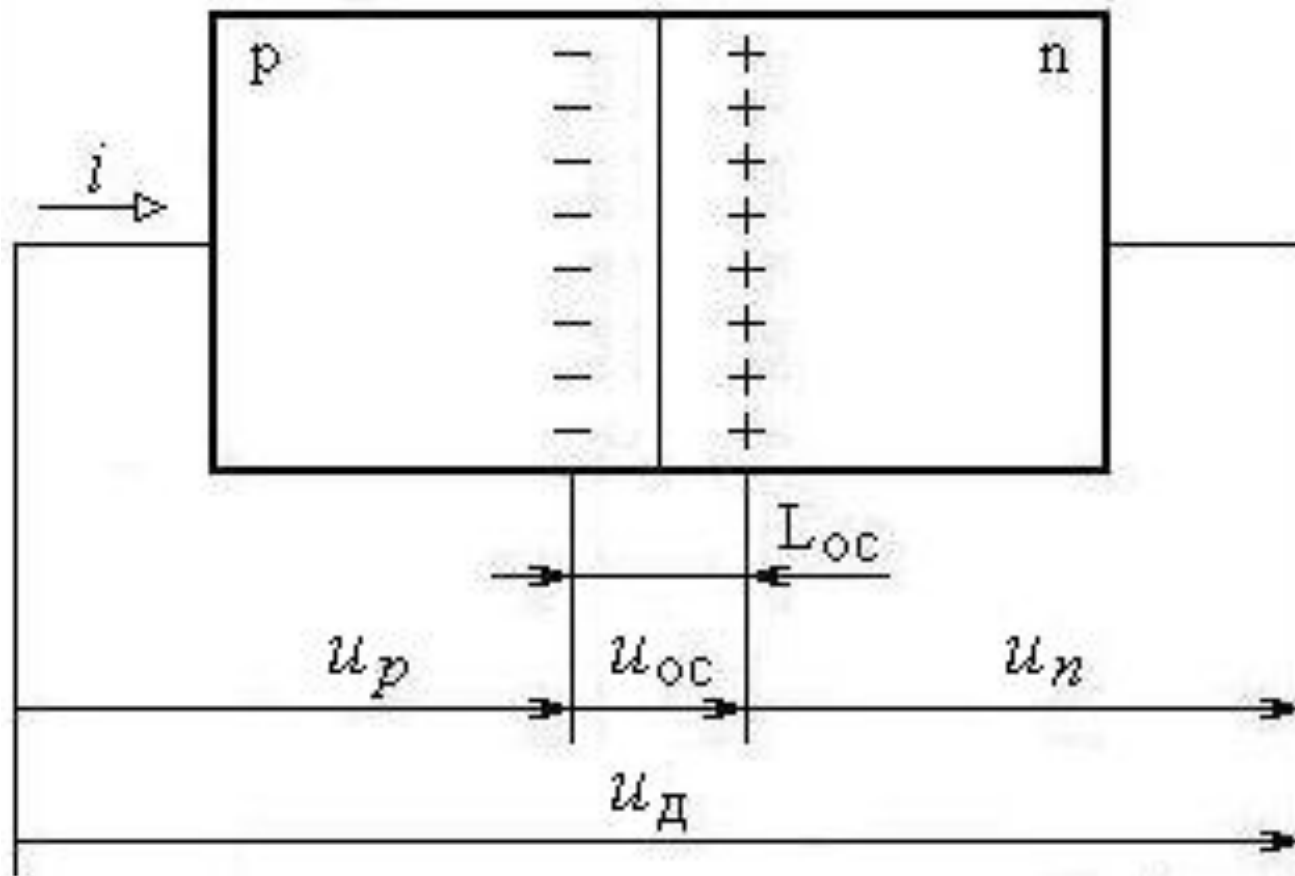
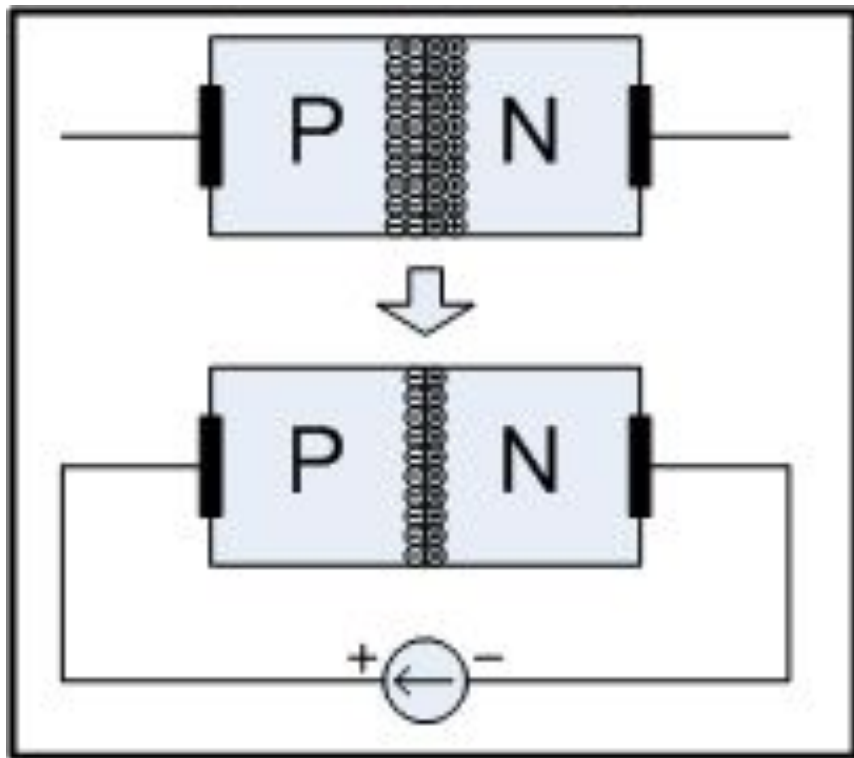


# Диоды

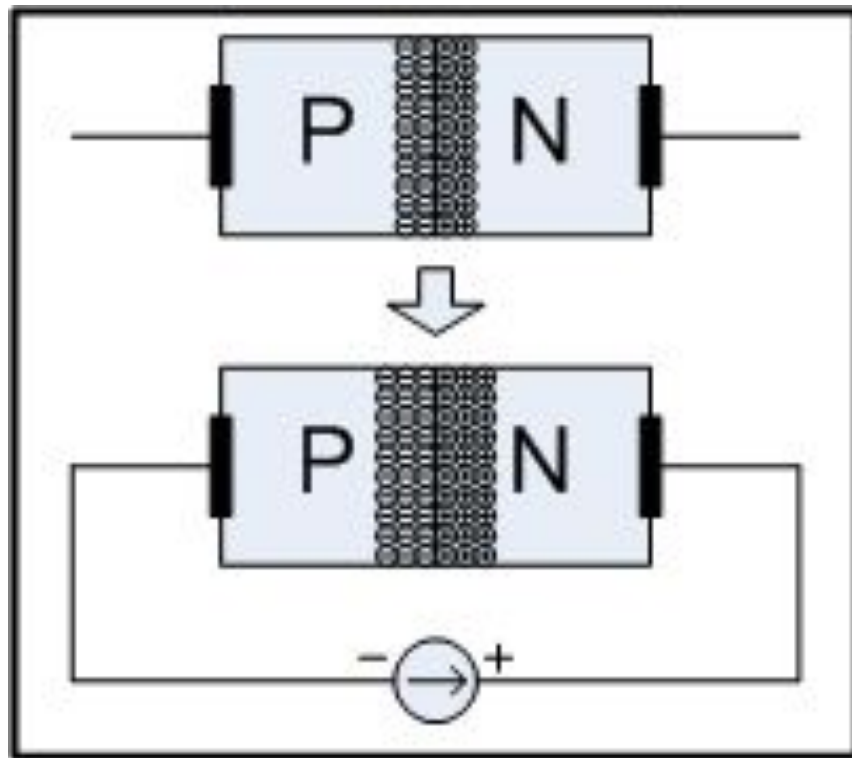
# Структура PN перехода



# Включение PN перехода

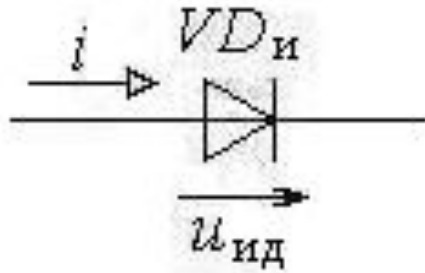


В прямом направлении



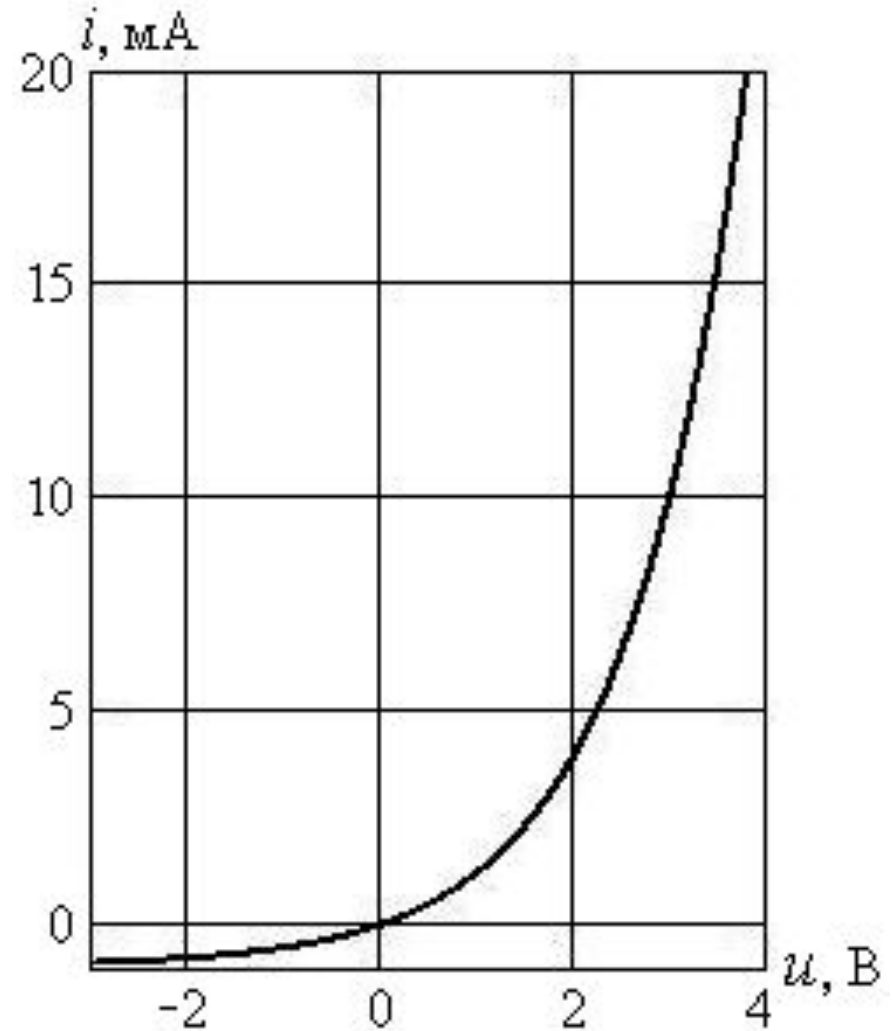
В обратном направлении

# Идеальный P-N переход

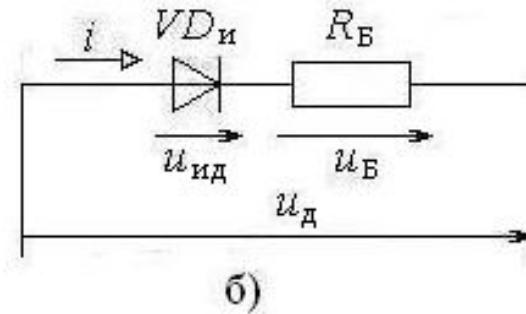
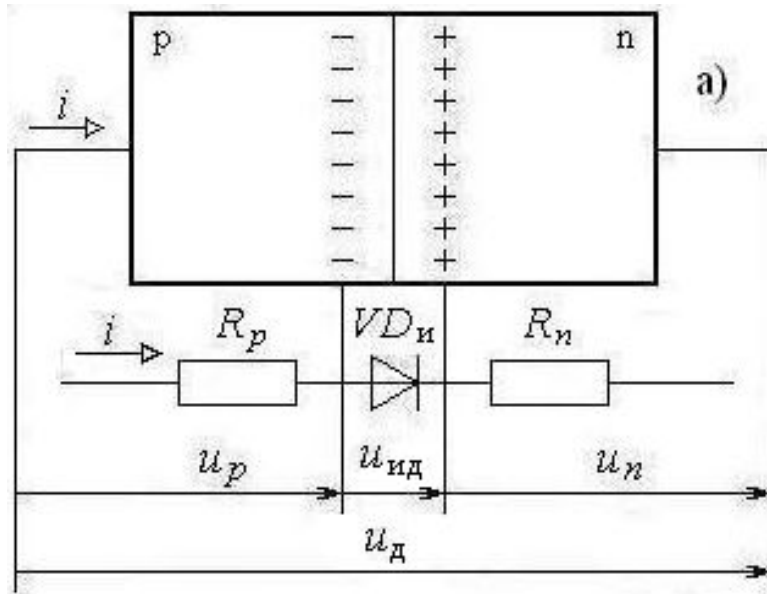


$$i = I_o \cdot \left( \exp \frac{u_{ид}}{\varphi_T} - 1 \right)$$

$$u_{ид} = \varphi_T \ln \left( \frac{i}{I_o} + 1 \right)$$



# Реальный P-N переход



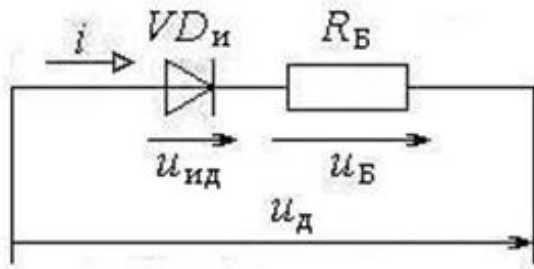
$$i = I_o \cdot \left( \exp \frac{u_{ид}}{m \varphi_T} - 1 \right)$$

$$u_{\sigma} = i \cdot R_{\sigma}$$

$$u_{ид} = \varphi_T \ln \left( \frac{i}{I_o} + 1 \right)$$

$$i = I_o \cdot \left( \exp \frac{u_d - i R_B}{m \varphi_T} - 1 \right)$$

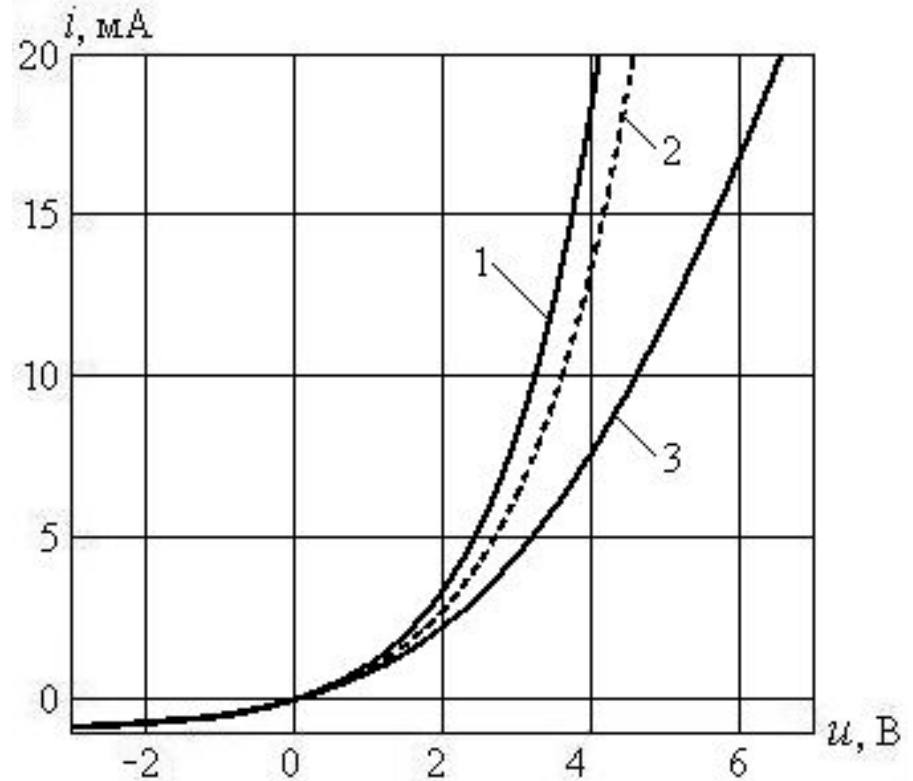
# Сравнение ВАХ



$$u_{ид} = \varphi_T \ln \left( 1 + \frac{i}{I_o} \right)$$

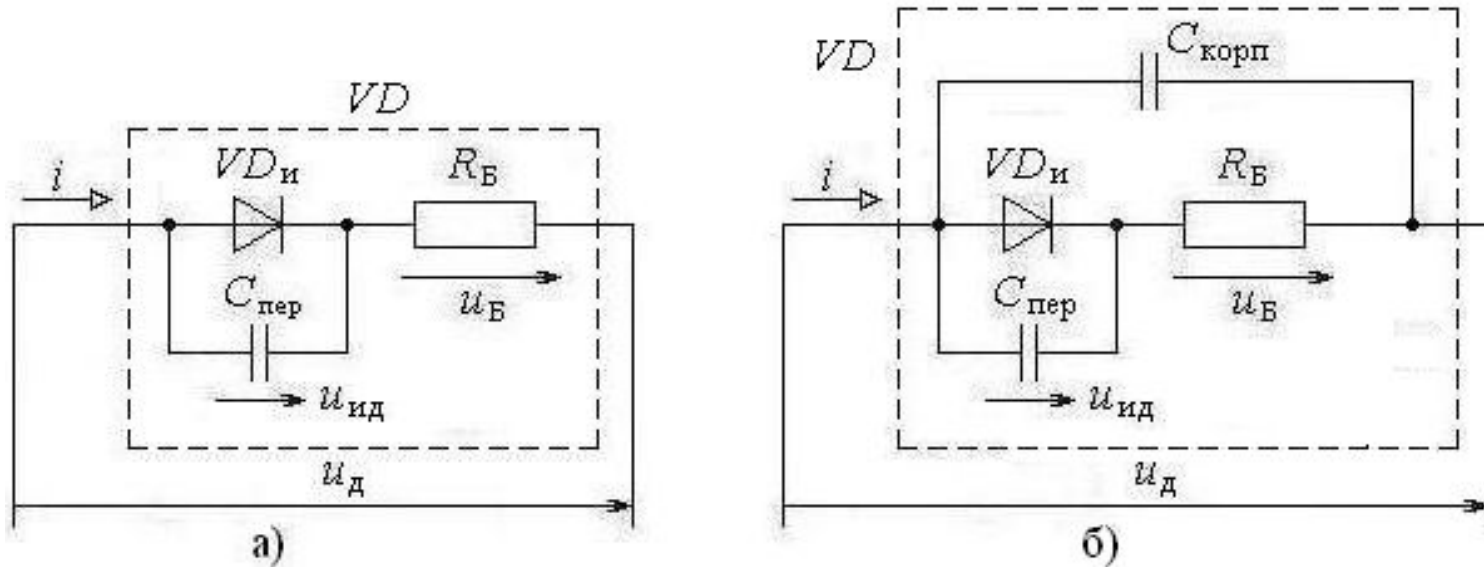
$$u_{ид} = m\varphi_T \ln \left( 1 + \frac{i}{I_o} \right)$$

$$u_D = i R_B + m\varphi_T \ln \left( 1 + \frac{i}{I_o} \right)$$



1 – с идеализированным p-n-переходом, 2 – с учётом неидеальности обеднённого слоя, 3 – с реальным p-n-переходом

# Эквивалентная схема диода



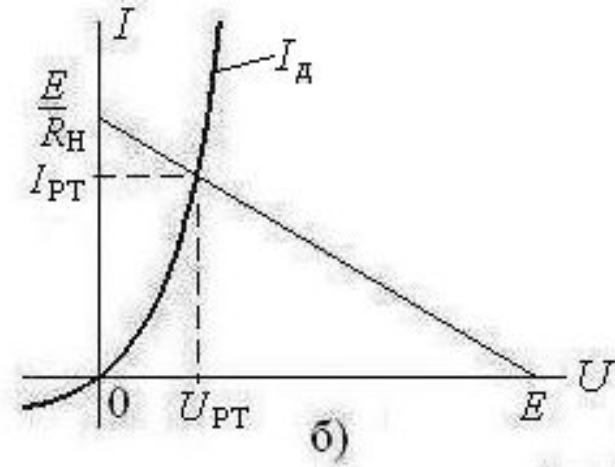
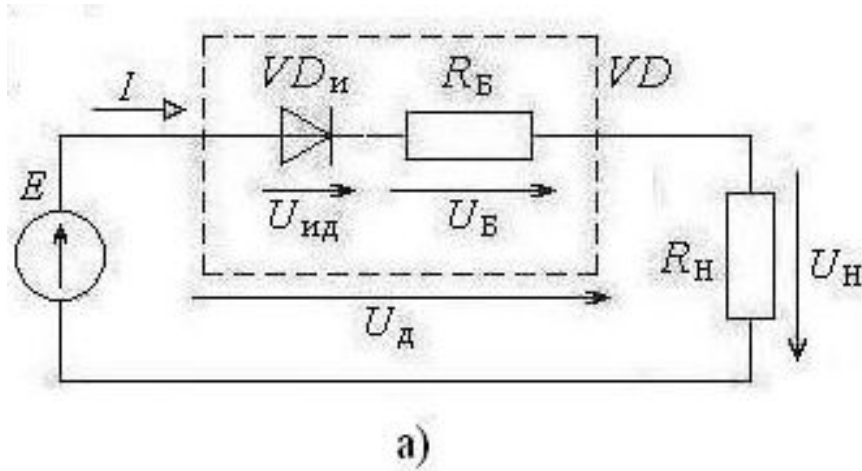
$$C_{\text{пер}} = C_{\text{Б}} + C_{\text{дф}}$$

$$C_{\text{Б}} = \frac{C_{\text{Б0}}}{\left(1 - \frac{u}{\varphi_{\text{К}}}\right)^n}$$

$$C_{\text{дф}} = \frac{(i + I_o) \cdot \tau}{\varphi_{\text{T}} F(\omega) \cdot \sqrt{2}}$$

$$F(\omega) = \sqrt{1 + \sqrt{1 + \omega^2 \tau_p^2}}$$

# Решение схемы с диодом



**Дано**

$$E, R_H, U_D(I)$$

$$E = U_D(I) + U_H(I)$$

$$E = U_{ид}(I) + U_B(I) + U_H(I)$$

$$E = U_D(I) + R_H I$$

**Найти**

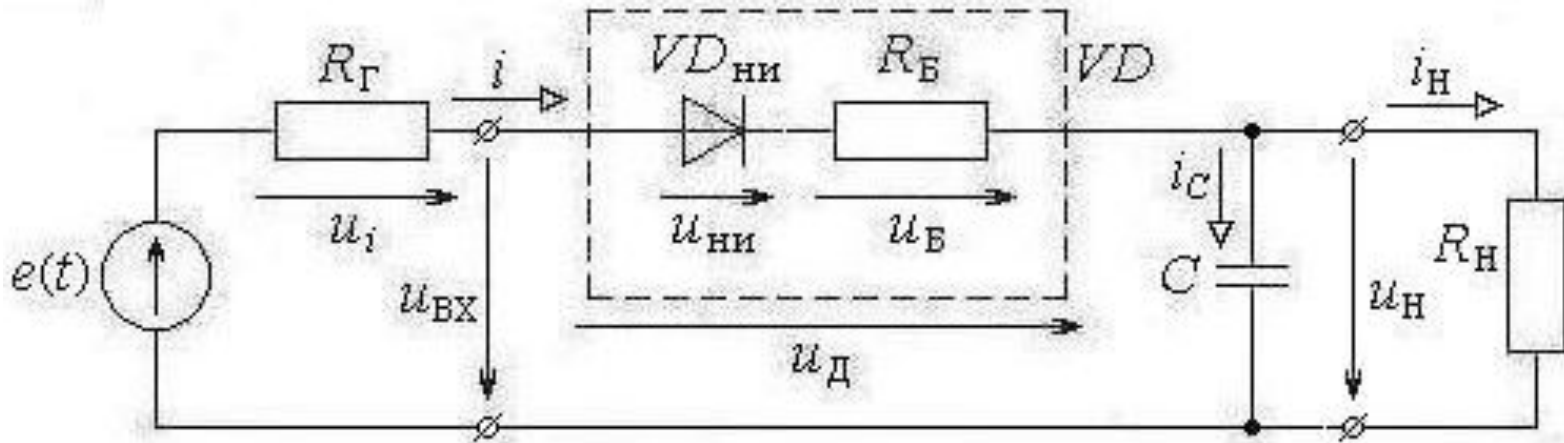
I

$$E = m\varphi_T \ln\left(1 + \frac{I}{I_0}\right) + R_B I + R_H I$$

$$E - R_H I = U_D(I)$$



# Выпрямитель



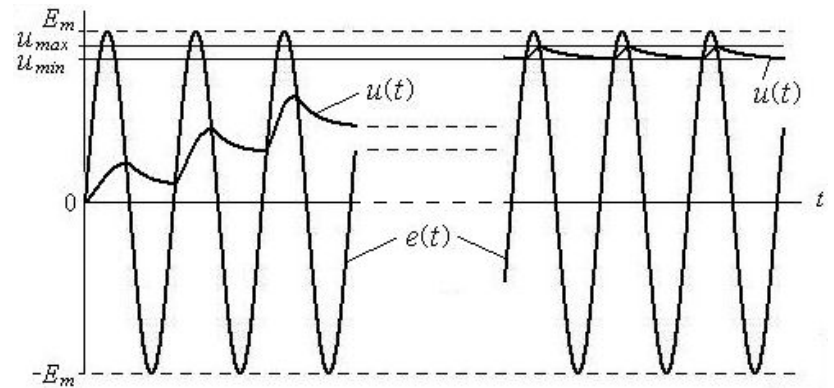
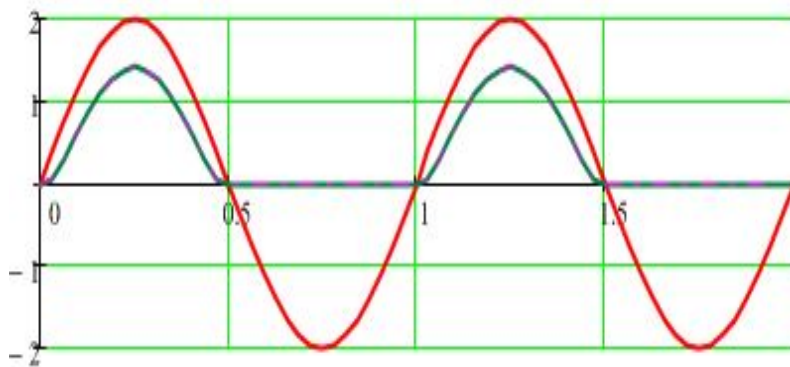
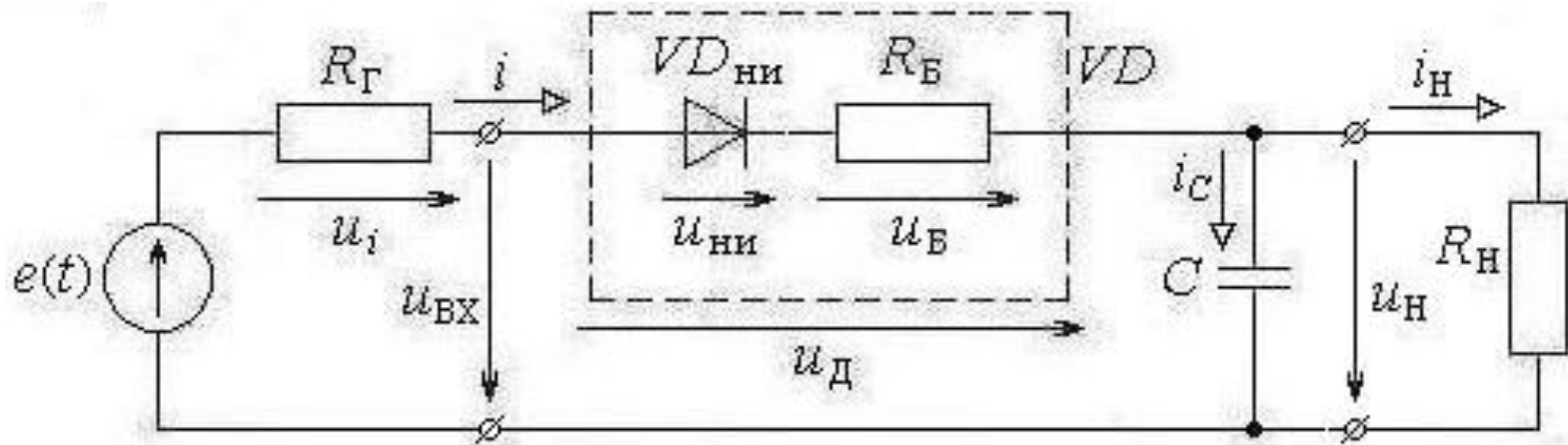
$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$u_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t I(t) dt$$

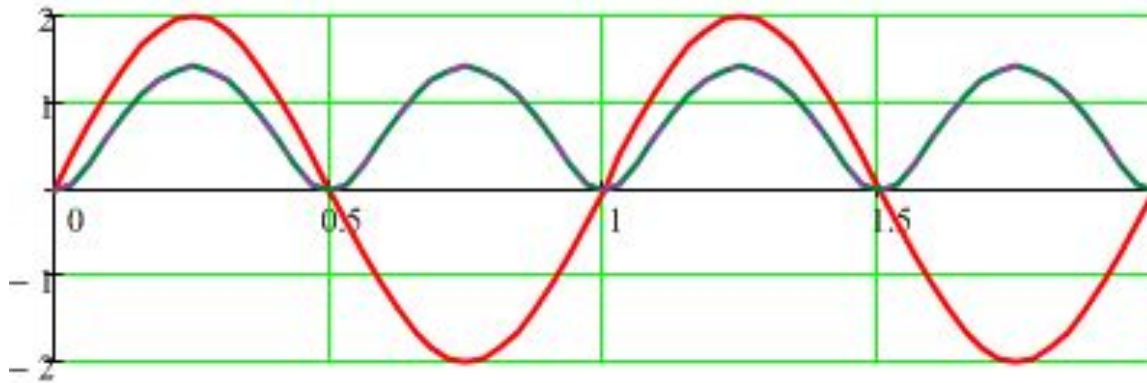
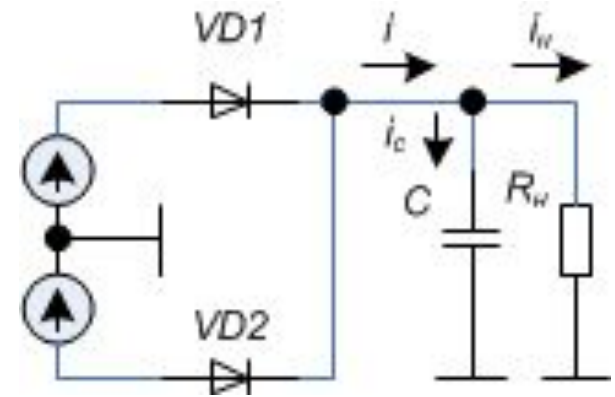
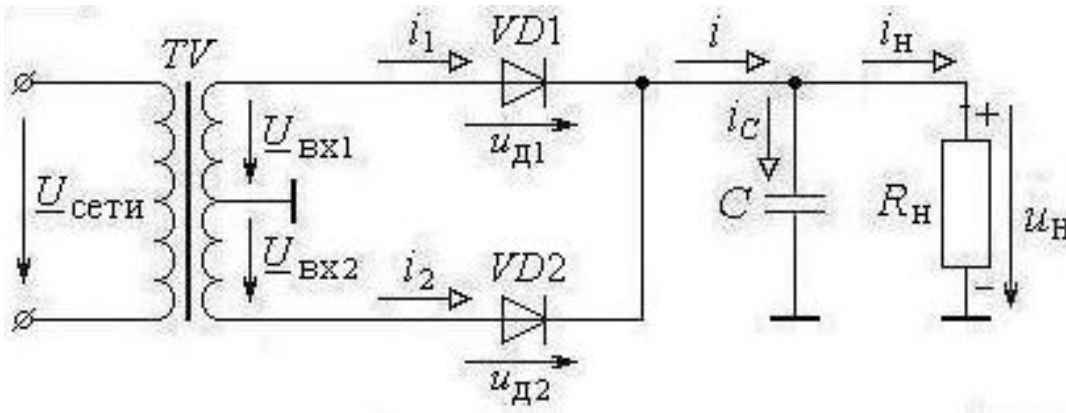
$$i(t) = i_c(t) + i_{\text{Н}}(t)$$

$$u_i(t) + u_{\text{Д}}(t) + u_{\text{Н}}(t) = e(t)$$

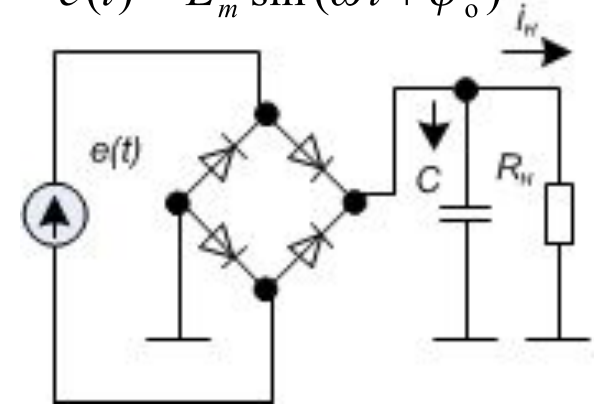
# Однополупериодный выпрямитель



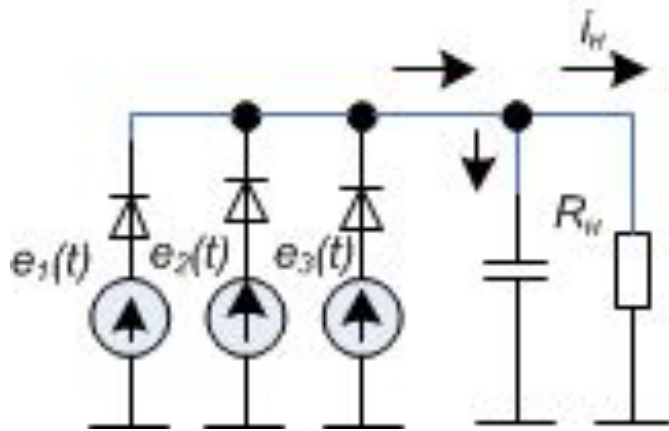
# Двухполупериодный выпрямитель



$$e(t) = E_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$



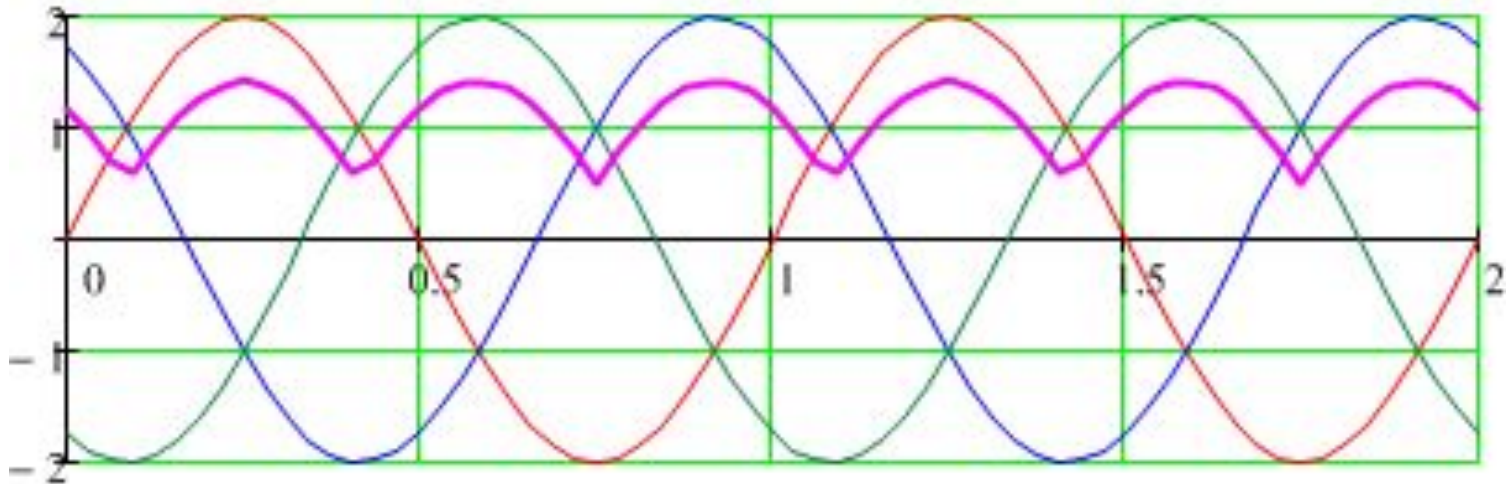
# 3-фазный выпрямитель



$$e_1(t) = E_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$$e_2(t) = E_m \sin(\omega t + 2\pi/3 + \varphi_0)$$

$$e_3(t) = E_m \sin(\omega t + 4\pi/3 + \varphi_0)$$



вышеперечисленные только с индексом "max" и словами "максимально допустимый(ое)". Необходимо отметить, что по максимально допустимым параметрам выбираются диоды для работы в каких-либо устройствах.

### **Импульсные диоды**

**Импульсное прямое напряжение  $U_{пр.и.}$**  - пиковое прямое напряжение на диоде при заданном импульсе прямого тока.

**Импульсное обратное напряжение  $U_{обр.и.}$**  - пиковое обратное напряжение на диоде, включая как однократные выбросы, так и периодически повторяющиеся.

**Общая емкость  $C_{\sigma}$**  - емкость, измеренная между выводами диода при заданном напряжении и частоте.

**Время установления прямого напряжения  $T_{уст}$**  - интервал времени с момента подачи импульса прямого тока на диод (при нулевом напряжении смещения) до достижения заданного прямого напряжения на диоде.

**Время восстановления обратного сопротивления  $T_{вос}$**  - интервал времени от момента прохождения тока через нуль после переключения диода из состояния заданного тока в состояние заданного напряжения до момента достижения заданного обратного тока.

**Заряд переключения  $Q_{пк}$**  - часть накопленного заряда, вытекающего во внешнюю цепь при изменении направления тока с прямого на обратное.

### **Стабилитроны и стабисторы**

**Напряжение стабилизации  $U_{см}$**  - напряжение на стабилитроне при заданном токе стабилизации.

**Допускаемый разброс напряжения стабилизации от номинального  $\Delta U_{см}$**  - максимально допустимое отклонение напряжения стабилизации от номинального для стабилитронов данного типа.

# Основные параметры диода

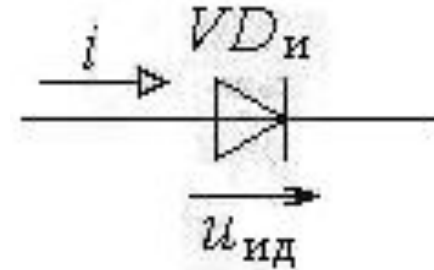
**Постоянный прямой ток  $I_{пр}$  ( $I_f$ )-**  
постоянный ток, протекающий через диод в прямом направлении.

**Постоянное прямое напряжение  $U_{пр}$  ( $U_f$ )-** Постоянное напряжение на диоде при заданном прямом токе.

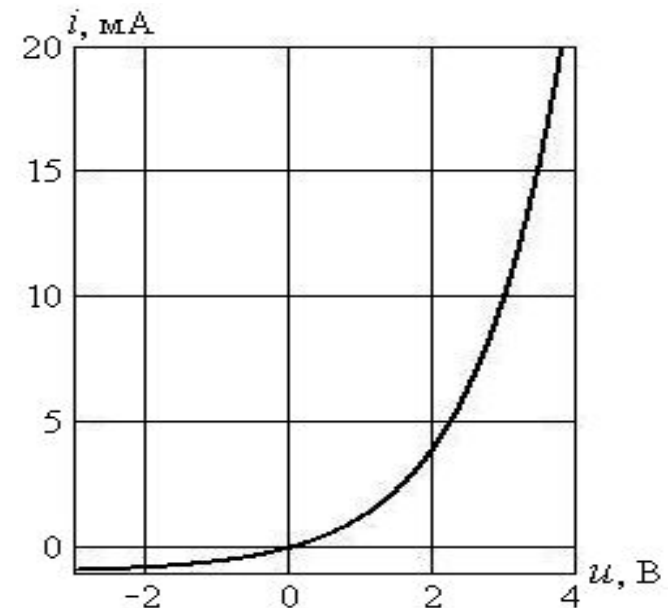
**Постоянное обратное напряжение  $U_{обр}$**  - Постоянное напряжение приложенное к диоду в обратном направлении.

**Постоянный обратный ток  $I_{обр}$**  - постоянный ток, протекающий через диод в обратном направлении при заданном обратном напряжении.

**Максимально допустимые параметры:** К ним относятся все вышеперечисленные только с индексом "max" и словами "максимально допустимый(ое)"



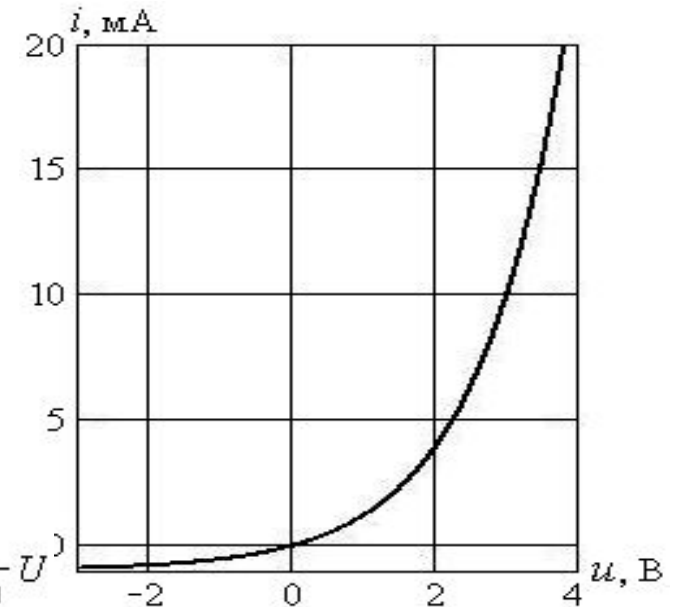
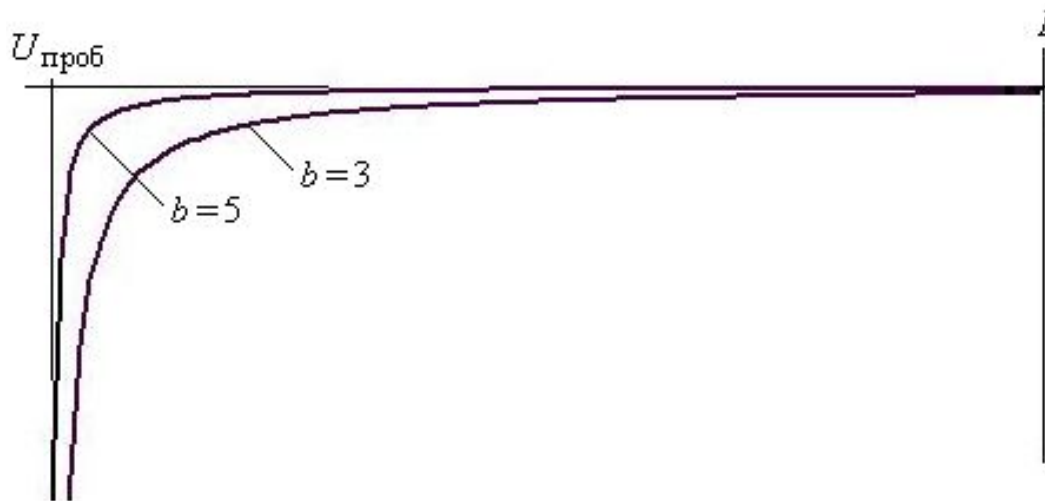
$$u_d = i R_B + m \varphi_T \ln \left( 1 + \frac{i}{I_o} \right)$$



# Пробой р-п перехода

**Пробоем** называют резкое увеличение обратного тока р-п-перехода при некотором обратном напряжении, превышающем напряжение пробоя

$U_{\text{проб}}$



# Виды пробоев

**Лавинный пробой** вызывается ударной ионизацией нейтральных атомов кристаллической решётки полупроводника в обеднённом слое под действием сильного электрического поля.

**Туннельный пробой** представляет собой переход электронов сквозь потенциальный (энергетический) барьер между переходами - без изменения энергии. Такой переход называют туннельным эффектом.

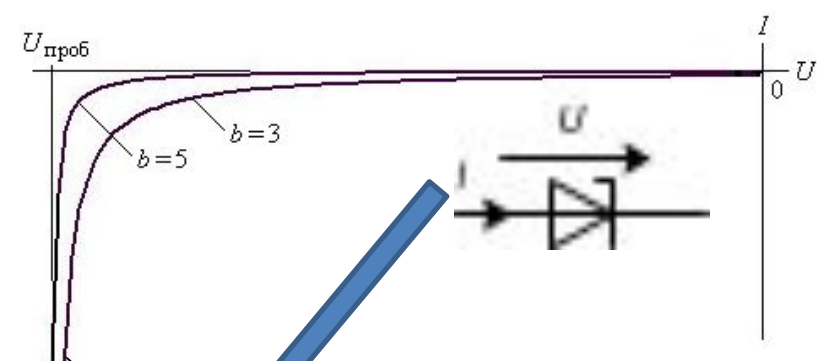
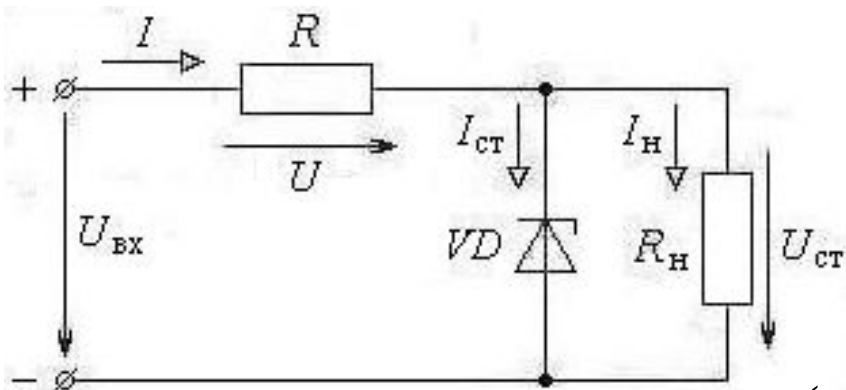
**Поверхностный пробой** объясняется резким увеличением тока утечки на поверхности P-N перехода

**Тепловой пробой** обусловлен выделяющейся мощностью из-за протекания обратного тока под действием обратного напряжения

$$P_{\text{выд}} = U_{\text{обр}} I_{\text{обр}}$$

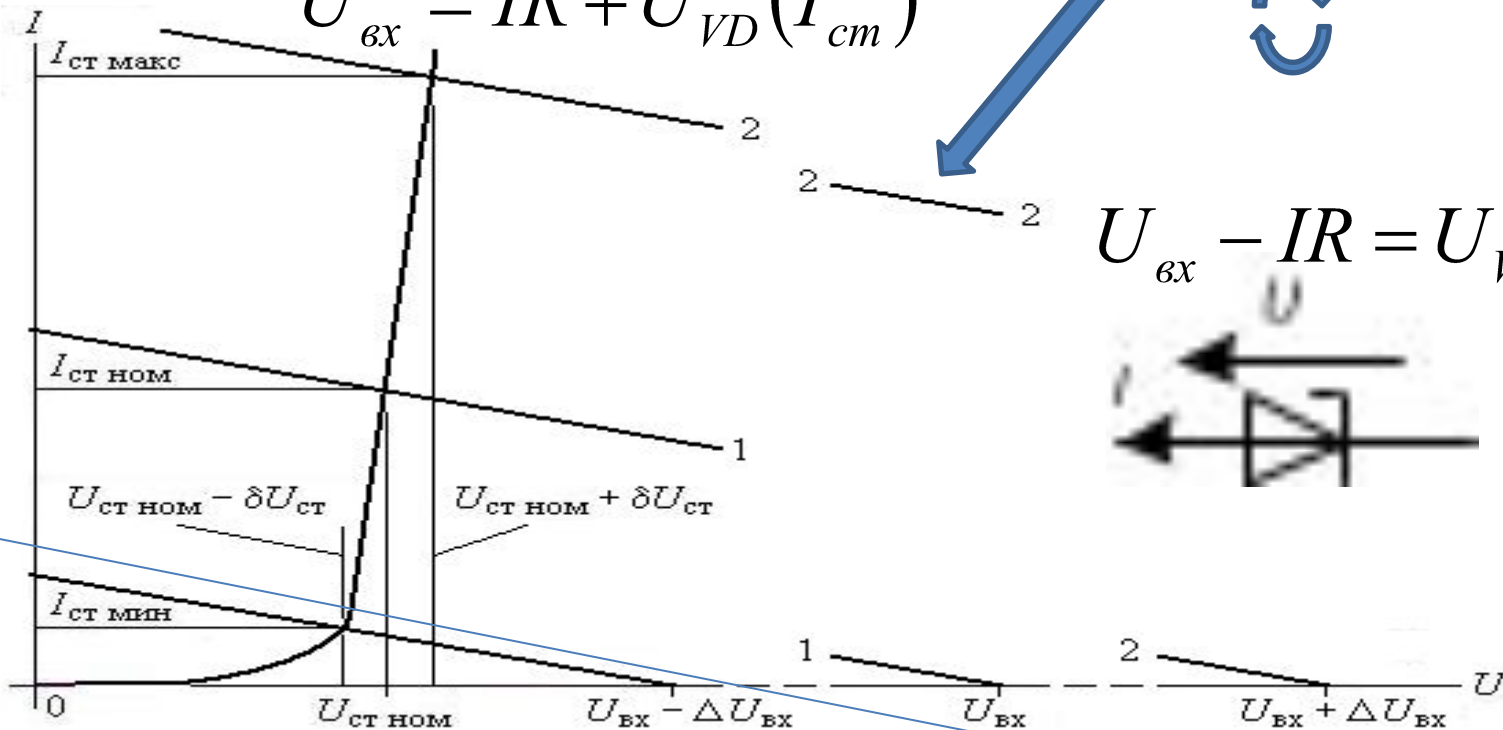


# Стабилитрон



$$U_{BX} = IR + U_{VD}(I_{cm})$$

$$\frac{U_{BX}}{R}$$



$$U_{BX} - IR = U_{VD}(I_{cm})$$



# Параметры стабилитрона

~~Постоянный прямой ток  $I_{пр}$  ( $I_f$ )~~  
~~Постоянное прямое напряжение  $U_{пр}$~~

~~Постоянное обратное напряжение  $U_{обр}$~~  -- напряжение стабилизации стабилитрона  $U_{ст ном}$

~~Постоянный обратный ток  $I_{обр}$~~  -- ток стабилизации  $I_{ст ном}$

$U_{ст макс}$ ,  $U_{ст мин}$ ,  $I_{ст макс}$ ,  $I_{ст мин}$  – соответственно максимальное и минимальное значение тока и напряжения на стабилитроне

$$\delta U_{ст} = \frac{U_{ст макс} - U_{ст мин}}{2U_{ст}}$$

