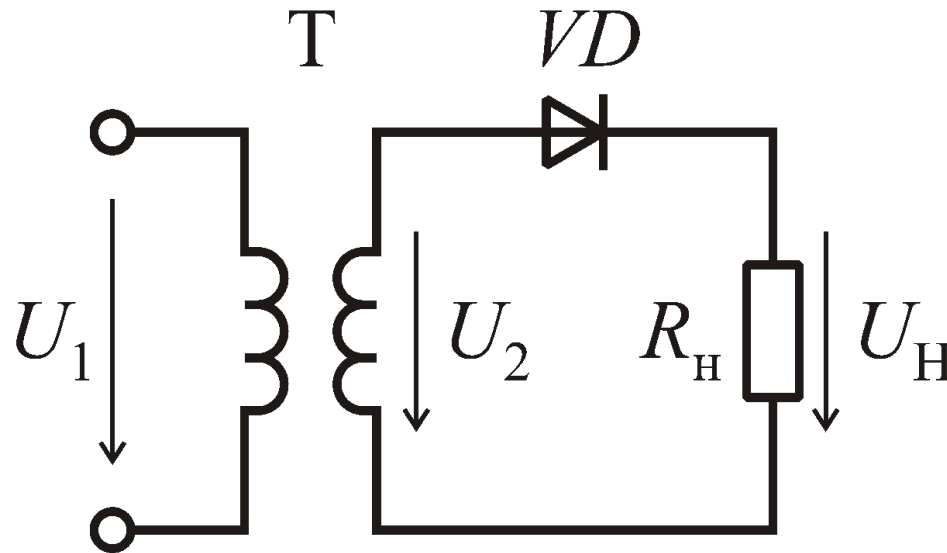


Выпрямители

Выпрямители преобразуют переменное напряжение питающей сети в пульсирующее однополярное.

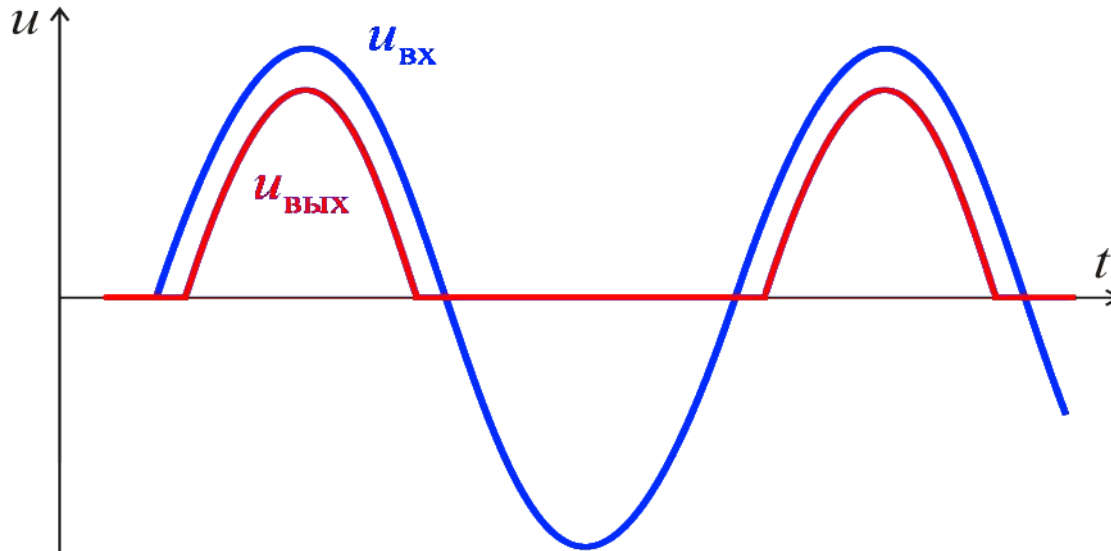
Основными компонентами выпрямителей служат вентили – элементы с явно выраженной нелинейной ВАХ. В качестве таких элементов используют кремниевые диоды.

Однополупериодный выпрямитель



Выпрямители

Напряжения на входе и выходе однополупериодного выпрямителя



Среднее значение
выпрямленного напряжения

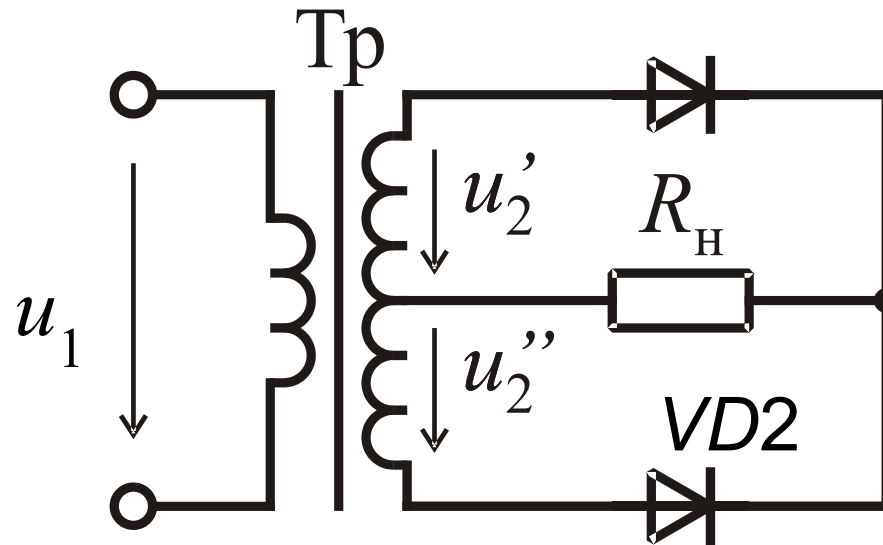
$$U_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{ВХ м}}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}U_{\text{ВХ}}}{\pi} \approx 0.45U_{\text{ВХ}}$$

Максимальное обратное
напряжение на диоде

$$U_{\text{обр max}} = \sqrt{2}U_{\text{ВХ}} = \pi U_{\text{ср}}$$

Выпрямители

Двухполупериодный выпрямитель с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора

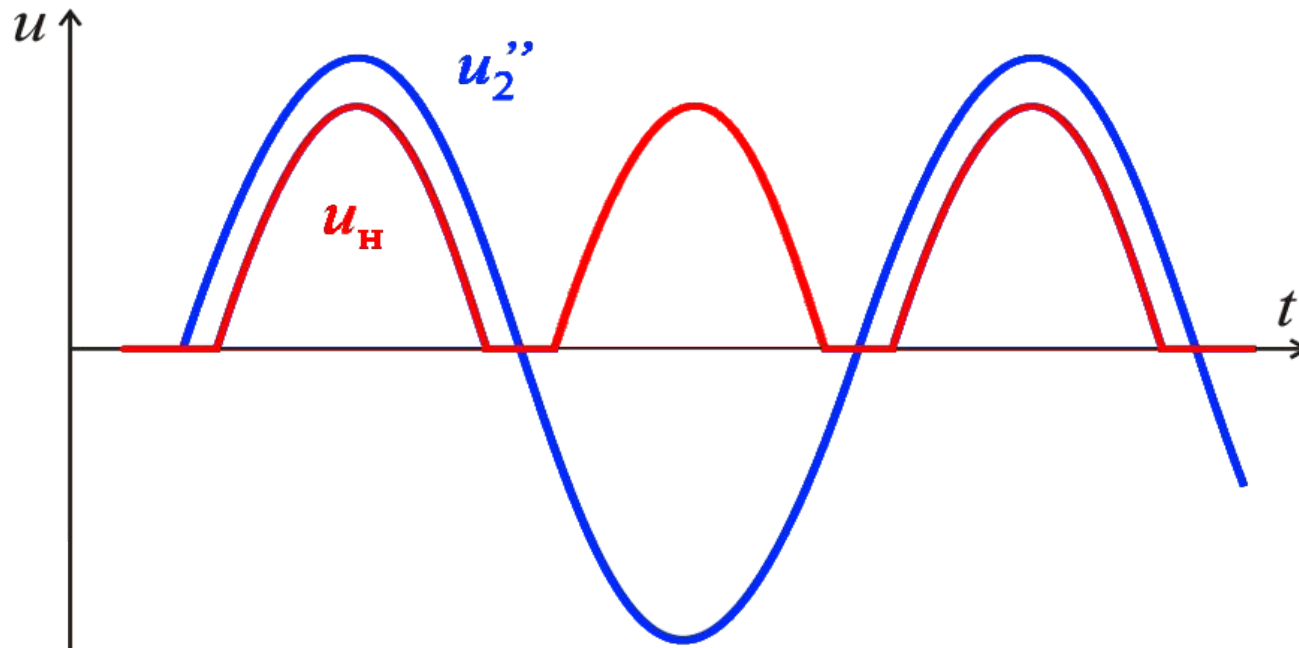


Диоды проводят ток поочередно, каждый в течение полупериода.

В положительный полупериод открыт диод $VD1$, а в отрицательный – диод $VD2$.

Выпрямители

Напряжение на нагрузке

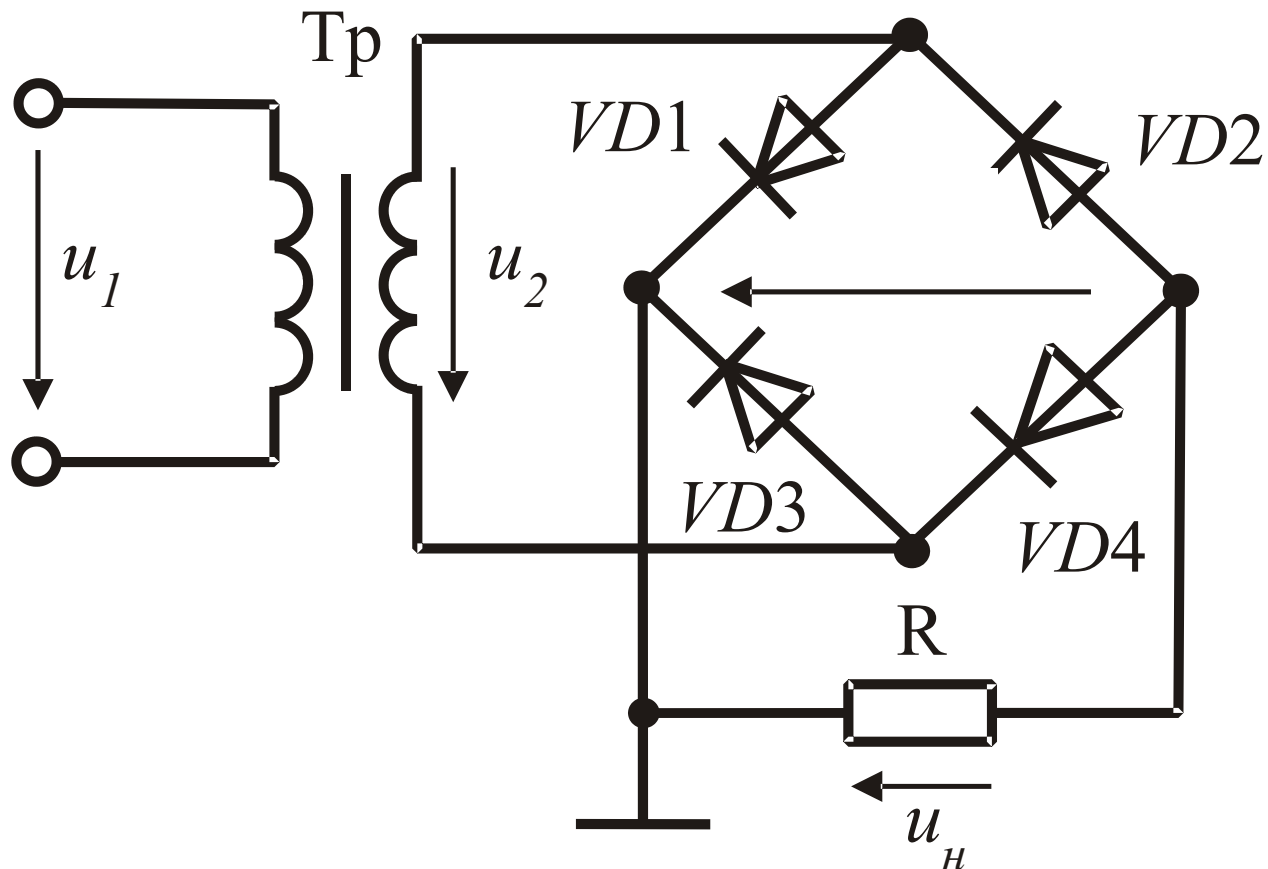


Средние значения тока и напряжения нагрузки

$$I_H = \frac{2}{\pi} I_{2m} \quad ; \quad U_H = \frac{2U'_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2}U'_2}{\pi} \approx 0.9U_2$$

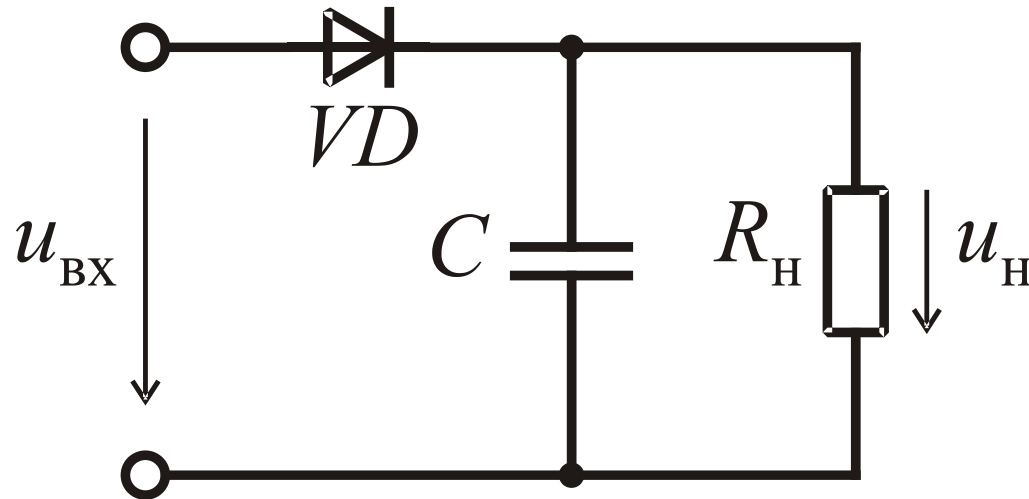
Выпрямители

Мостовая схема двухполупериодного выпрямителя



Выпрямители

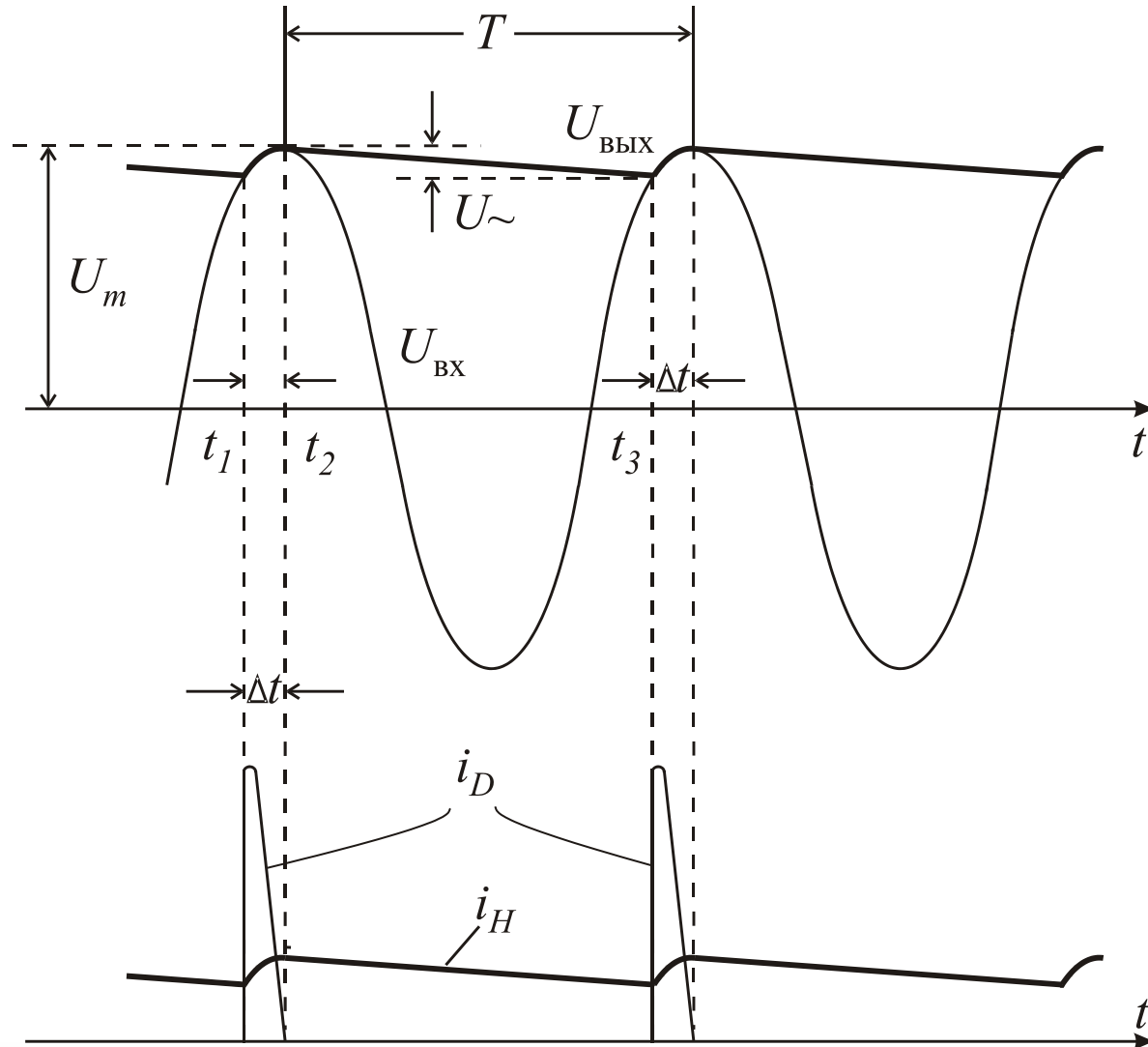
Для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения используют специальные устройства – сглаживающие фильтры. Емкостный фильтр (С-фильтр) в схеме однополупериодного выпрямителя



Сглаживание пульсаций выпрямленного напряжения происходит за счет периодической зарядки конденсатора C (когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора превышает напряжение на нагрузке) и последующей его разрядки на сопротивление нагрузки

Выпрямители

Временные диаграммы напряжений и токов выпрямителя



Выпрямители

На интервале времени $t_1 - t_2$ диод открыт и конденсатор заряжается.

На интервале $t_2 - t_3$ диод закрыт и конденсатор разряжается через сопротивление R_H

Амплитуда пульсаций выпрямленного напряжения

$$U_r \approx \frac{U_m}{fR_H C}$$

f - частота входного напряжения

Амплитуда пульсаций напряжения на выходе двухполупериодного выпрямителя

$$U_r \approx \frac{U_m}{2fR_H C}$$

Биполярные транзисторы

Предназначены для усиления сигналов и управления током в схемах полупроводниковой электроники.

Представляют из себя трехслойную структуру с чередующимися слоями проводимости, имеют три вывода для подключения к внешней цепи.

В этой трёхслойной структуре имеются два р-п перехода.

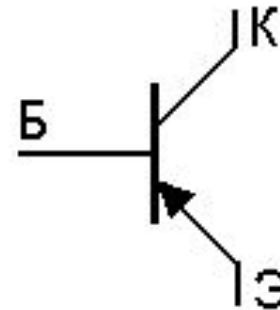
Термин «биполярные» подчеркивает то, что у таких транзисторов используется оба типа носителей зарядов (электроны и дырки).

Существует два типа транзисторов:

1. С прямой проводимостью (р-п-р)
2. С обратной проводимостью (п-р-п)



С обратной проводимостью



С прямой проводимостью

Э-Б – эмиттерный переход.
Б-К – коллекторный переход.

Крайние слои называются
эмиттером и коллектором.
Между ними – база.

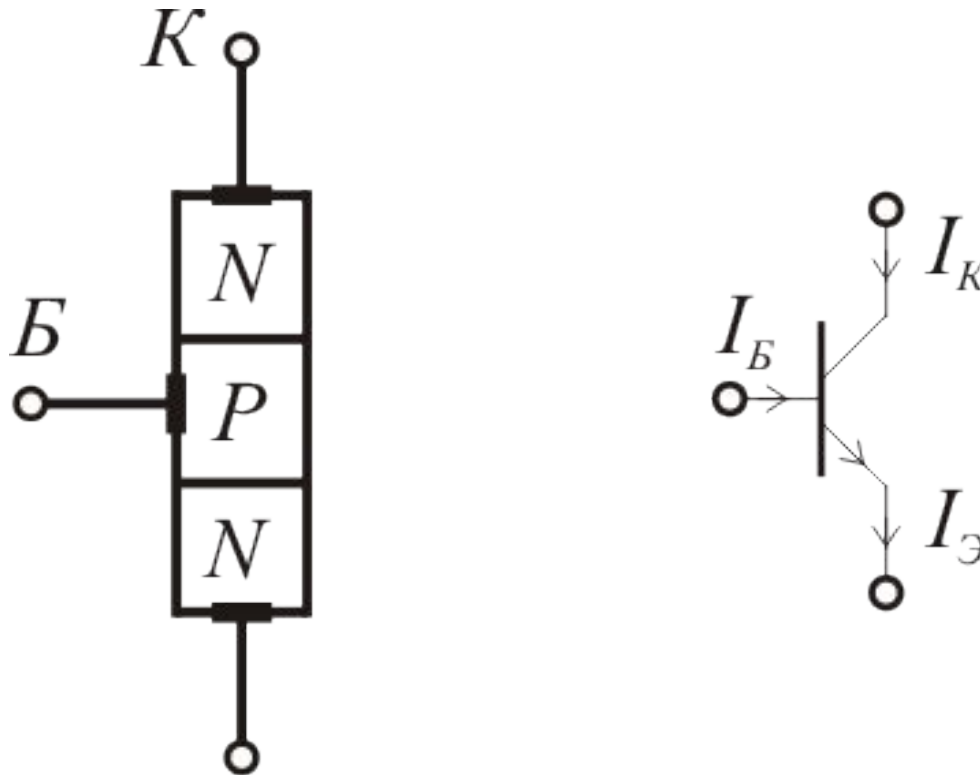
Особенности конструкции:

1. Толщина базы должна быть малой по сравнению с длиной свободного пробега носителей зарядов (примерно 20-30 мкм).
2. Концентрация примесей и основных носителей в эмиттере должна быть много больше, чем в базе.

Биполярные транзисторы

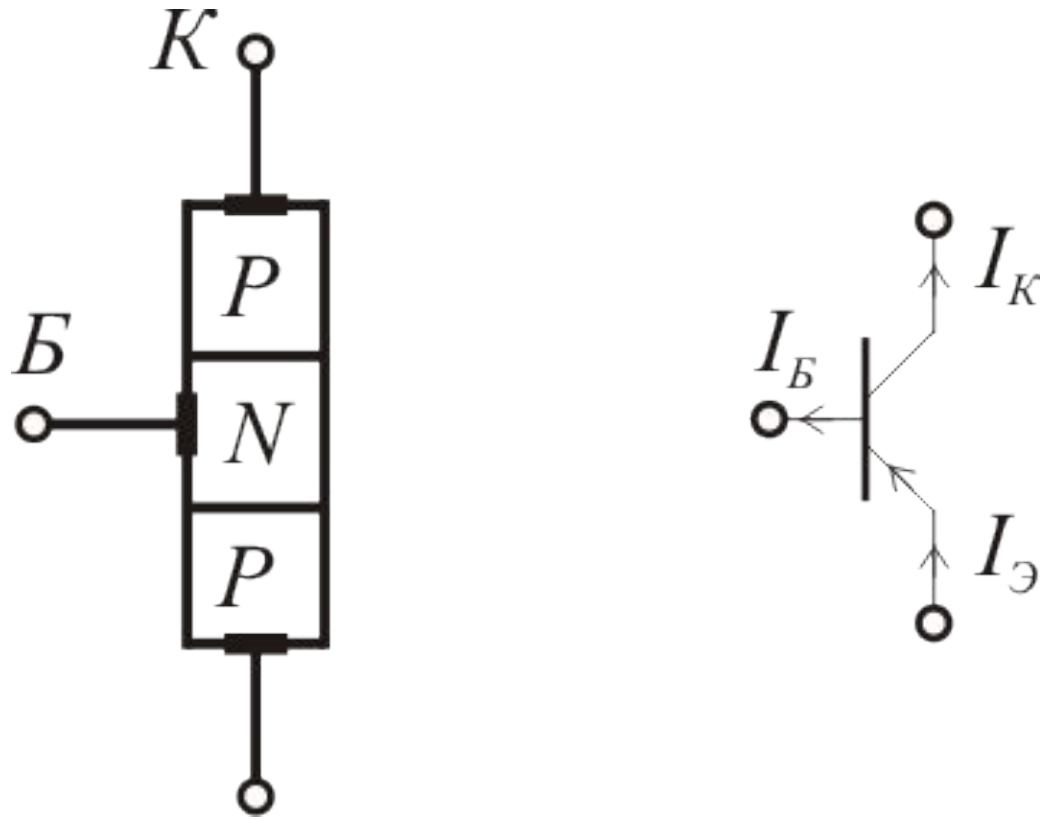
Биполярный транзистор – трёхполюсный полупроводниковый прибор с двумя p – n -переходами

n – p – n - транзистор



Биполярные транзисторы

p-n-p- транзистор



Так для р-п-р транзистора должны соблюдаться условия :

$$N_a \gg N_d, p_p \gg n_n.$$

Здесь N_a – концентрация акцепторной примеси,

N_d – концентрация донорной примеси,

p_p – концентрация дырок, n_n – концентрация электронов.

Эмиттерный переход смещен в прямом направлении, коллекторный в обратном.

Схемы с общим эмиттером (ОЭ):

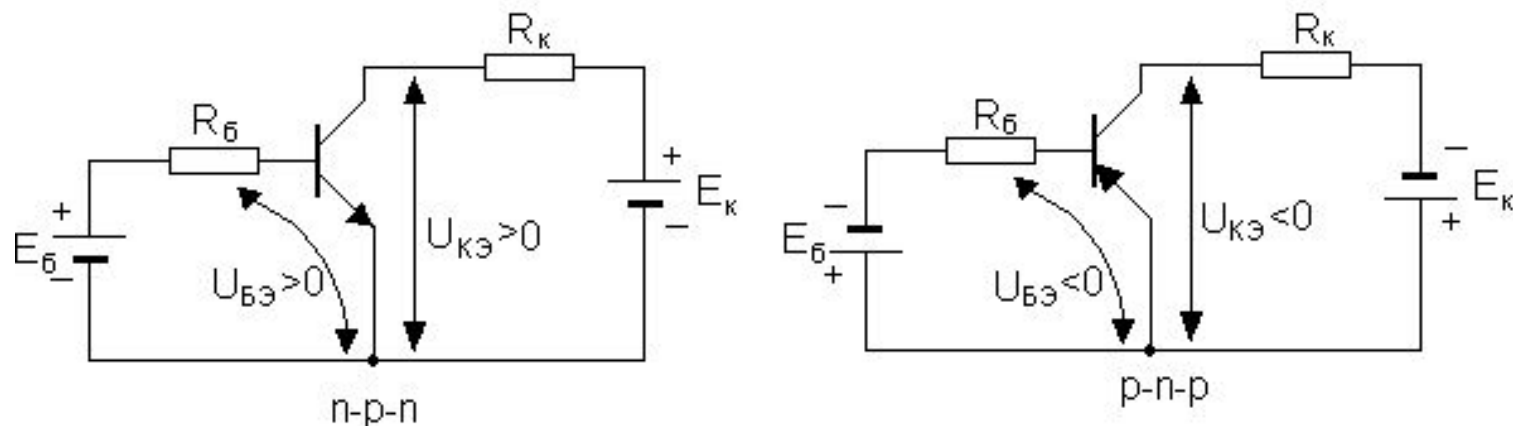


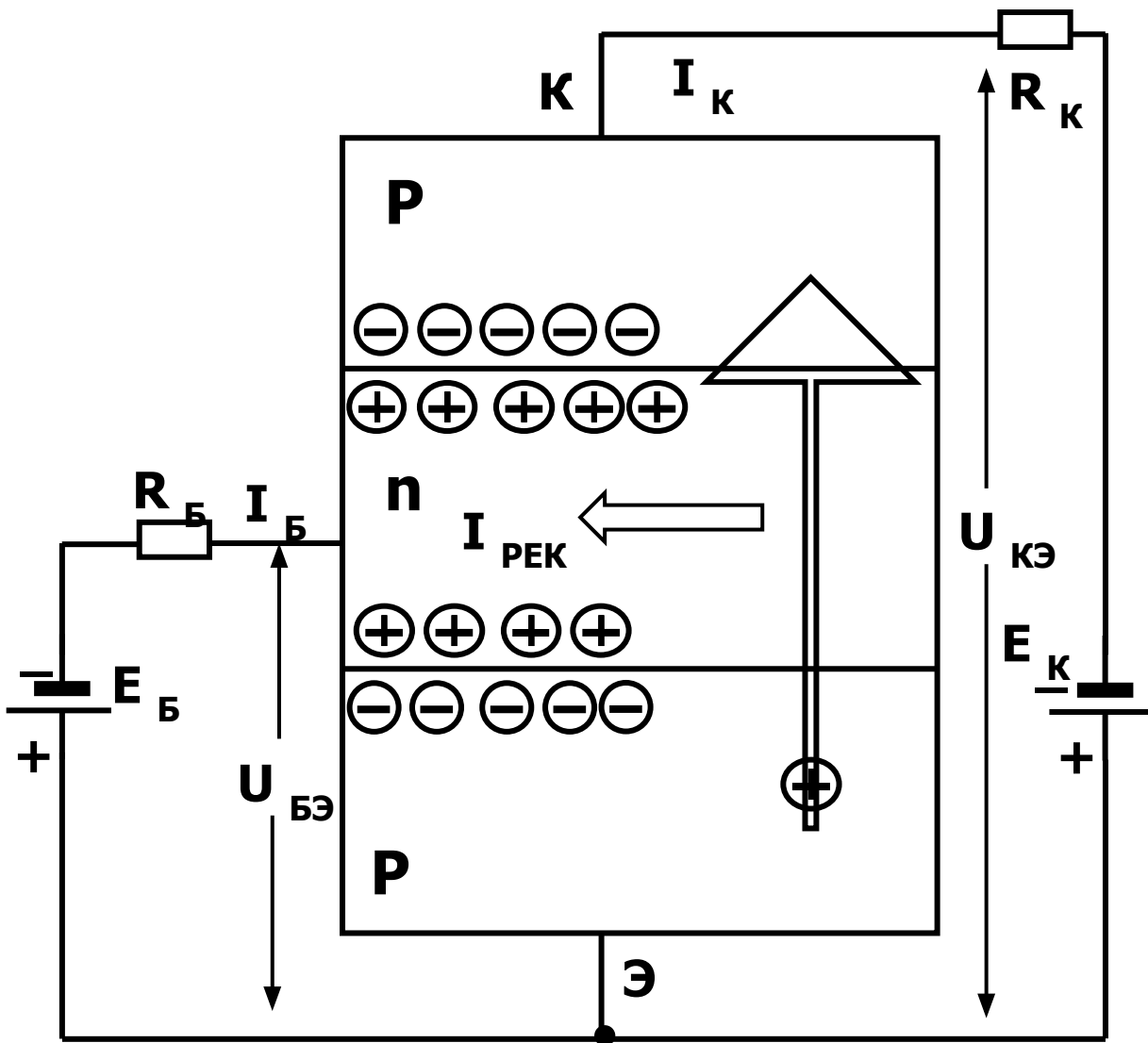
Схема с общим эмиттером называется так потому, что входная и выходная цепь имеют общую точку на эмиттере.

Принцип действия транзистора

Рассмотрим на примере р-п-р транзистора.

При $U_{БЭ} = 0$ и $U_{КЭ} = 0$

происходит диффузия дырок из эмиттера в базу, т.к. концентрация дырок в эмиттере много больше, чем электронов в базе. перейдя под действием сил диффузии металлургическую границу, дырки рекомбинируют с основными носителями базы. Рекомбинация – это встреча электронов с дырками.



Рекомбинация – это встреча электронов с дырками. При этом происходит возврат электронов из зоны проводимости в валентную зону. Также исчезают свободные заряды.

За счет ухода основных носителей из одного слоя и их рекомбинации в другом, вблизи металлургической границы возникает область, обеднённая подвижными носителями заряда и имеющая высокое сопротивление (запирающий слой).

В запирающем слое нарушается баланс положительных и отрицательных зарядов, т.к. при уменьшении концентрации подвижных носителей оказывается нескомпенсированным объёмный заряд неподвижных ионов примесей : в p-слое – отрицательных, а в n- слое – положительных ионов.

Этот двойной электрический слой создает электрическое поле с напряженностью E_0 , и возникает потенциальный барьер ϕ_0 .

Электрическое поле, возникшее внутри запирающего слоя, вызывает направленное движение носителей через переход – дрейфовый ток, направленный навстречу току диффузии через переход.

Рост двойного электрического слоя прекращается тогда, когда суммарный ток через переход равен нулю, т.е.

$$I_{\text{диф}} = - I_{\text{дрейфа}} \cdot$$

Такой режим соответствует равновесному состоянию р – n перехода.

Включим источники ЭДС и .

Потенциальный барьер на эмиттерном переходе уменьшится, так как полярность приложенного к нему напряжения – прямая ток диффузии через эмиттерный переход увеличится.

На коллекторном переходе полярность обратная потенциальный барьер коллекторного перехода увеличится.

Т.к. база тонкая, почти все дырки подойдут к коллекторному переходу, не попадая в центры рекомбинаций.

Центры рекомбинаций – это дефекты кристаллической решетки (нарушения кристаллической структуры, случайные примеси, трещины, дефекты в поверхностных слоях).

Центры рекомбинаций – это дефекты кристаллической решетки (нарушения кристаллической структуры, случайные примеси, трещины, дефекты в поверхностных слоях).

Дырки, подошедшие к коллекторному переходу будут втягиваться в коллектор (так как напряженность электрического поля коллекторного перехода будет «втягивающей» для неосновных носителей – дырок в базе n – типа).

Ток дырок, попавших из эмиттера в коллектор будет замыкаться через внешнюю цепь.

При этом приращение тока эмиттера $\Delta I_{\text{э}}$ вызовет приращение тока коллектора $\Delta I_{\text{к}}$.

$$\Delta I_{\text{к}} = \alpha \cdot \Delta I_{\text{э}} \quad \text{здесь}$$

α – коэффициент передачи тока эмиттера. $\alpha = 0,9-0,99$.

$\alpha < 1$, т.к. небольшая часть дырок из эмиттера всё же рекомбинирует с электронами в базе.

База была электрически нейтральна, т.к. избыточный заряд подвижных носителей – электронов компенсировался зарядом положительных неподвижных ионов примесей.

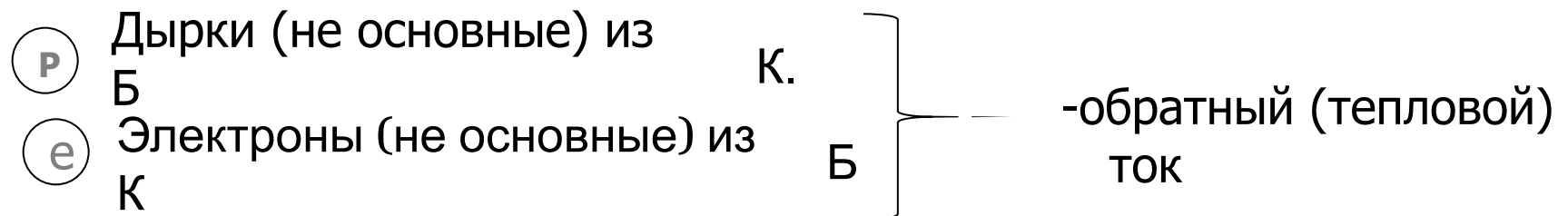
Т.к. небольшая часть дырок из эмиттера всё же рекомбинирует с электронами в базе, нейтральность базы нарушится и для её восстановления из внешней цепи за счет $U_{БЭ}$ будут поступать электроны.

$$I_{\text{нБ}} = I_{\text{реком.}} = I_{\text{э}} - I_{\text{нК}} = I_{\text{э}} - \alpha I_{\text{э}} = (1 - \alpha) I_{\text{э}}$$

Основные соотношения между токами в транзисторе.

$$\Delta I_K = \alpha \cdot \Delta I_E \quad \alpha = 0,9 \div 0,99$$

Через коллекторный переход кроме движения основных носителей есть ещё движение неосновных носителей. Этот ток мал.

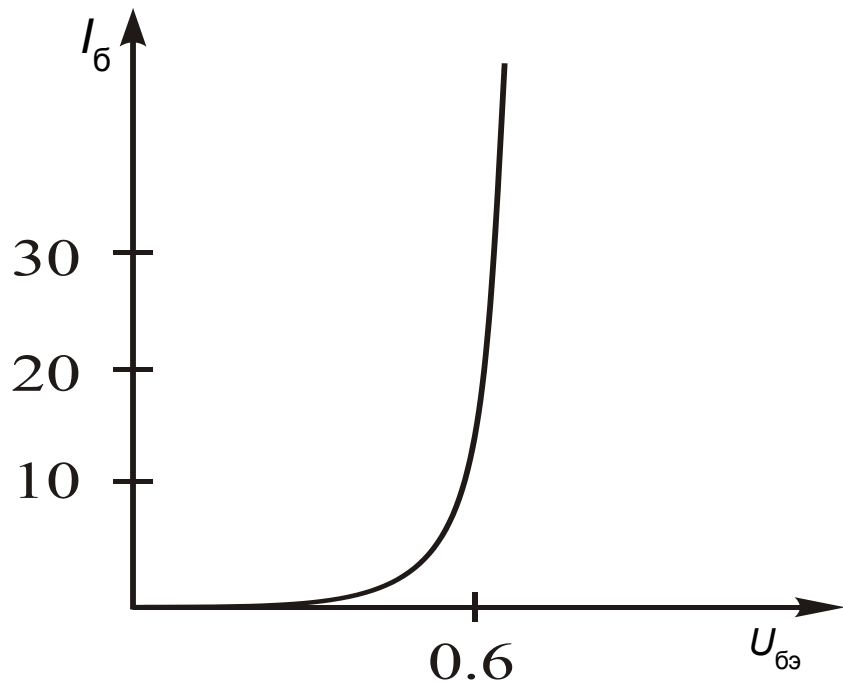


Полный ток через коллекторный переход, обусловленный и основными и неосновными носителями :

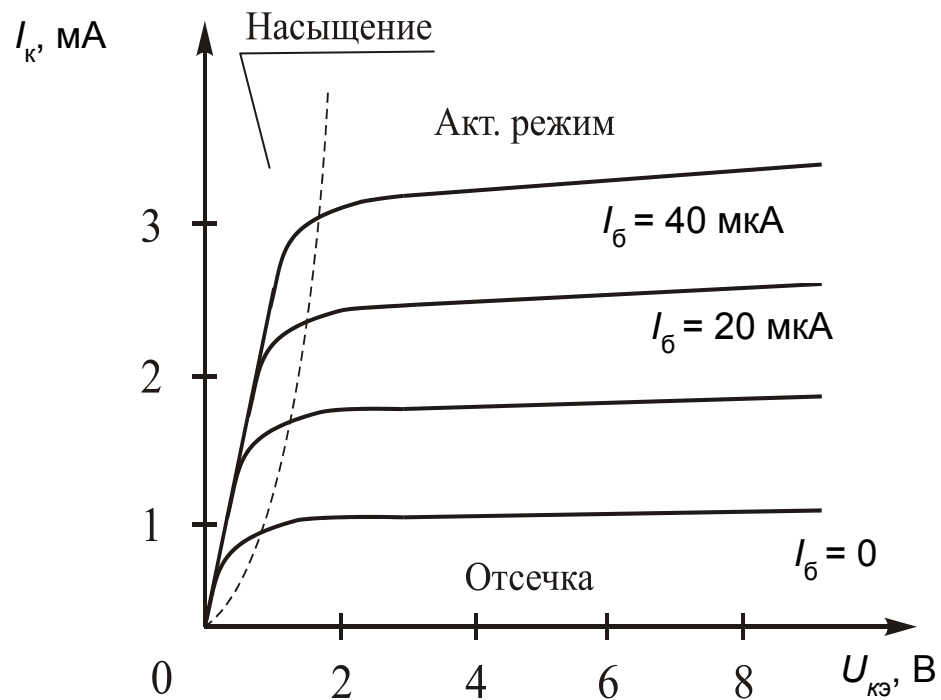
$$I_K = \alpha I_E + I_{КБО} \quad (1)$$

$$I_B = I_E - I_K = I_E - \alpha I_E - I_{КБО} = (1 - \alpha) I_E - I_{КБО} \quad (2)$$

Входная характеристика



Выходные характеристики



Работа транзистора в режиме переключения

Основой схем импульсной и цифровой техники является транзисторный ключ, т.е. каскад на транзисторе, работающем в двух режимах: насыщенный (ключ открыт) и отсечки (ключ закрыт). Транзисторный ключ может быть построен по схемам с ОБ, ОЭ и ОК, однако, наибольшее распространение нашел ключ по схеме с ОЭ.

Имея малое сопротивление во включенном состоянии и большое - в выключенном, биполярный транзистор достаточно полно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к ключевым элементам.

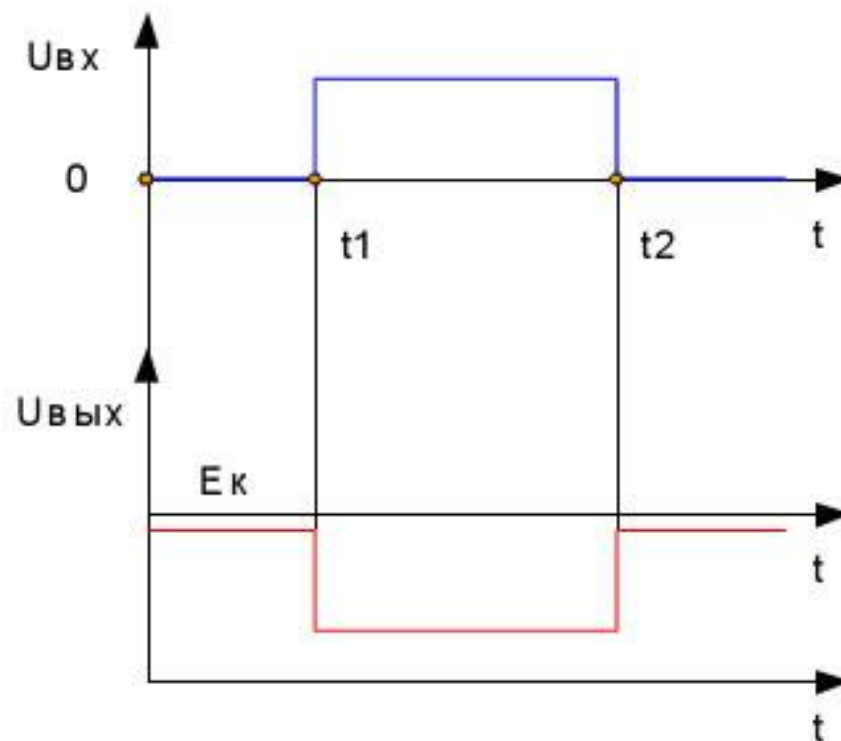
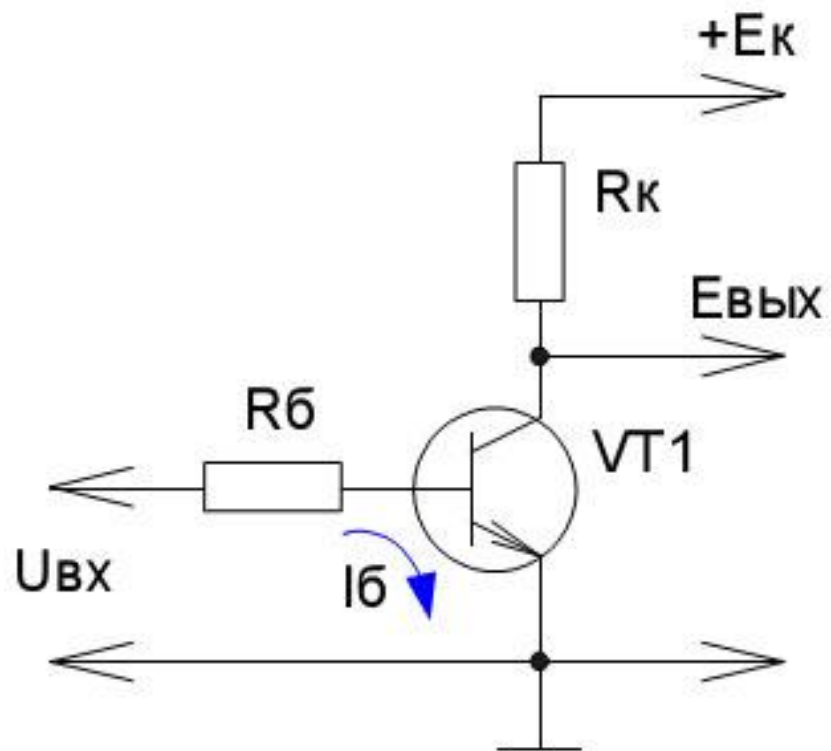
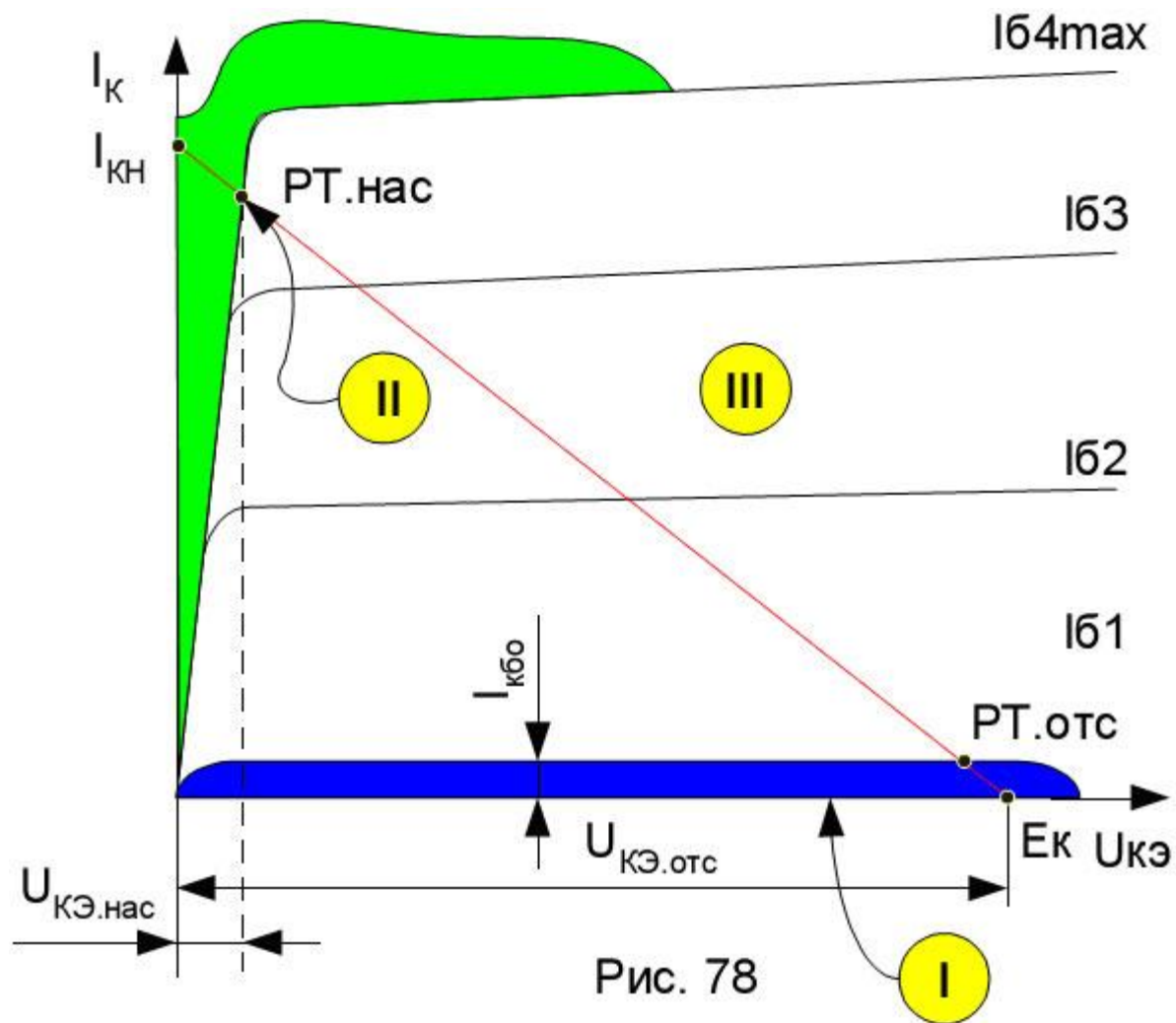


Рис. 3. Схема транзисторного ключа.

Резистор R_b ограничивает ток базы транзистора, чтобы он не превышал максимально допустимого значения. В промежуток времени от 0 до t_1 входное напряжение и ток базы близки к нулю, и транзистор находится в режиме отсечки. Напряжение $U_{кэ}$, является выходным и будет близко к E_k . В промежуток времени от t_1 до t_2 входное напряжение и ток базы транзистора становятся максимальными, и транзистор перейдет в режим насыщения. После момента времени t_2 транзистор переходит в режим отсечки. Вывод: транзисторный ключ является инвертором, т. е. изменяет фазу сигнала на 180 градусов.



Нагрузочная характеристика транзисторного ключа.

Когда нет импульса на входе, транзистор находится в режиме отсечки и ток коллектора практически отсутствует $I_K \gg I_{KB0}$ (точка отс. на выходных характеристиках (рис.78). Напряжение на выходе транзистора $u_{KЭ} = E_{KЭ} - I_K * R_K \approx E_{KЭ}$.

При подаче на вход транзистора импульсов прямого тока $i_B = (U_{ВХ})/R_B = I_{B НАС}$, транзистор открывается, рабочая точка перемещается в точку нас. (режим насыщения рис.78) и напряжение на коллекторе падает до значения $u_{KЭ} = E_{KЭ} - I_{K НАС} \times R_K = U_{KЭ ОСТ}$. При дальнейшем увеличении тока базы ток коллектора не увеличивается (рис.78) и напряжение на коллекторе не изменяется.

Ключевым режимом работы транзистора называется такой режим, при котором рабочая точка транзистора скачкообразно переходит из режима отсечки в режим насыщения и наоборот, минуя линейный режим.

При практическом использовании транзистора большое значение имеет скорость переключения, обуславливающая быстроедействие аппаратуры. Скорость переключения определяется процессами накопления и рассасывания неравновесного заряда в базе и коллекторе транзистора, эмиттерном и коллекторном переходах.

В эмиттерном и коллекторном переходах находятся нескомпенсированные заряды неподвижных ионизированных атомов примеси-доноров и акцепторов; неравновесный заряд отсечки в базе можно считать равным нулю.

При переходе к режиму насыщения эмиттерный переход открывается, толщина перехода и его нескомпенсированный заряд уменьшаются, происходит как бы разряд ёмкости эмиттерного перехода. Вследствии понижения напряжения на коллекторе, уменьшается его толщина и заряд в нем, т.е. происходит разряд ёмкости коллекторного перехода, открывается коллекторный переход и в области базы за счет инжекции электронов из эмиттерного и коллекторного переходах накапливается большой неравновесный заряд насыщения. В транзисторах, имеющих высокоомный коллектор носители заряда инжектируют и в область коллектора, где так же накапливается неравновесный заряд.

Графики напряжений и токов транзистора при переключении даны на рисунке 4. На базу транзистора подается прямоугольный импульс напряжения $U_{ВХ}$

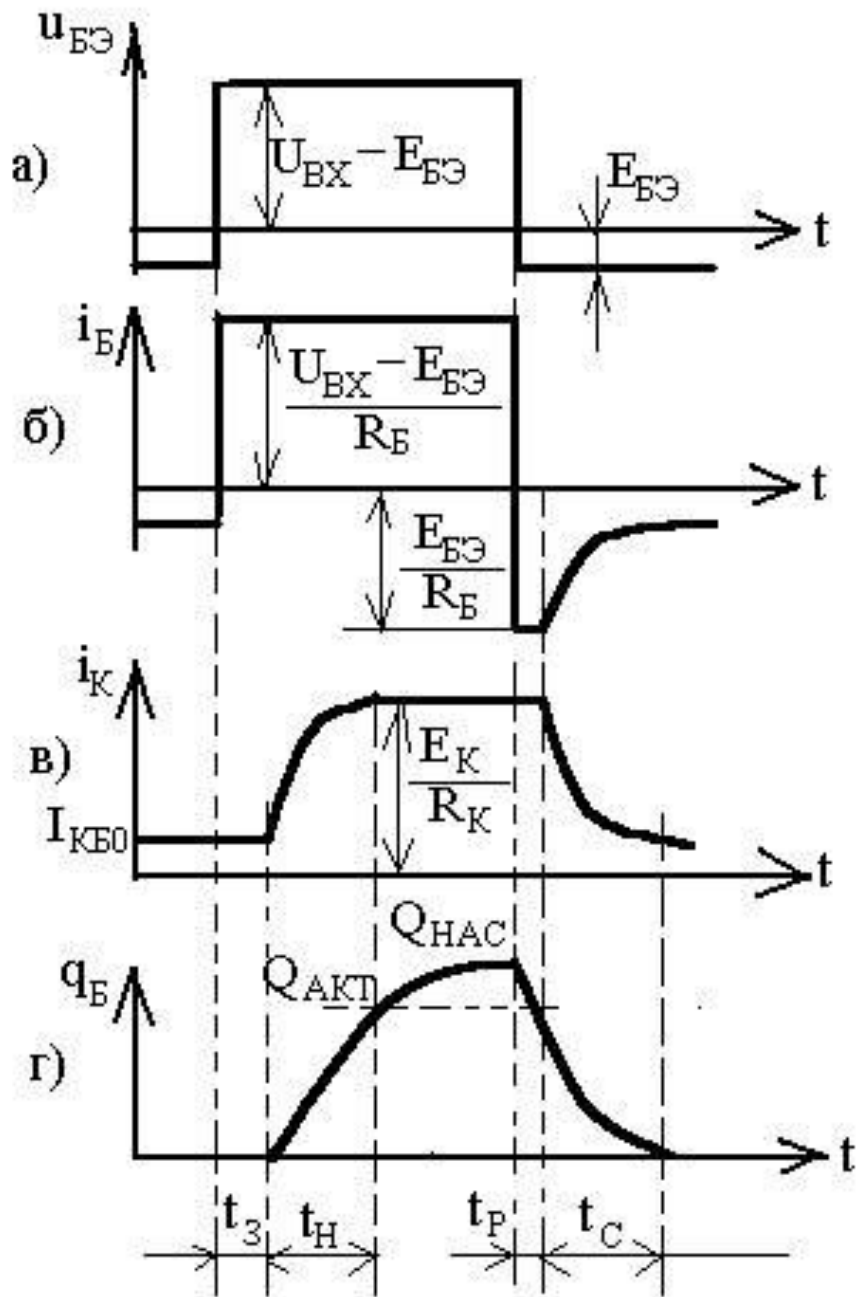


Рис. 4 Переходные процессы при переключении БТ.

При прямоугольной форме импульса входного тока импульс выходного тока i_K (рис. 4) появляется с задержкой t_3 , которая определяется главным образом скоростью нарастания напряжения эмиттерного перехода, зависящей от величин ёмкости перехода и прямого тока базы, т.е. скоростью разряда эмиттерного перехода.

После того как транзистор перейдет из режима отсечки в активный режим, коллекторный ток начинает постепенно нарастать, достигая установившегося значения а время t_H . Это время определяется скоростью накопления неравновесного заряда в базе и скоростью разряда емкости коллектора. Таким образом, полное время включения транзистора состоит из времени задержки и времени нарастания:

$$t_{вкл} = t_3 + t_H$$

После подачи в цепь базы запирающего тока $I_{B\text{ ОБР}} = E_{BЭ} / R_B$ выходной коллекторный ток прекращается не сразу. На протяжении некоторого времени рассасывания t_r он практически сохраняет свою величину, так как концентрация носителей заряда в базе у коллекторного перехода еще остается выше равновесной и коллекторный переход благодаря этому оказывается открытым.

Лишь после того как неравновесный заряд у коллекторного перехода рассосется за счет ухода электронов из базы и рекомбинации, ток коллектора начинает постепенно спадать, достигая время спада t_c установившегося значения $I_{KЭ0}$. В течении этого времени продолжается рассасывание неравновесного заряда базы и происходит перезаряд емкости коллекторного перехода. Заметим, что эмиттерный переход при этом может закрыться раньше или позже коллекторного в зависимости от скорости рассасывания неравновесного заряда, сосредоточенного поблизости от него.