

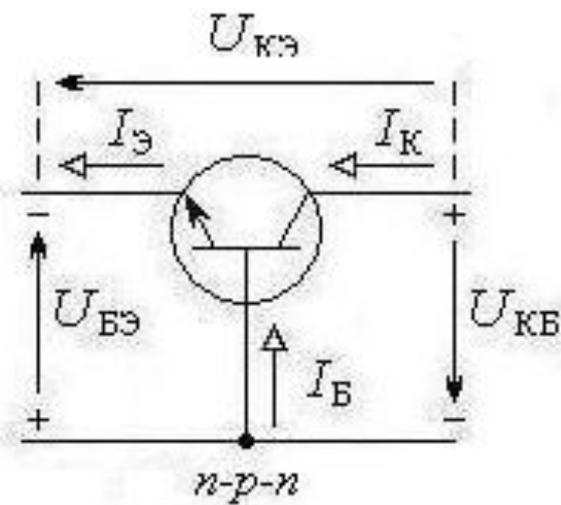
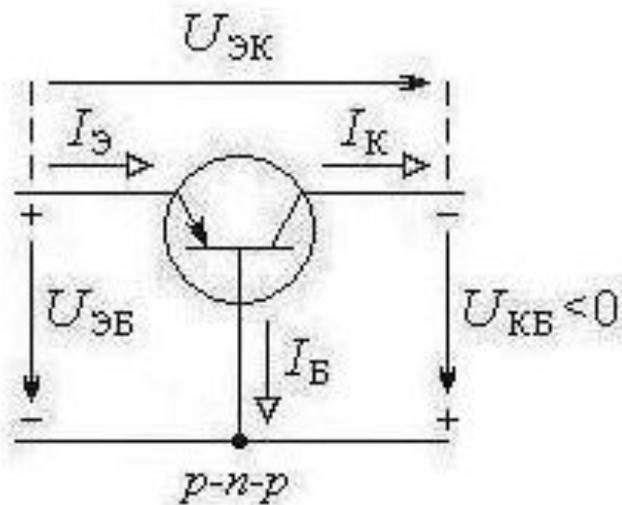
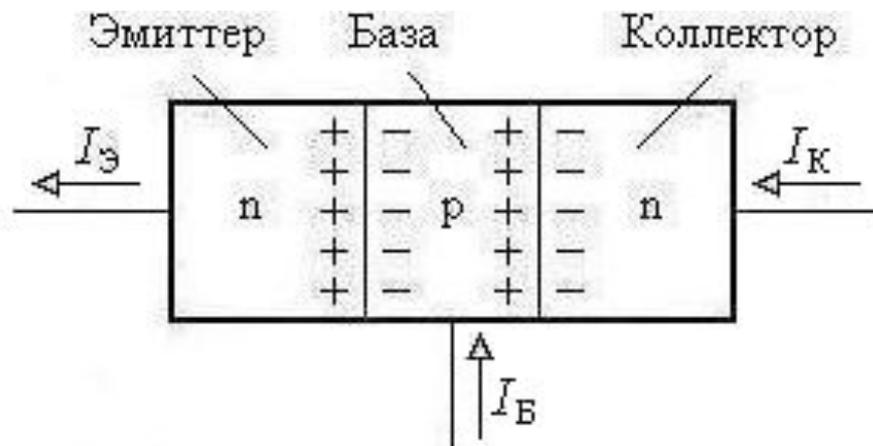
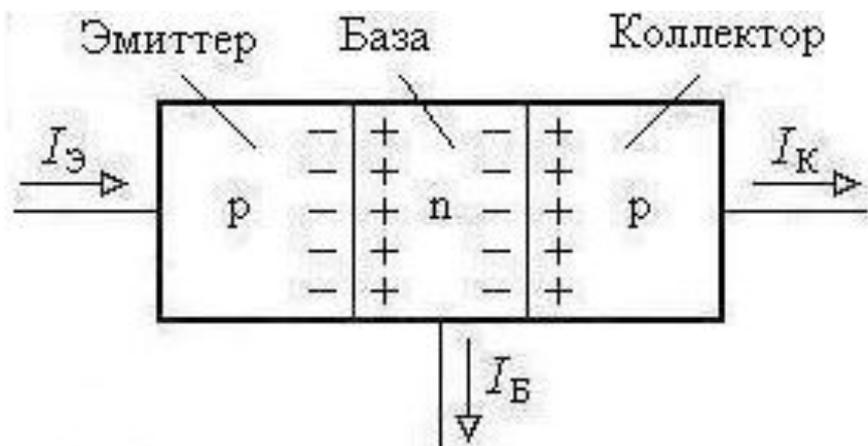
Транзисторы

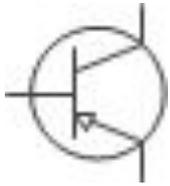
Транзистор - от английского transfer resistor – прибор, состоящий из 3-х электродов и способный менять своё сопротивление или ток под воздействием управляющего сигнала (напряжения или тока)

Виды транзисторов

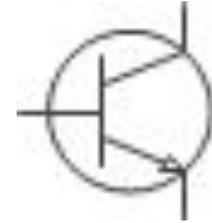
- Биполярный транзистор (p-n-p, n-p-n)
- Полевой транзистор (n типа, p типа)
 - Канальный
 - Изолированный затвор, встроенный канал
 - Изолированный затвор, индуцированный канал
- IGBT транзистор

Биполярный транзистор





Описание выводов



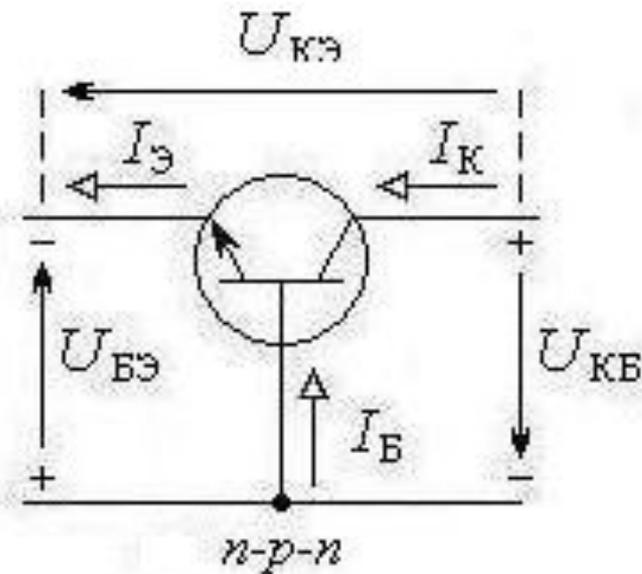
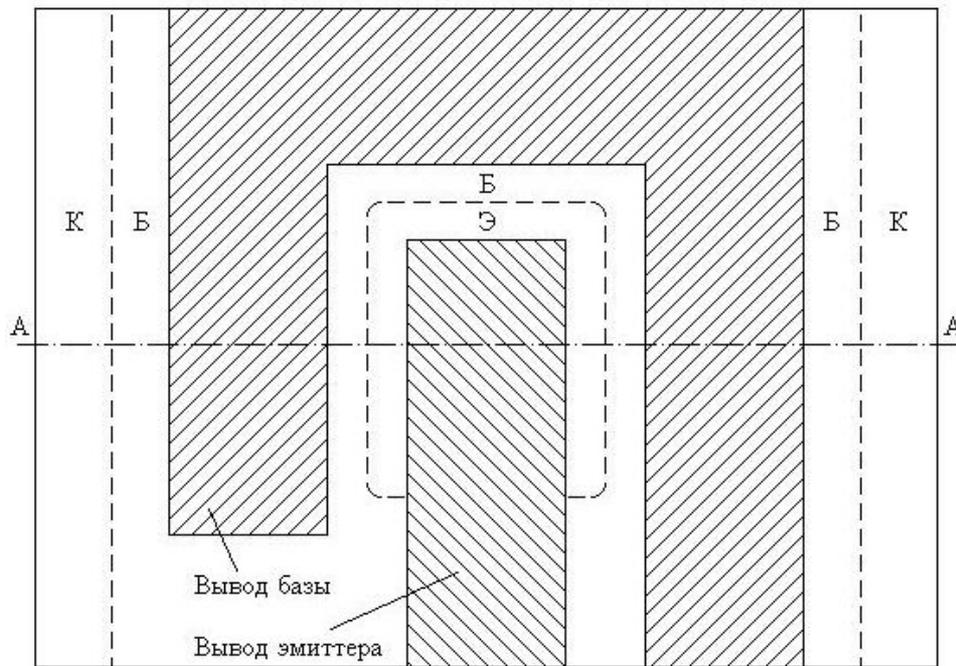
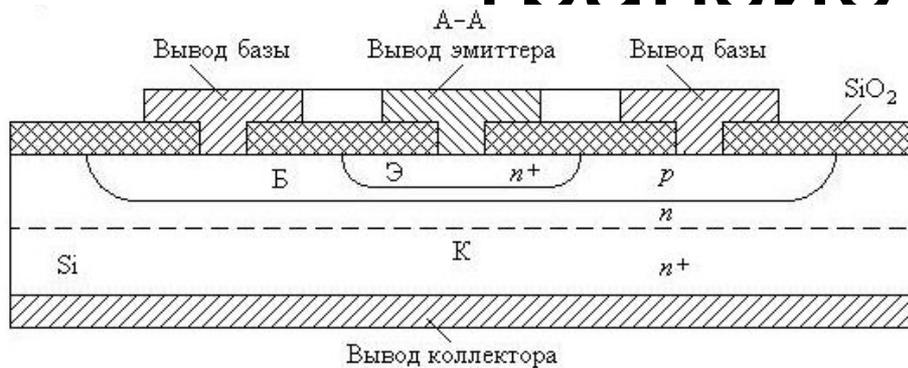
Электроды или выводы транзистора – проводники, которые соединены с p - и n -областями транзистора для обеспечения возможности включения транзистора в электрическую цепь и управления его параметрами.

Эмиттер (излучатель) – область транзистора, которая является источником (впрыскивателем, инжектором) зарядов в базу при воздействии внешнего электрического напряжения.

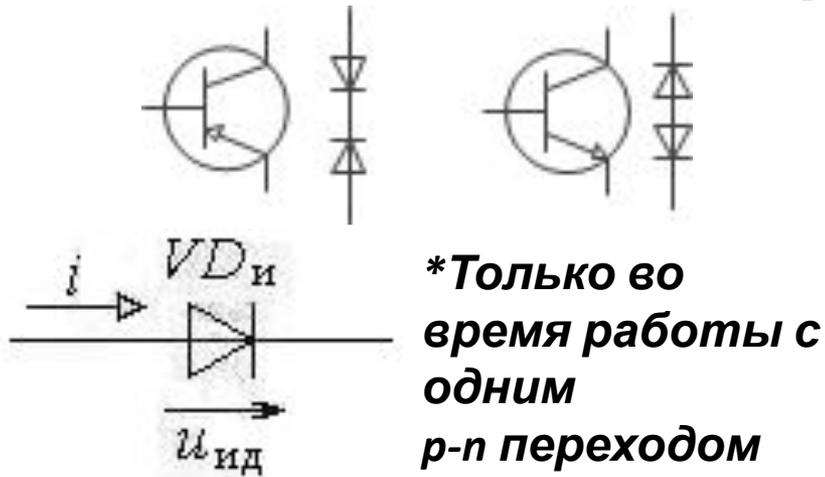
База – средняя область транзистора – элемент, управляющий величиной тока, протекающего через транзистор.

Коллектор – область транзистора, предназначенная для сбора (извлечения) носителей заряда, созданных эмиттером и проходящих через базу.

Реальная структура транзистора

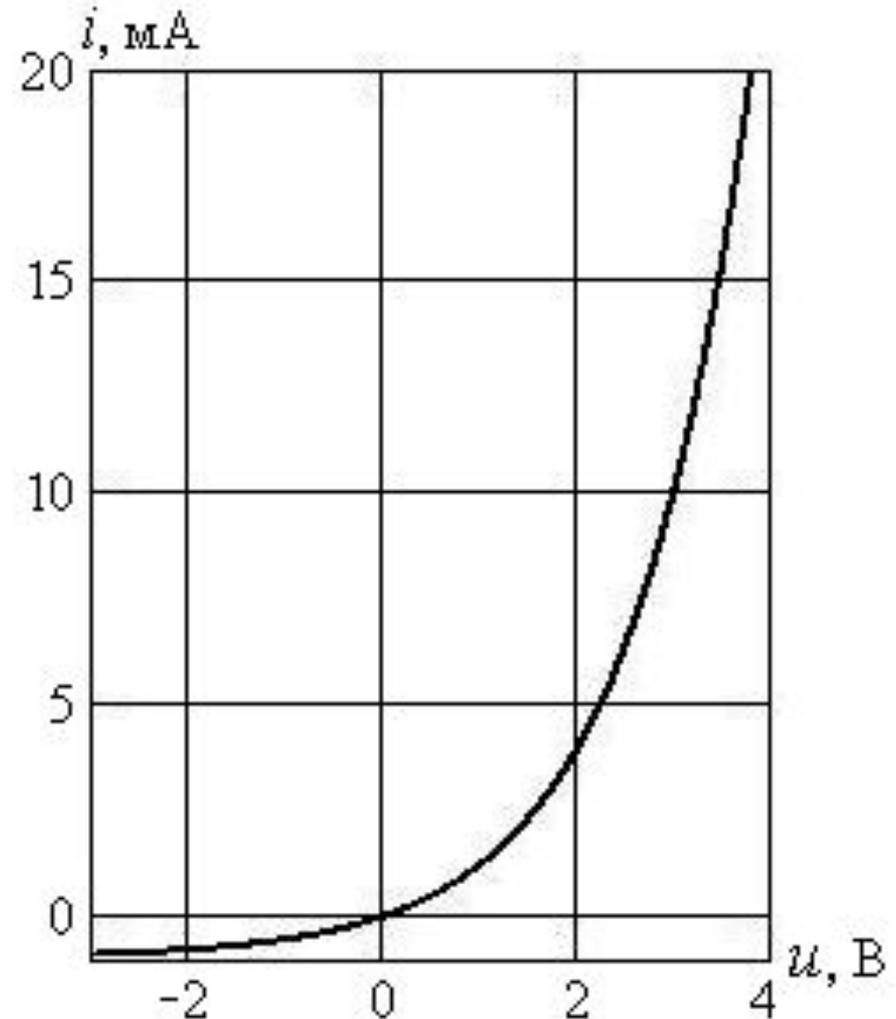


P-N переход транзистора (БЭ, КЭ)

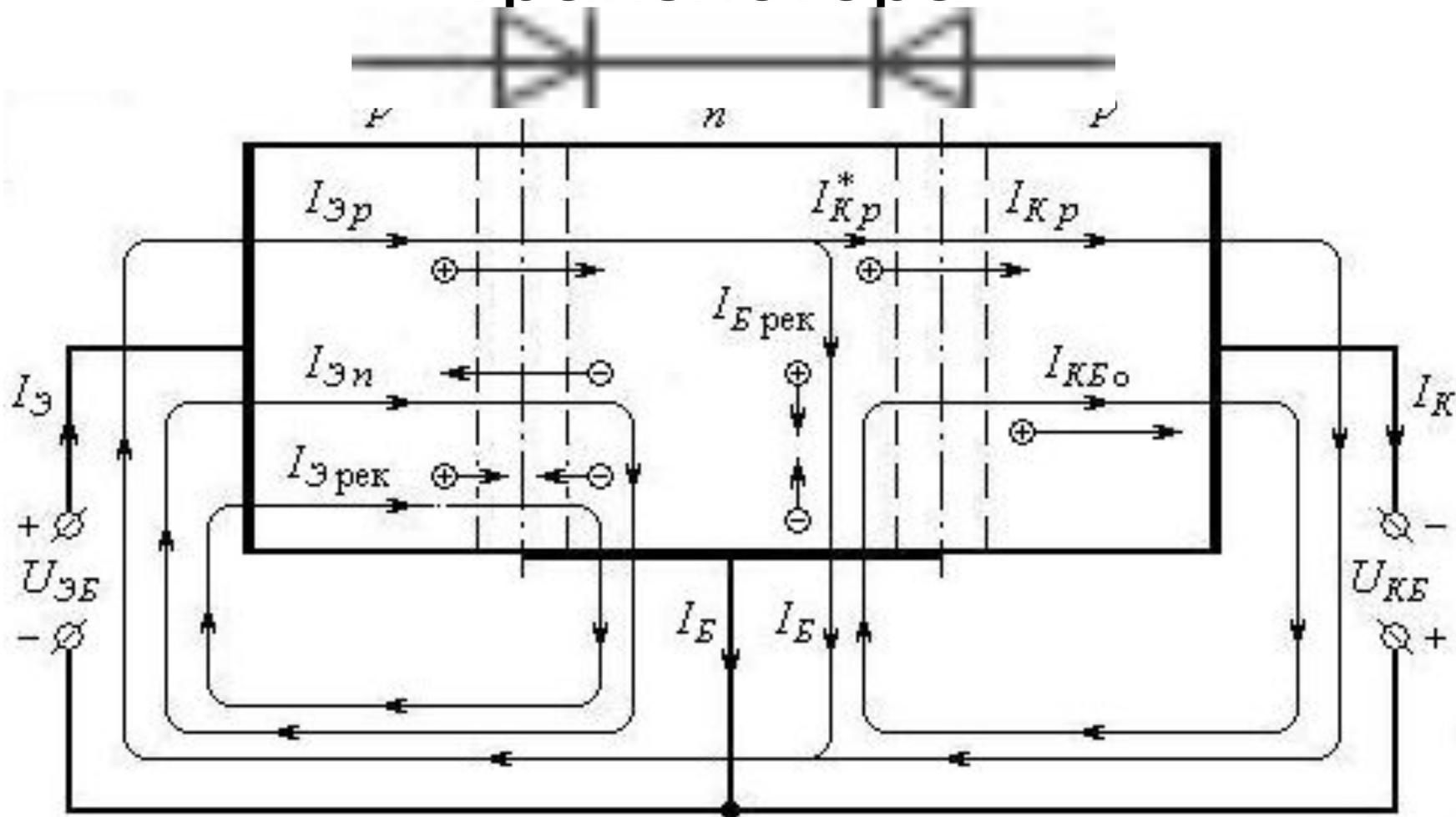


$$i = I_0 \cdot \left(\exp \frac{u_{ид} - I R_b}{m \varphi_T} - 1 \right)$$

$$u_{\partial} = i R_B + m \varphi_T \ln \left(1 + \frac{i}{I_0} \right)$$

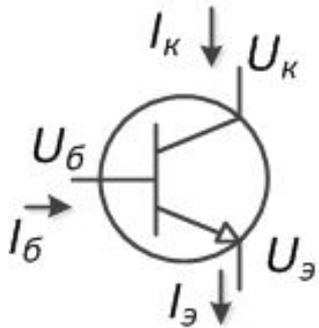


Физические процессы внутри транзистора



Режимы работы транзистора

n-p-n

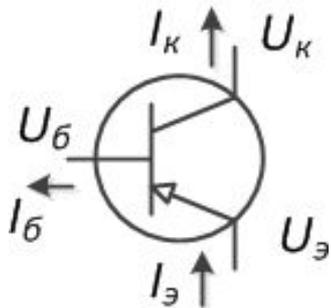


нормальным активным режимом (НАР) – называют режим работы биполярного транзистора любого типа, когда к эмиттерному *p-n*-переходу приложено прямое напряжение и переход открыт, а к коллекторному – обратное и переход закрыт

n-p-n: $U_k > U_b > U_\varepsilon$ *p-n-p*: $U_k < U_b < U_\varepsilon$

инверсным активным режимом называют режим работы БТ, когда эмиттерный переход закрыт, а коллекторный открыт.

p-n-p



n-p-n: $U_k < U_b < U_\varepsilon$ *p-n-p*: $U_k > U_b > U_\varepsilon$

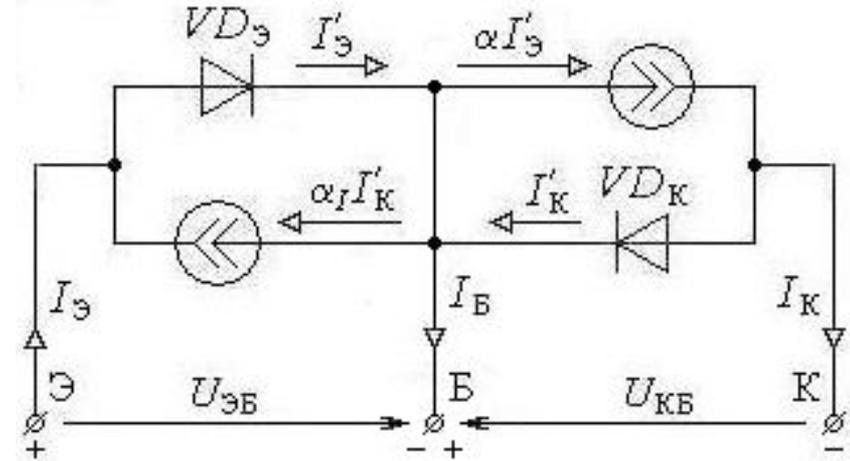
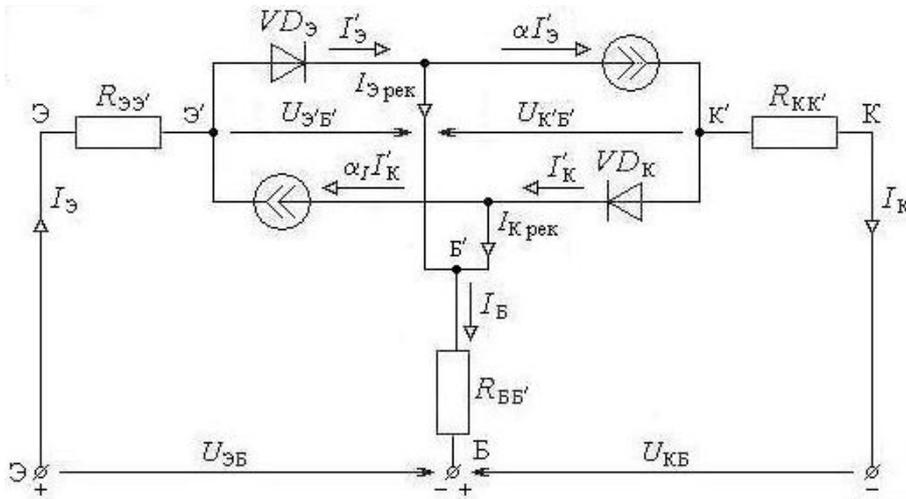
режим отсечки – это когда оба *p-n*-перехода закрыты, то есть к ним приложены обратные напряжения

n-p-n: $U_k > U_b \leq U_\varepsilon$ *p-n-p*: $U_k < U_b \geq U_\varepsilon$

режим насыщения - это когда к *p-n*-переходам приложены прямые напряжения и оба перехода открыты

n-p-n: $U_k < U_b > U_\varepsilon$ *p-n-p*: $U_k > U_b < U_\varepsilon$

Эквивалентная схема БТ



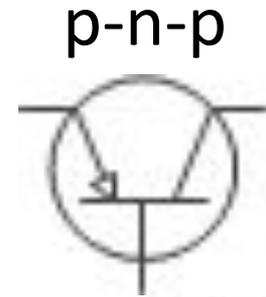
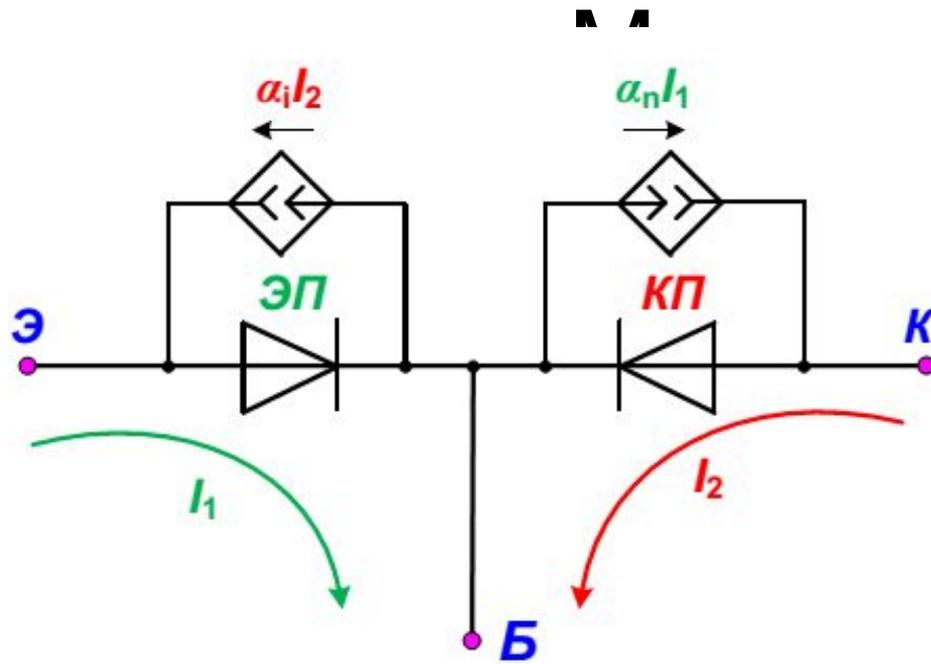
модель Эберс-Молла

$$I_{\text{Э}} = \frac{I_{\text{оЭ}}}{1 - \alpha \alpha_I} \cdot \left(\exp \frac{U_{\text{ЭБ}}}{m_{\text{Э}} \varphi_{\text{T}}} - 1 \right) - \frac{\alpha_I I_{\text{оК}}}{1 - \alpha \alpha_I} \cdot \left(\exp \frac{U_{\text{КБ}}}{m_{\text{К}} \varphi_{\text{T}}} - 1 \right), \quad (6.24)$$

$$I_{\text{К}} = \frac{\alpha I_{\text{оЭ}}}{1 - \alpha \alpha_I} \cdot \left(\exp \frac{U_{\text{ЭБ}}}{m_{\text{Э}} \varphi_{\text{T}}} - 1 \right) - \frac{I_{\text{оК}}}{1 - \alpha \alpha_I} \cdot \left(\exp \frac{U_{\text{КБ}}}{m_{\text{К}} \varphi_{\text{T}}} - 1 \right), \quad (6.25)$$

$$I_{\text{Б}} = \frac{(1 - \alpha) \cdot I_{\text{оЭ}}}{1 - \alpha \alpha_I} \cdot \left(\exp \frac{U_{\text{ЭБ}}}{m_{\text{Э}} \varphi_{\text{T}}} - 1 \right) + \frac{(1 - \alpha_I) \cdot I_{\text{оК}}}{1 - \alpha \alpha_I} \cdot \left(\exp \frac{U_{\text{КБ}}}{m_{\text{К}} \varphi_{\text{T}}} - 1 \right). \quad (6.26)$$

Упрощённая модель Эберса-



$$I_1 = I_{\text{Э}0} (e^{u_{\text{ЭБ}}/\varphi_t} - 1);$$

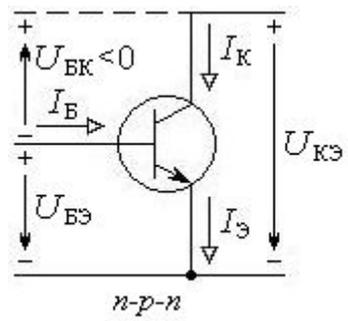
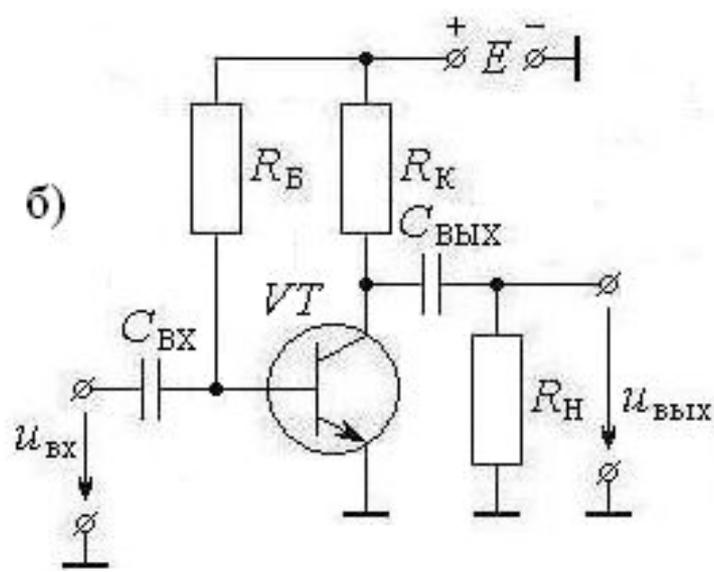
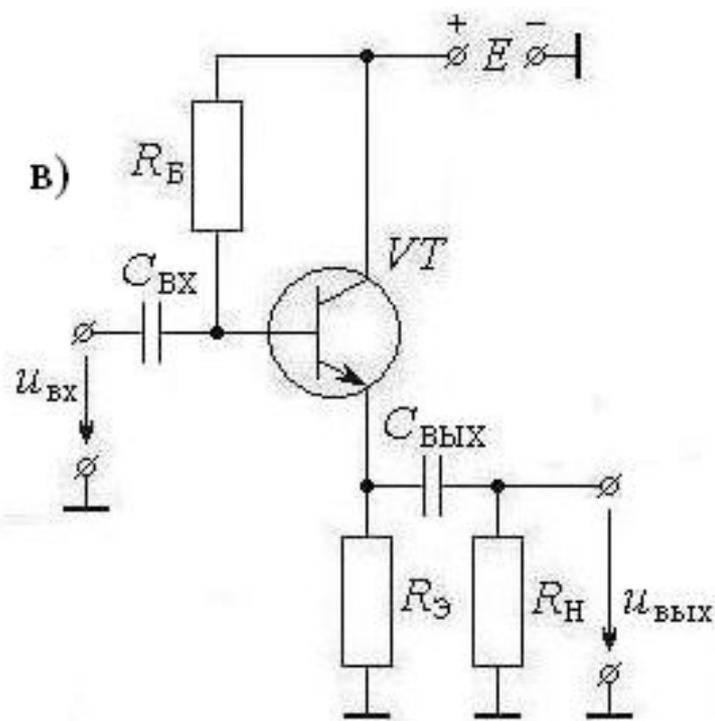
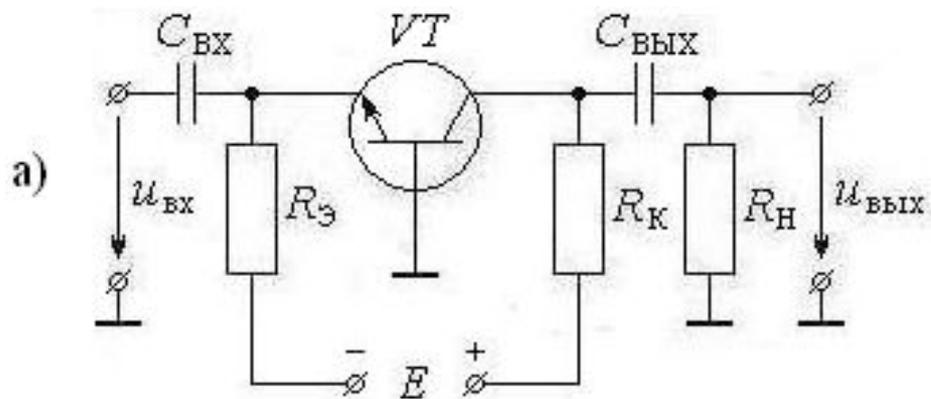
$$I_2 = I_{\text{К}0} (e^{u_{\text{КБ}}/\varphi_t} - 1),$$

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Э}0} (e^{u_{\text{ЭБ}}/\varphi_t} - 1) - \alpha_i I_{\text{К}0} (e^{u_{\text{КБ}}/\varphi_t} - 1)$$

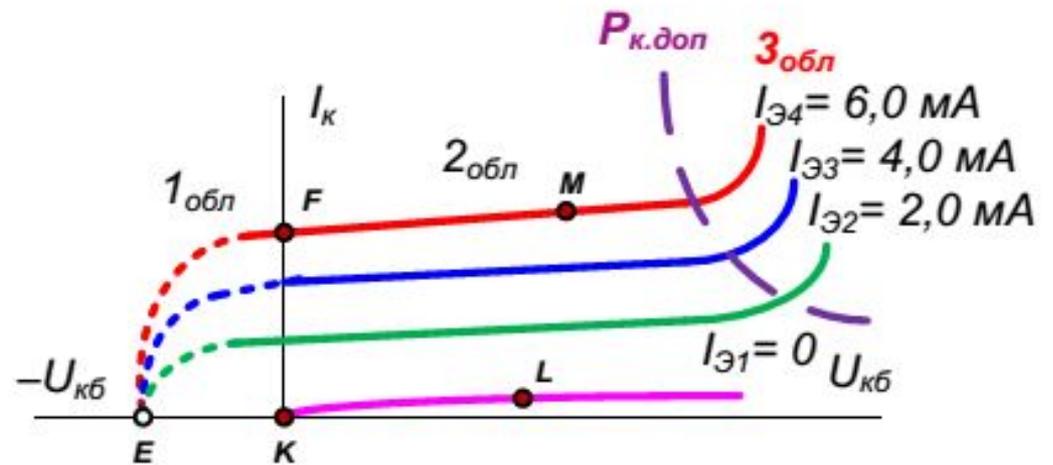
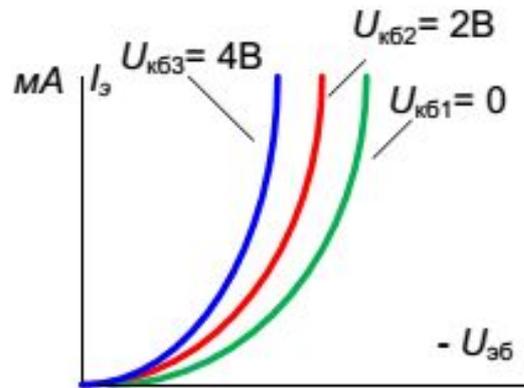
$$I_{\text{К}} = \alpha_n I_{\text{Э}0} (e^{u_{\text{ЭБ}}/\varphi_t} - 1) - I_{\text{К}0} (e^{u_{\text{КБ}}/\varphi_t} - 1)$$

$$I_{\text{Б}} = (1 - \alpha_N) I_{\text{Э}0} (e^{u_{\text{Э}}/\varphi_t} - 1) + (1 - \alpha_i) I_{\text{К}0} (e^{u_{\text{К}}/\varphi_t} - 1).$$

Схемы включения транзистора



Работа транзистора по схеме с ОБ



Исходное состояние транзисторов

- А) n-p-n – закрыт
- Б) p-n-p – закрыт
- В) n-кан ПТ – полуоткрыт
- Г) p-кан ПТ – полуоткрыт
- Д) ПТ с ИЗВК n-типа – полуоткрыт
- Е) ПТ с ИЗВК p-типа – полуоткрыт
- Ё) ПТ с ИЗИК n-типа – закрыт
- Ж) ПТ с ИЗИК p-типа – закрыт

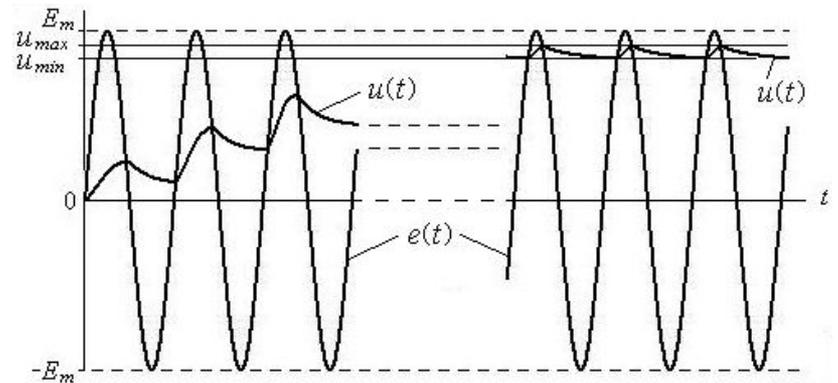
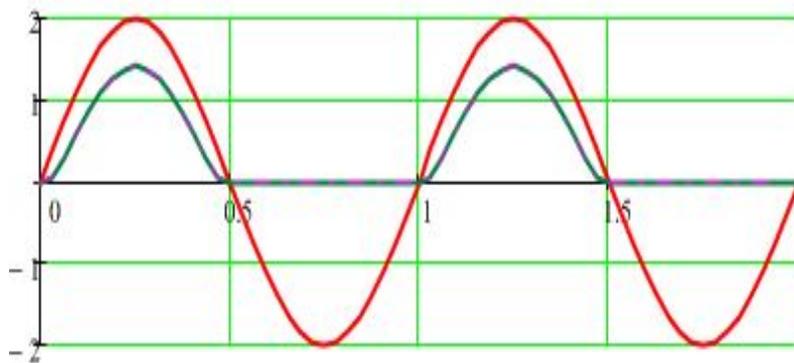
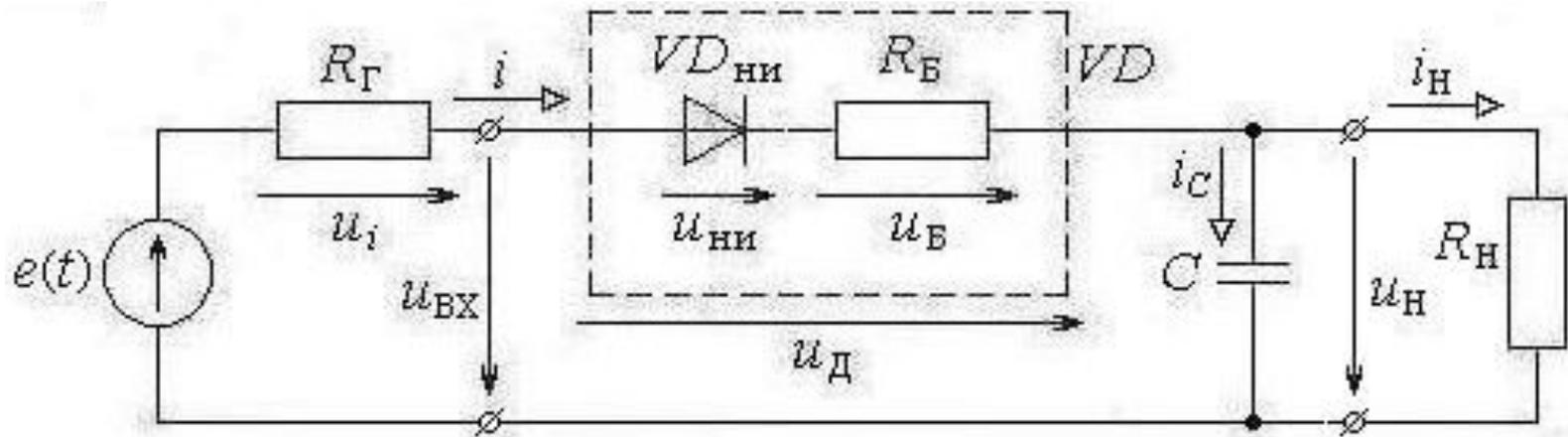
Открывание транзисторов

- А) **n-p-n БТ** – пропустить ток от Б к Э
- Б) **p-n-p БТ** – пропустить ток от Э к Б
- В) **n-кан ПТ** – пропустить ток от З к И
- Г) **p-кан ПТ** – пропустить ток от И к З
- Д) **ПТ с ИЗВК n-типа** – приложить положительный потенциал к З относительно И
- Е) **ПТ с ИЗВК p-типа** – приложить отрицательный потенциал к З относительно И
- Ё) **ПТ с ИЗИК n-типа** – приложить положительный потенциал к З относительно И
- Ж) **ПТ с ИЗИК p-типа** – приложить отрицательный потенциал к З относительно И

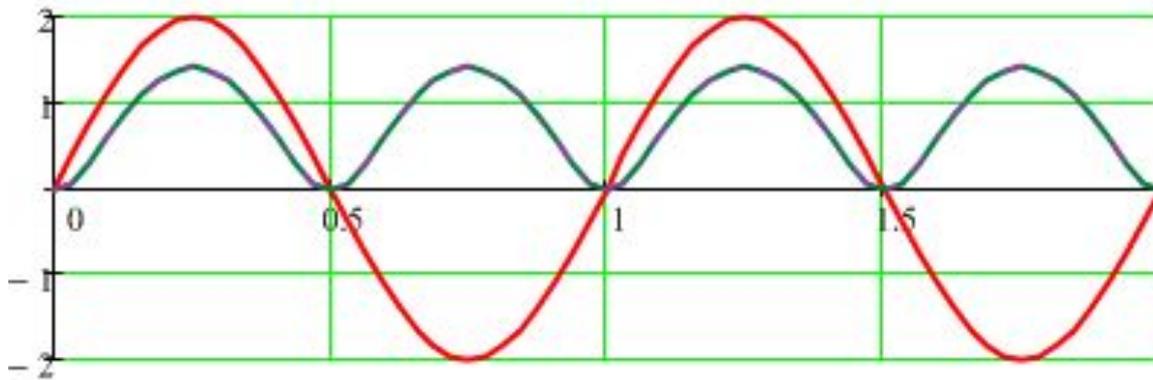
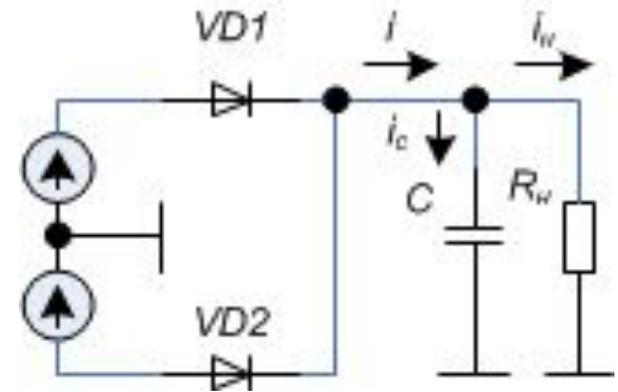
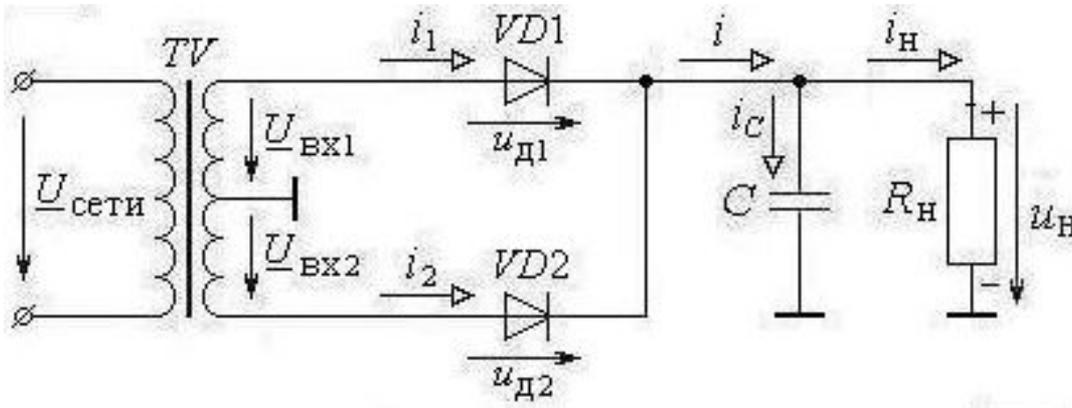
Закрывание транзисторов

- А) **n-p-n БТ** – и так закрыт
- Б) **p-n-p БТ** – и так закрыт
- В) **n-кан ПТ** – приложить отрицательный потенциал к $\bar{3}$ относительно И
- Г) **p-кан ПТ** – приложить положительный потенциал к $\bar{3}$ относительно И
- Д) **ПТ с ИЗВК n-типа** – приложить отрицательный потенциал к $\bar{3}$ относительно И
- Е) **ПТ с ИЗВК p-типа** – приложить положительный потенциал к $\bar{3}$ относительно И
- Ё) **ПТ с ИЗИК n-типа** – и так закрыт
- Ж) **ПТ с ИЗИК p-типа** – и так закрыт

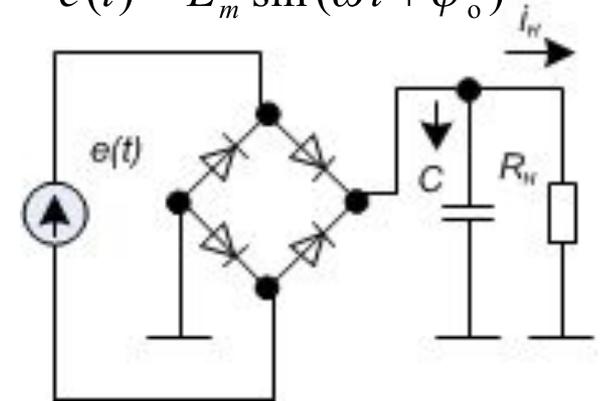
Однополупериодный выпрямитель



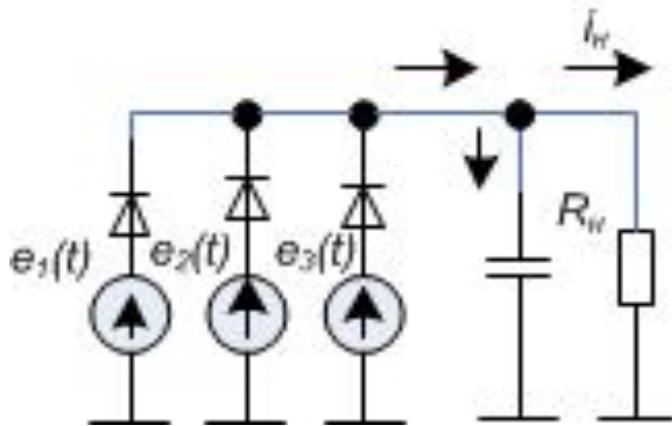
Двухполупериодный выпрямитель



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



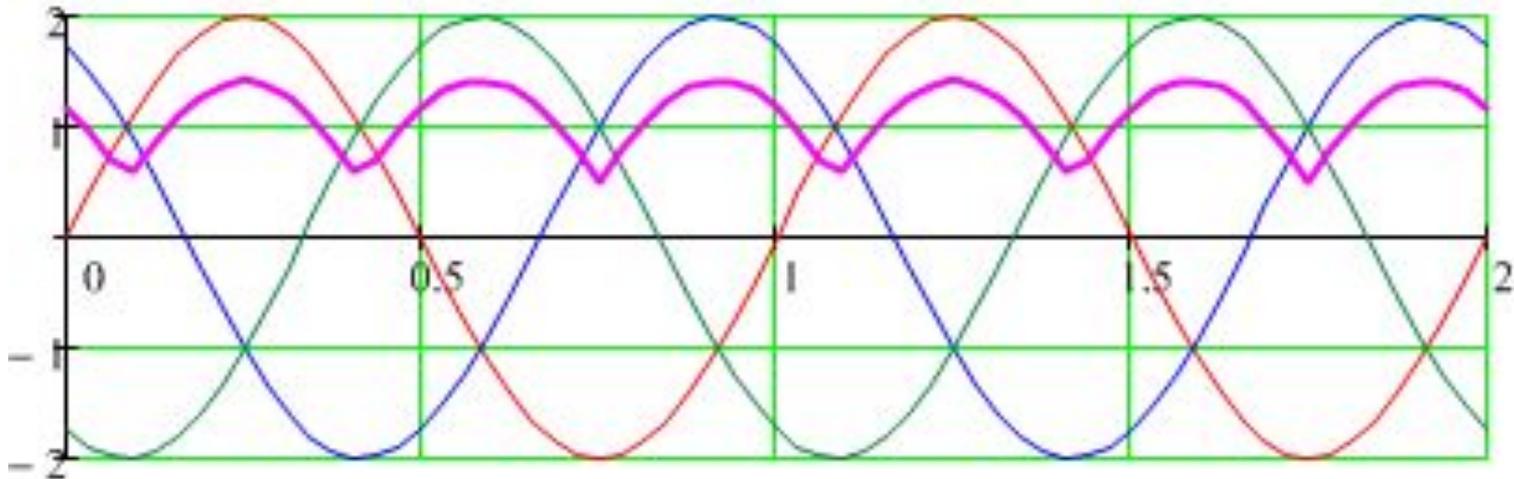
3-фазный выпрямитель



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

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

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



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_{σ} - 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

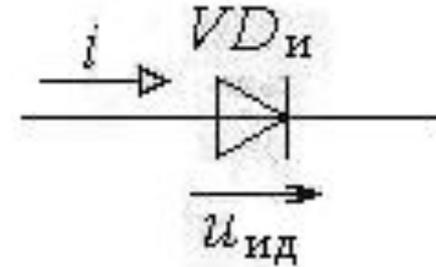
Постоянный прямой ток $I_{пр}$ (I_f)-
постоянный ток, протекающий через диод в прямом направлении.

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

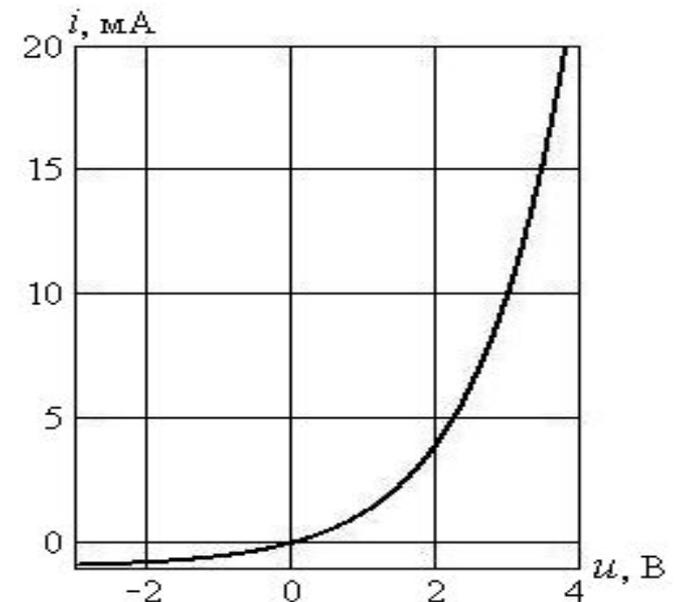
Постоянное обратное напряжение $U_{обр}$ - Постоянное напряжение приложенное к диоду в обратном направлении.

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)"



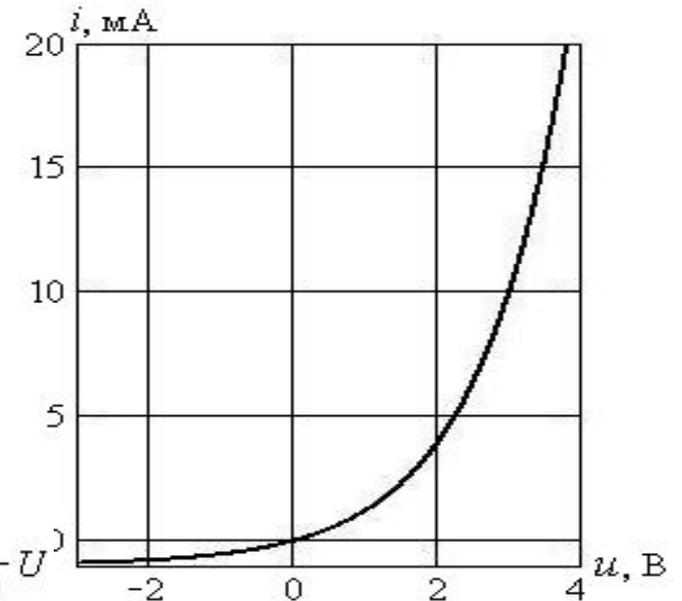
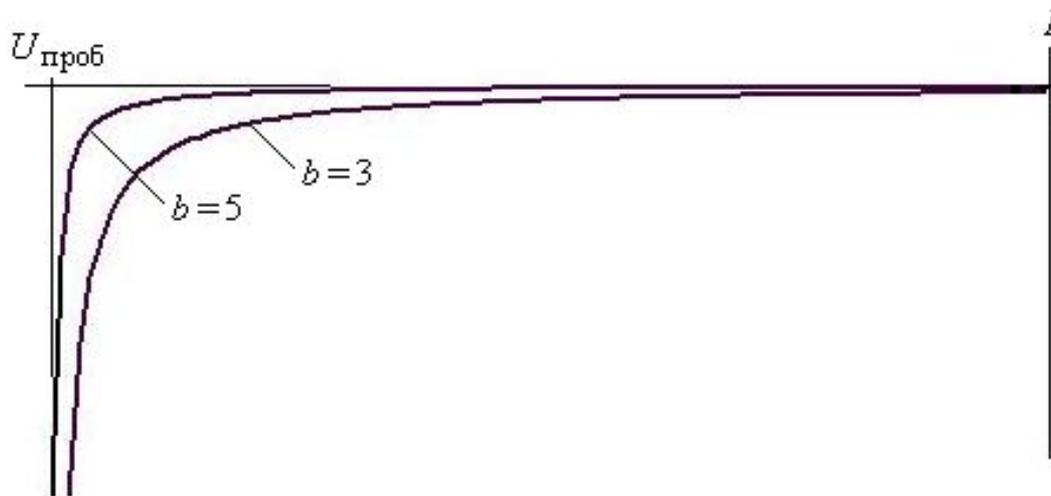
$$u_d = i R_B + m \varphi_T \ln \left(1 + \frac{i}{I_o} \right)$$



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.

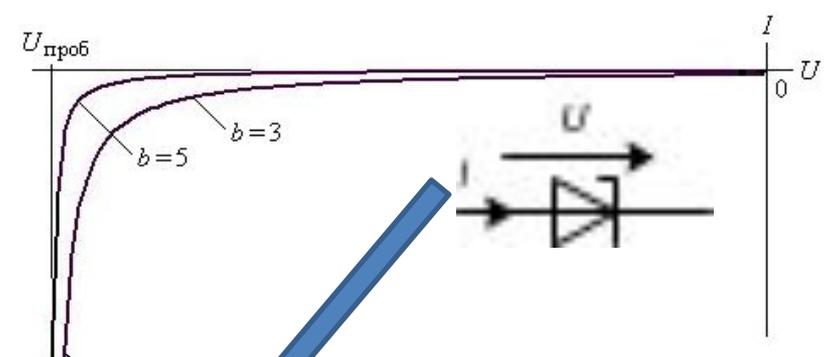
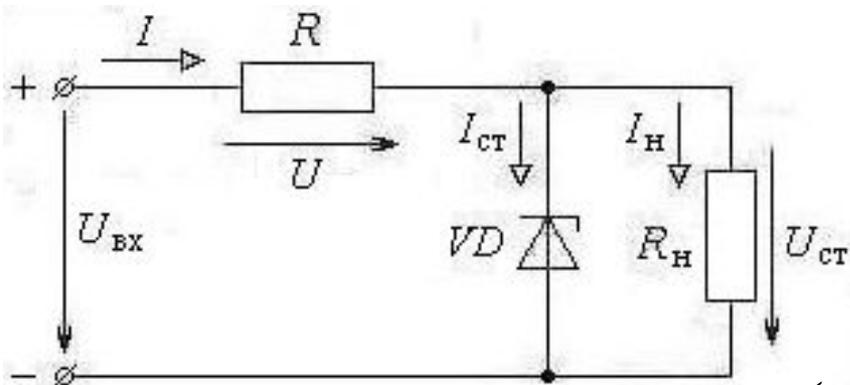
Туннельный пробой представляет собой переход электронов сквозь потенциальный (энергетический) барьер между переходами - без изменения энергии. Такой переход называют туннельным эффектом.

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

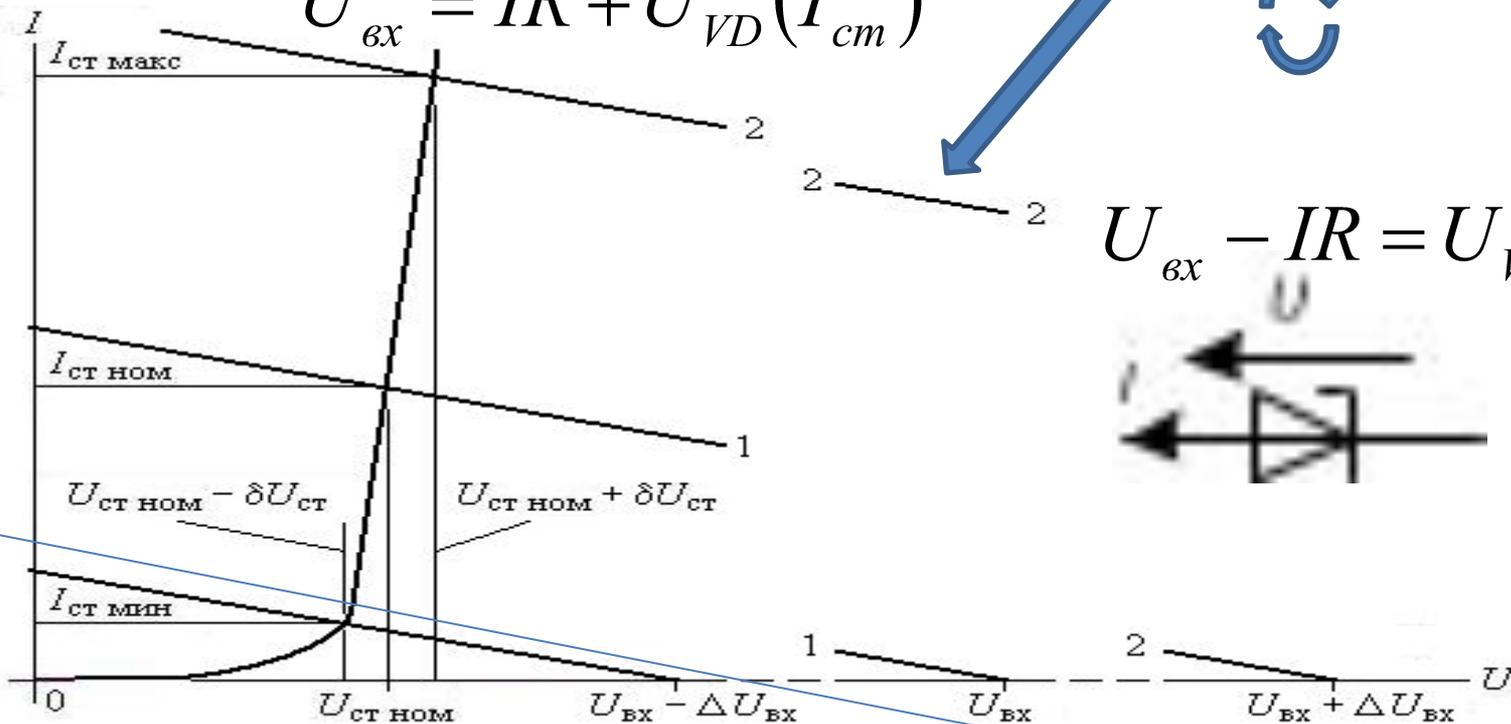
$$P_{\text{выд}} = U_{\text{обр}} I_{\text{обр}}$$

Стабилитрон

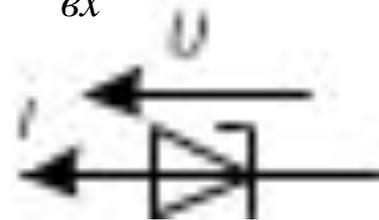


$$U_{BX} = IR + U_{VD}(I_{cm})$$

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



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



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

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

