

Классификация, (**режимы А, В и С**), сформировалась в 1920-е годы и была дополнена режимом, **D** в 1955 году. Начавшийся в 1960-е годы выпуск высокочастотных силовых транзисторов сделал возможным построение экономичных усилителей радиочастот классов **E и F**.

Усовершенствование усилителей мощности звуковых частот класса **B** привело к разработке усилителей классов **G и H**. Единого реестра классов усиления не существует, поэтому в разных областях электроники одна и та же буква (например, S) может обозначать принципиально разные устройства. Схемы, известные в Европе и Японии как класс **G**, в США относятся к классу **H**, Буква, широко используемая в одной области электроники (класс F с его производными F1, F2, F3 и т. д.), в другой области может считаться «свободной» Кроме того, есть «классы усилителей» — торговые марки компаний-производителей и стоящие за ними частные технические решения. Одни из них, например, конструктивно схожие усилители звуковых частот «класса S» и «класса AA»,

Классификация усилителей

По положению рабочей точки

- Класс А
- Класс АВ
- Класс В
- Класс С

По режиму работы

Ключевой режим

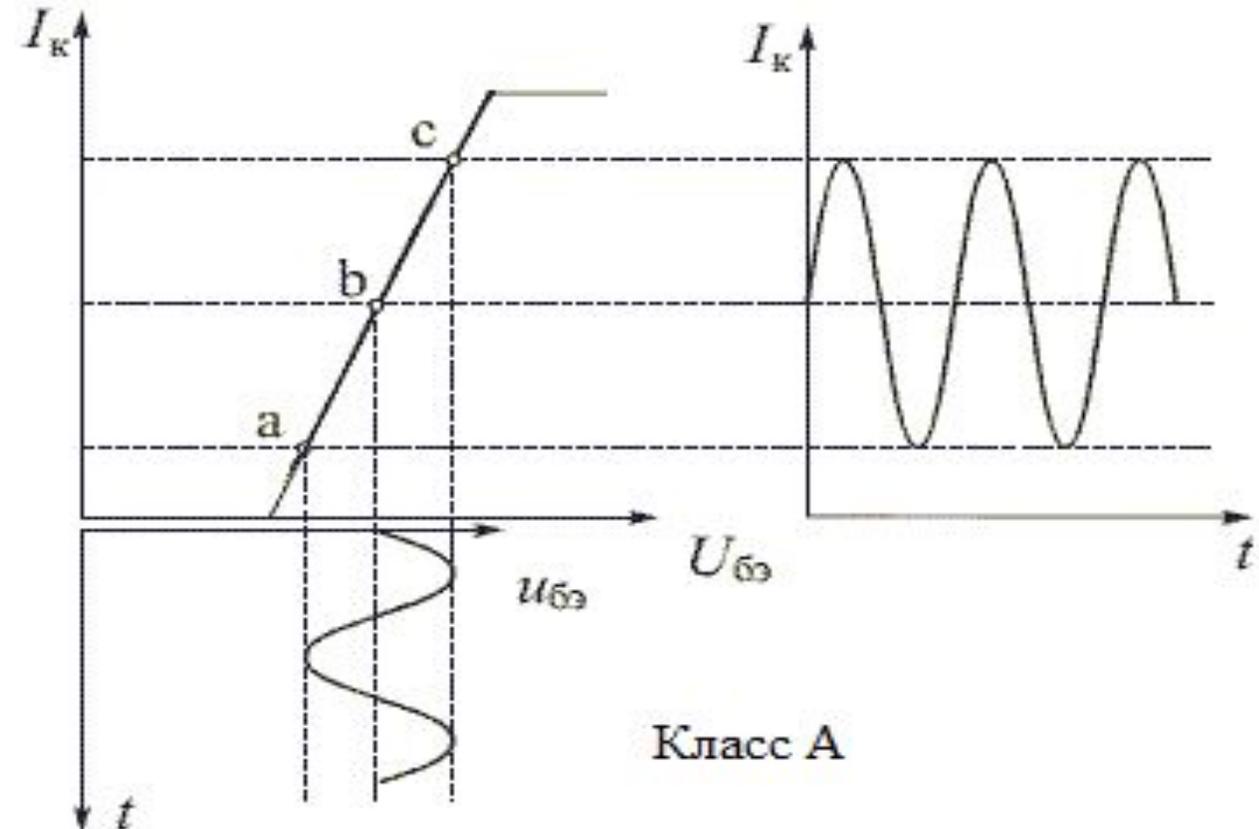
- Класс D
- Класс E
- Класс G
- Класс H

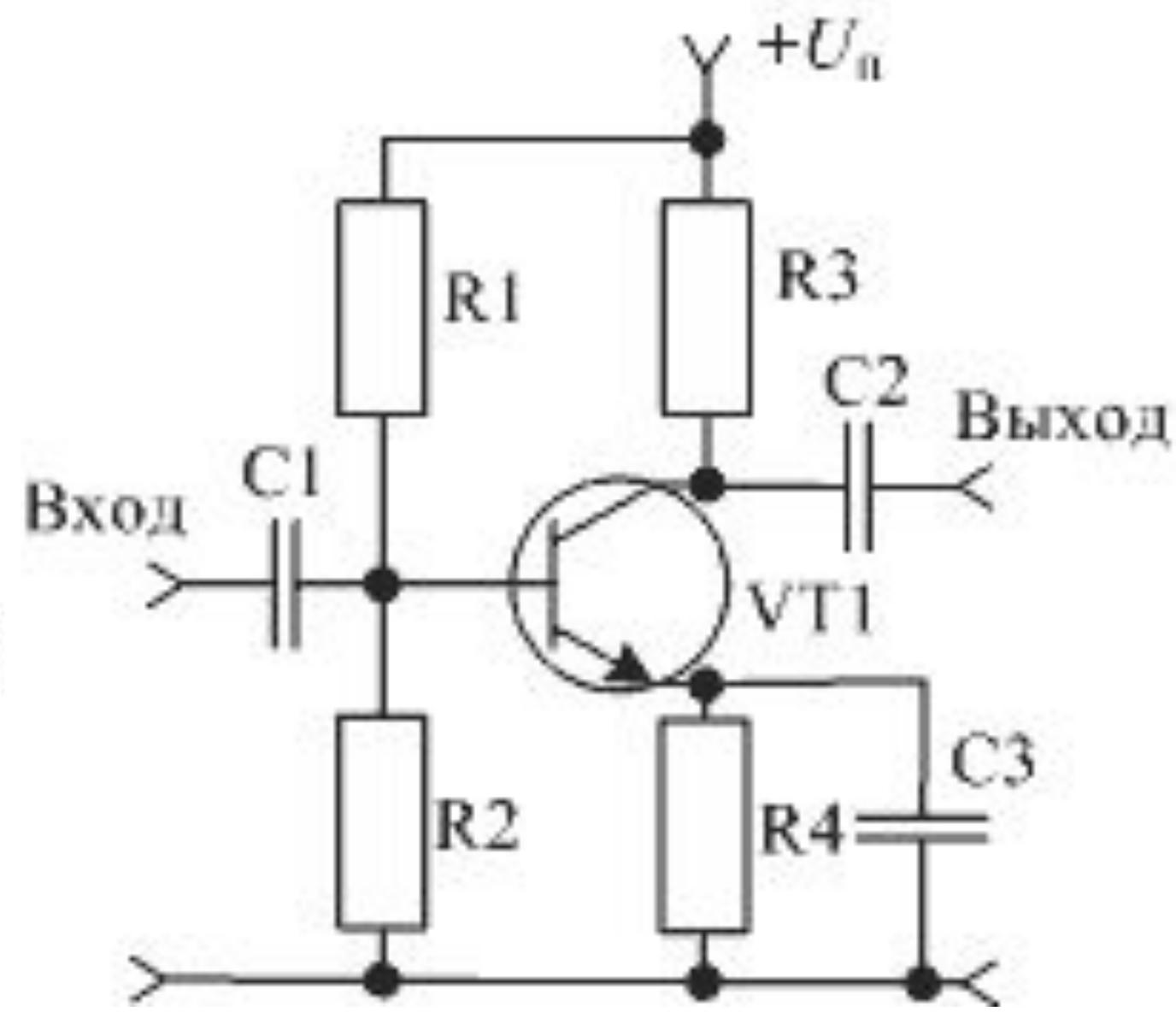
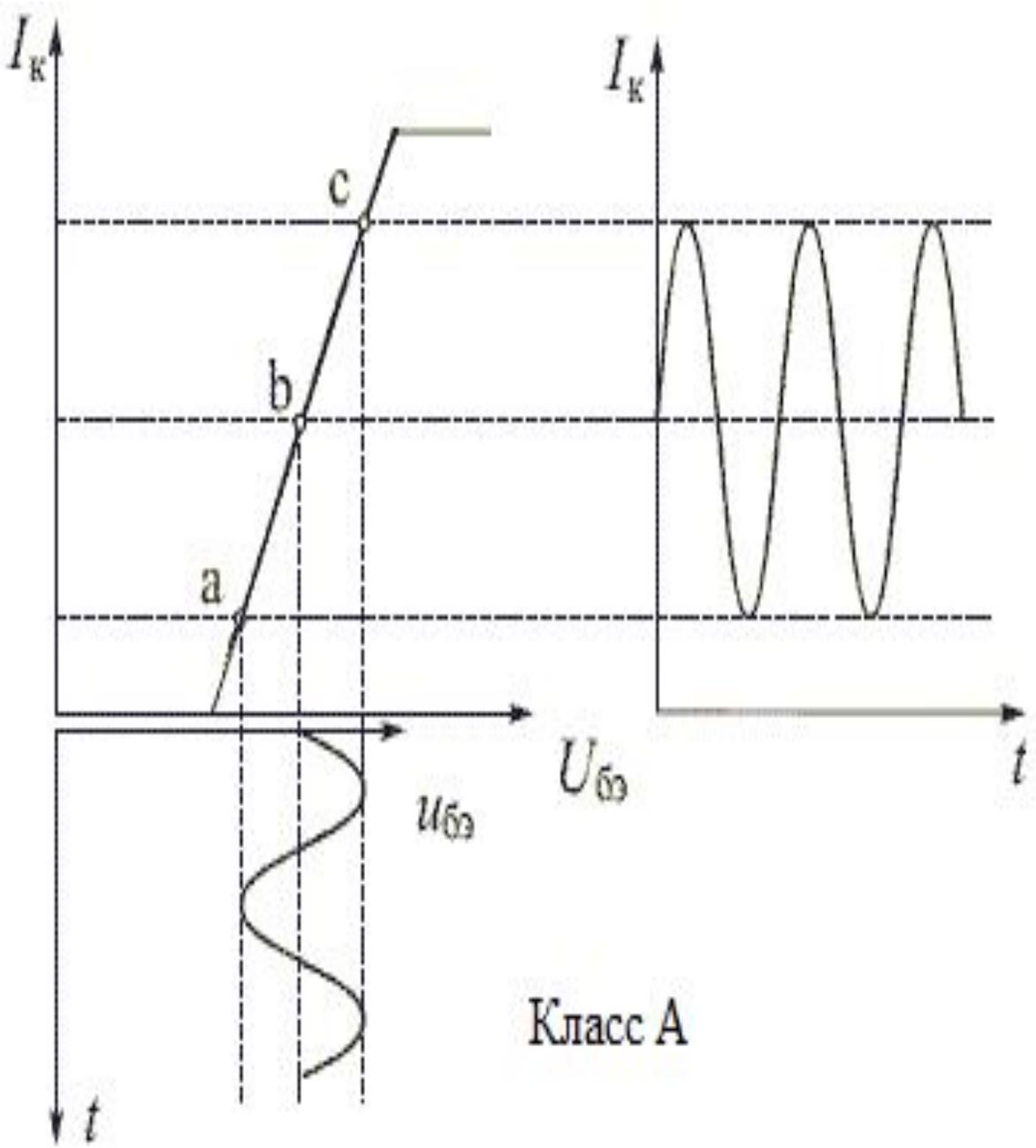
Токовый режим

- Класс F
- Класс 2 НТ
- Класс 3 НТ

Режим А — такой режим работы усилительного элемента, в котором при любых значениях входного сигнала (напряжения или тока) ток, протекающий через усилительный элемент, *не прерывается*. Усилительный элемент не входит в режим отсечки, не отключается от нагрузки, поэтому **форма тока через нагрузку точно повторяет входной сигнал**.

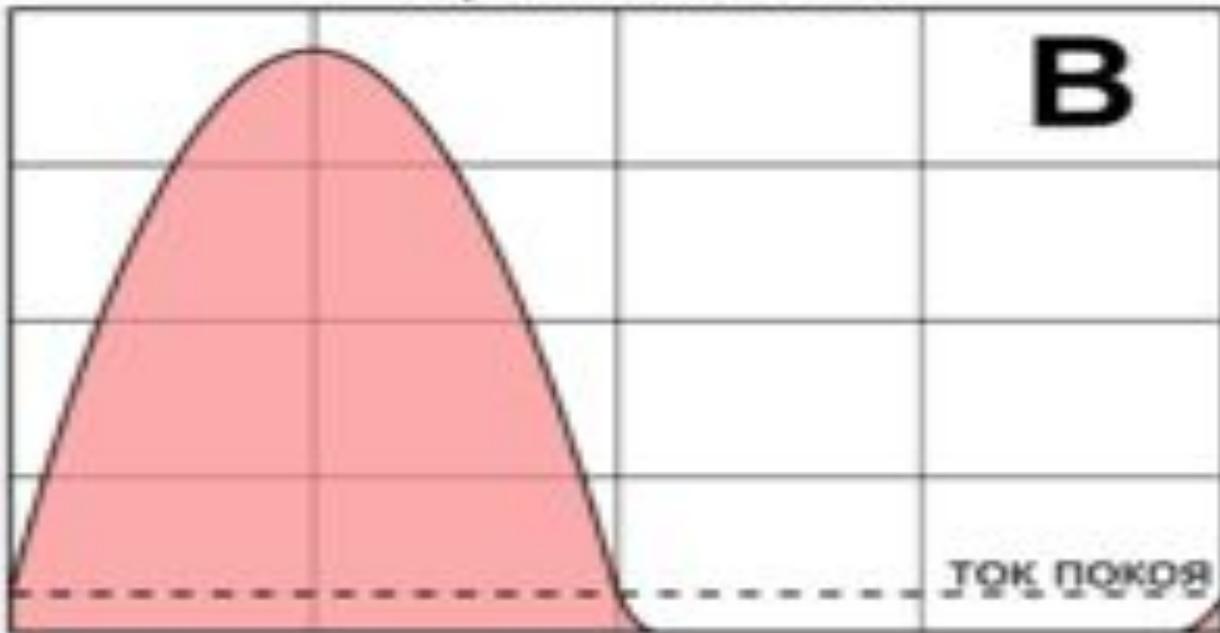
В случае усилителя гармонических колебаний режим А — режим, в котором ток через усилительный элемент протекает в течение всего **периода**.





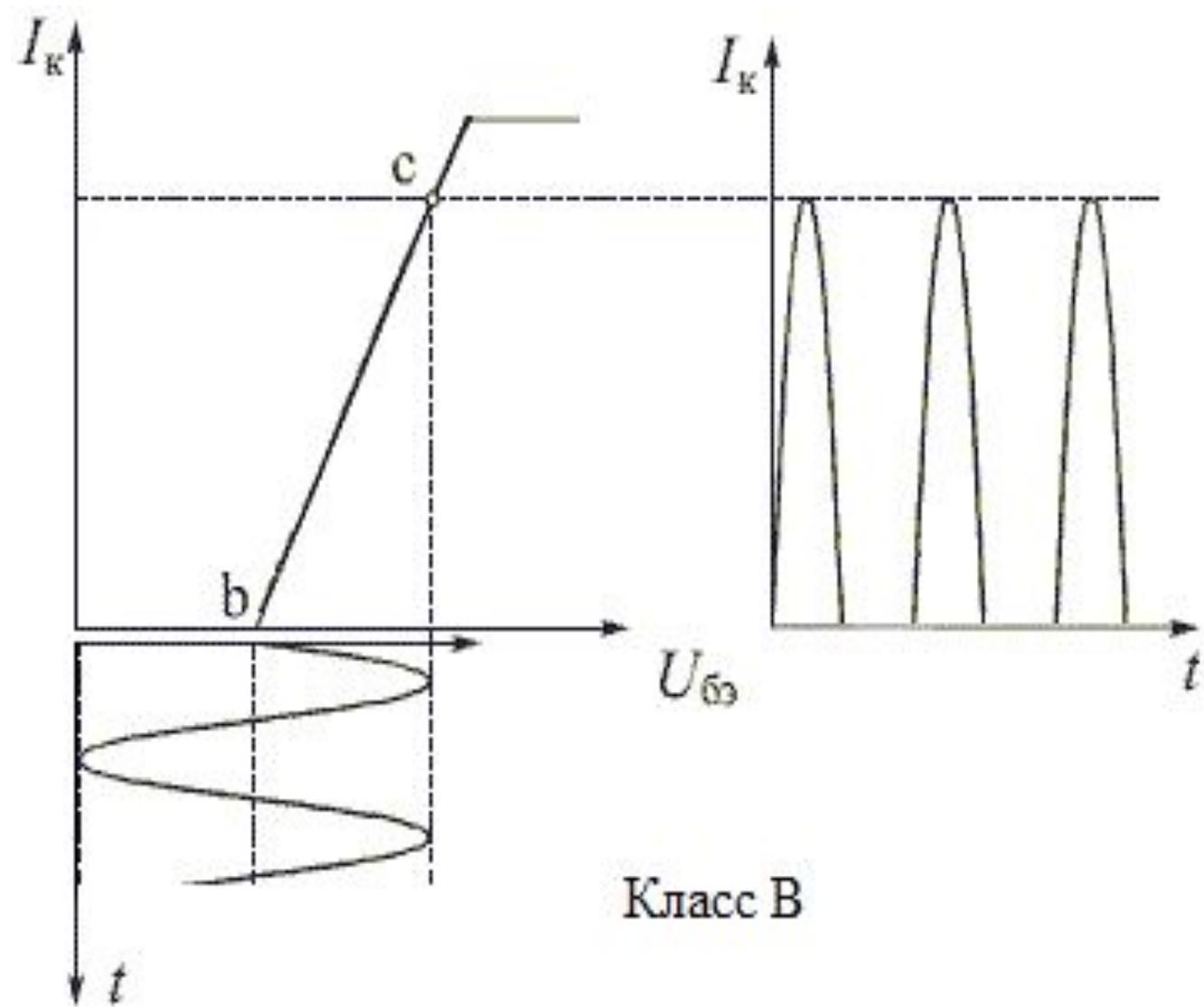
В **режиме В** усилительный элемент способен воспроизводить **либо только положительные, либо только отрицательные входные сигналы. Режим АВ** является промежуточным между режимами **А** и **В**. Ток покоя усилителя в режиме **АВ** существенно больше, чем в режиме **В**, но существенно меньше, чем ток, необходимый для режима **А**. При усилении гармонических сигналов усилительный элемент проводит ток в течение **бóльшей части периода**: одна **полуволна** входного сигнала (положительная или отрицательная) воспроизводится без искажений, вторая **сильно искажается**

Управляемый ток



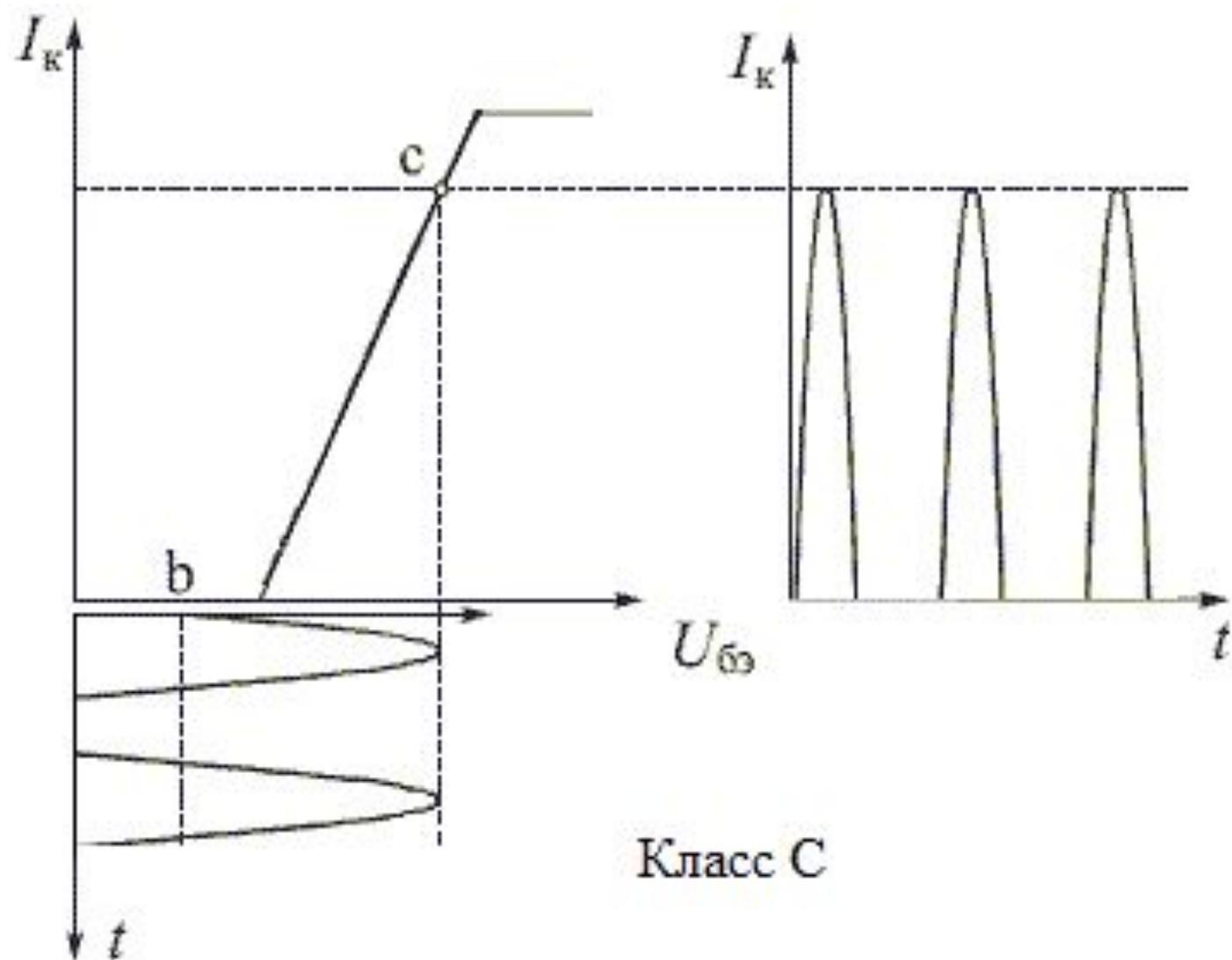
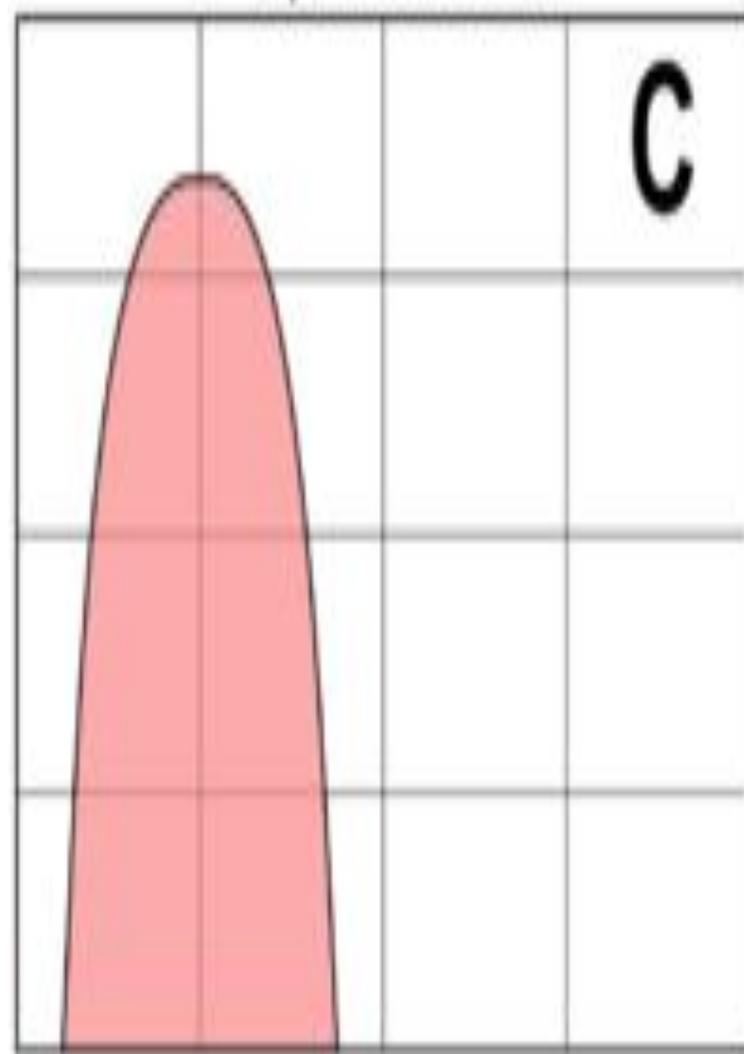
Управляемый ток





В **режиме С**, также как и в режиме **В**, усилительный элемент воспроизводит - **только положительные, либо только отрицательные входные сигналы**. Однако рабочая точка усилительного элемента выбрана так, что при нулевом напряжении на входе -усилительный элемент заперт. Ток через усилительный элемент возникает только после перехода управляющего сигнала через ноль; если этот сигнал гармонический, то усилитель воспроизводит одну **искажённую** полуволну . В **недонапряжённом режиме С** амплитуда входного сигнала невелика, поэтому усилитель способен воспроизвести вершину этой полуволны. В **перенапряжённом режиме С** амплитуда входного сигнала столь велика, что усилитель искажает (срезает) и вершину полуволны: такой каскад преобразует синусоидальный входной сигнал в импульсы тока трапециевидной формы. **Из-за высоких нелинейных искажений усилители в режиме С**, даже двухтактные, непригодны для воспроизведения широкополосных сигналов (звука, видеосигналов, постоянного тока). В резонансных усилителях радиопередатчиков они, напротив, широко применяются благодаря их высокому КПД

Управляемый ток



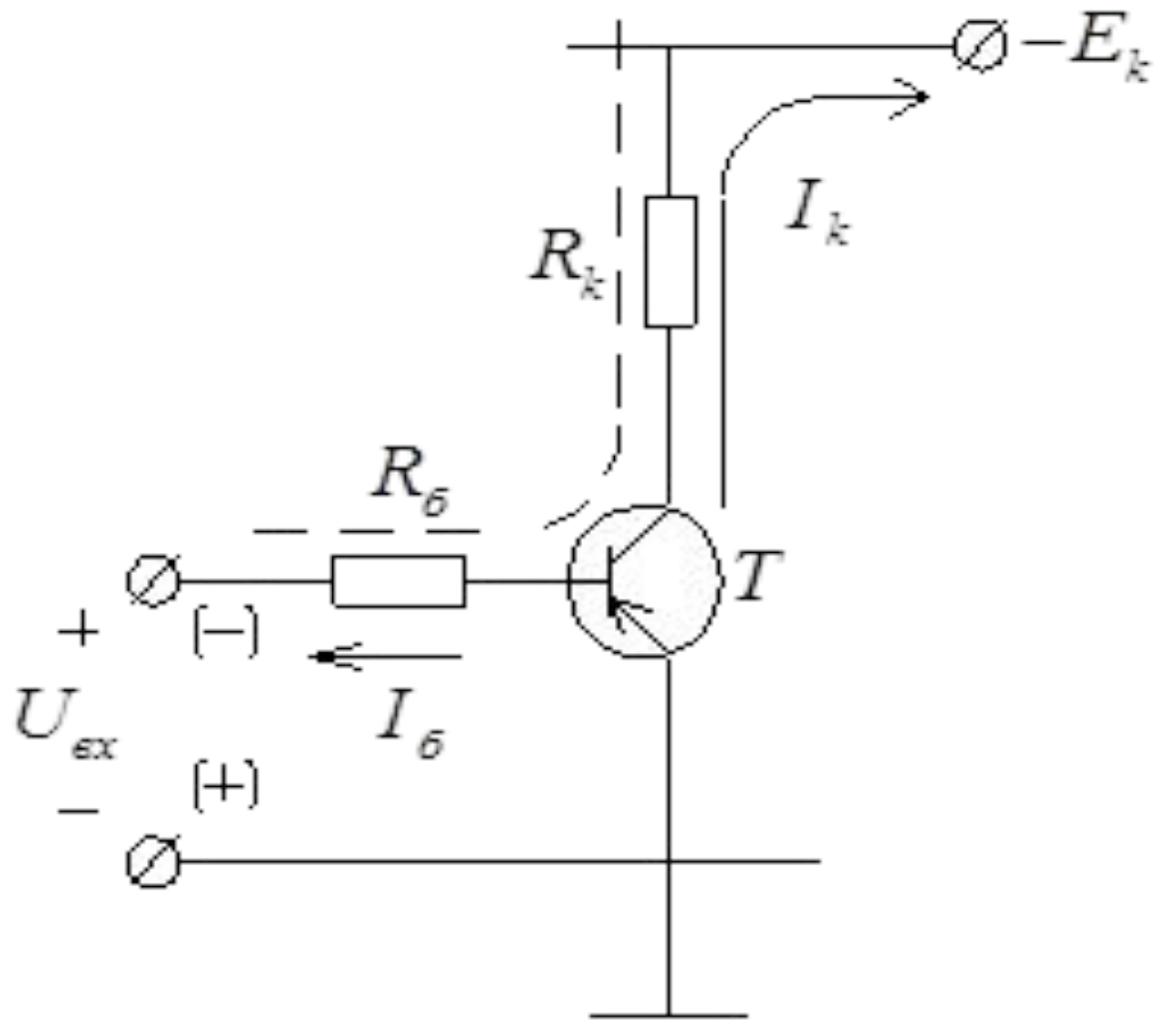
Класс С

В режиме С форма тока выходных транзисторов *может* принимать вид почти прямоугольных импульсов. В **режиме D** такая форма тока заложена по определению: **транзистор либо заперт, либо полностью открыт**. Сопротивление открытого канала современных силовых МДП-транзисторов измеряется десятками и единицами миллиОм, поэтому в первом приближении можно считать, что в **режиме D** транзистор работает без потерь мощности. КПД реальных усилителей класса D равен примерно **90 %**, в наиболее экономичных образцах **95 %**, при этом он мало зависит от выходной мощности. Лишь при малых, 1 Вт и менее, выходных мощностях усилитель класса D проигрывает в энергопотреблении усилителю класса B.

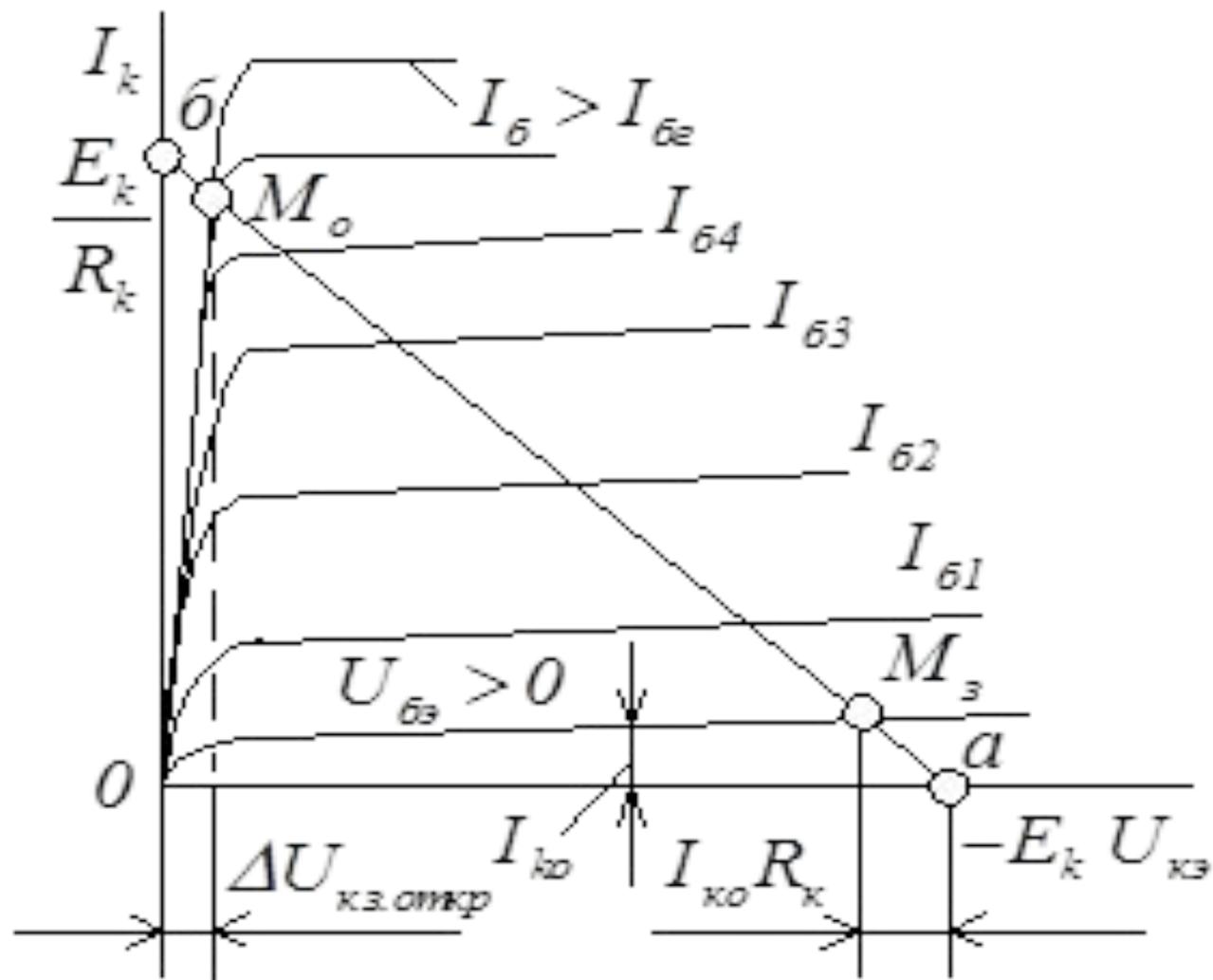
Импульсная и цифровая техника базируется на работе транзистора в качестве ключа. Замыкание и размыкание цепи нагрузки - главное назначение транзистора, работающего в ключевом режиме. По аналогии с механическим ключом (реле, контактором), качество транзисторного ключа определяется в первую очередь падением напряжения (остаточным напряжением) на транзисторе в замкнутом (открытом) состоянии, а также остаточным током транзистора в выключенном (закрытом) состоянии.

Транзистор применяют также в качестве бесконтактного ключа в цепях постоянного и переменного токов для регулирования мощности, подводимой к нагрузке.

Построение ключевой схемы подобно усилительному каскаду. Транзистор в ключевой схеме может включаться с общей базой, общим эмиттером и общим коллектором. Наибольшее распространение получила схема ОЭ. Этот вид включения биполярного транзистора и используется далее при рассмотрении ключевого режима его работы.



а)



б)

Ключевая схема и графическое определение режимов открытого и закрытого состояний транзистора

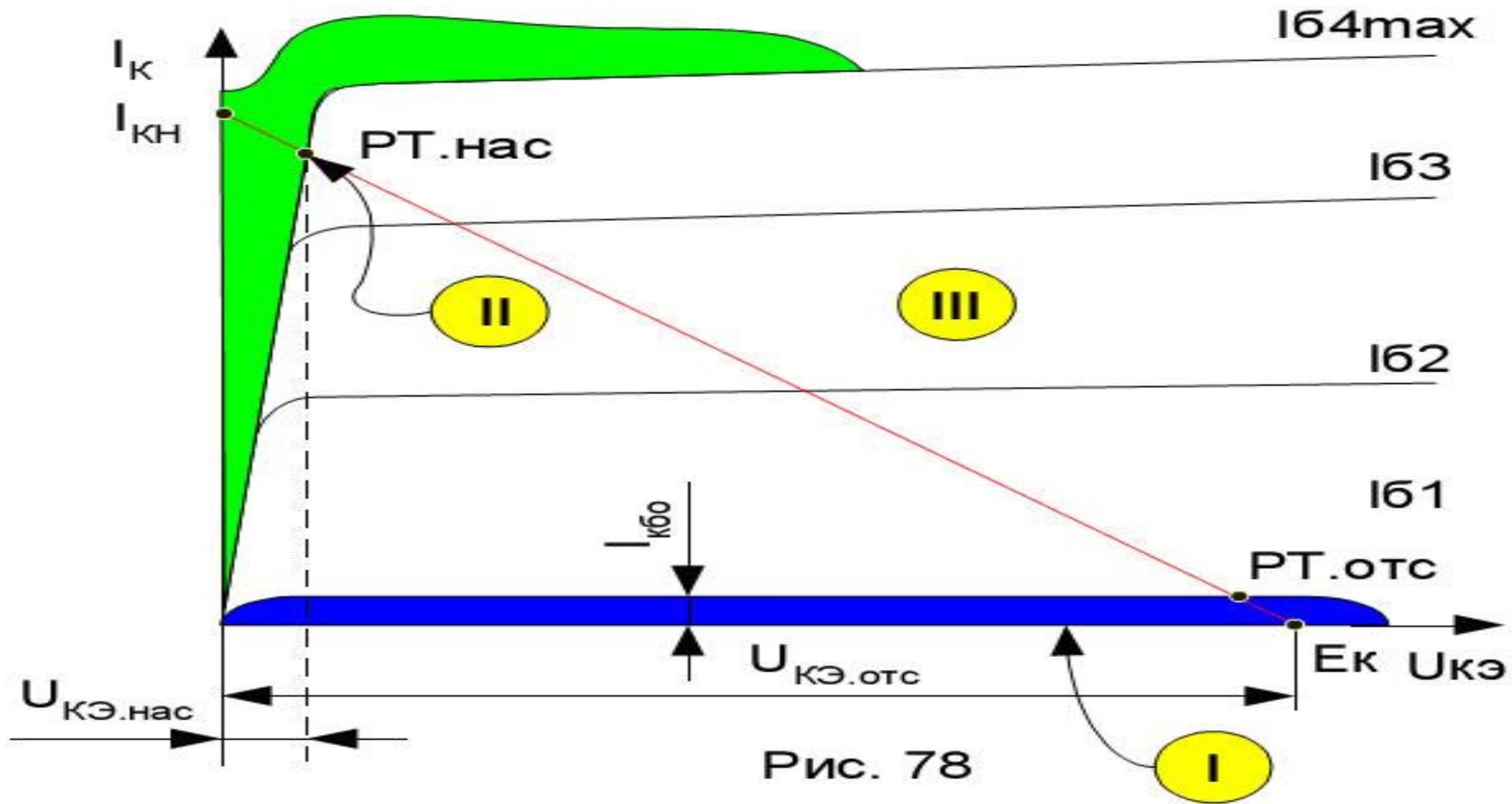


Рис. 78

В зависимости от состояния p-n переходов транзисторов различают 3 вида его работы:

-Режим отсечки. Это режим, при котором **оба его перехода закрыты** (и эмиттерный и коллекторный). Ток базы в этом случае равен нулю. Ток коллектора будет равен обратному току. Уравнение динамического режима будет иметь вид:

$$U_{кэ} = E_k - I_{кбо} * R_k$$

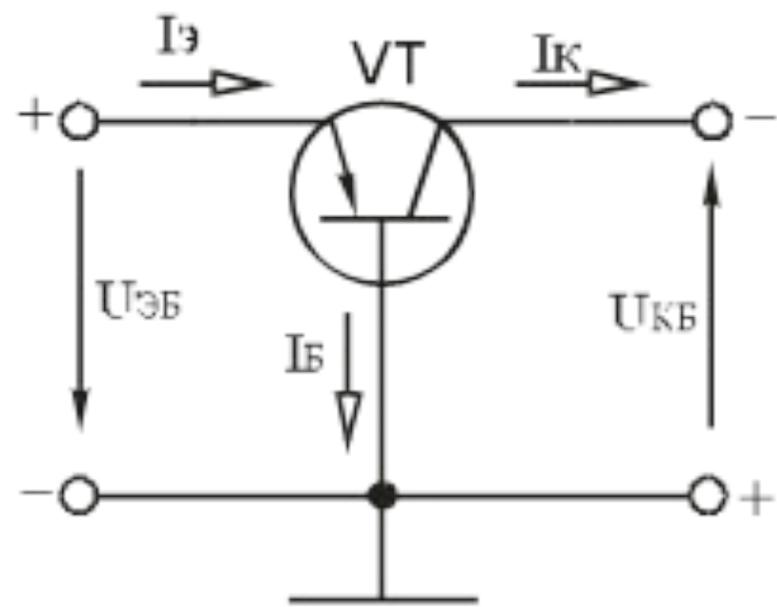
Произведение $I_{кбо} * R_k$ будет равно нулю. Значит, $U_{кэ} \rightarrow E_k$.

Режим насыщения - это режим, когда **оба перехода - и эмиттерный, и коллекторный открыты**, в транзисторе происходит свободный переход носителей зарядов, ток базы будет максимальный, ток коллектора будет равен току коллектора насыщения. $I_b = I_{б.мах}$; $I_k \approx I_{к.н.}$; $U_{кэ} = E_k - I_{к.н} * R_n$ Произведение $I_{к.н} * R_n$ будет стремиться к E_k . Значит, $U_{кэ} \rightarrow 0$.

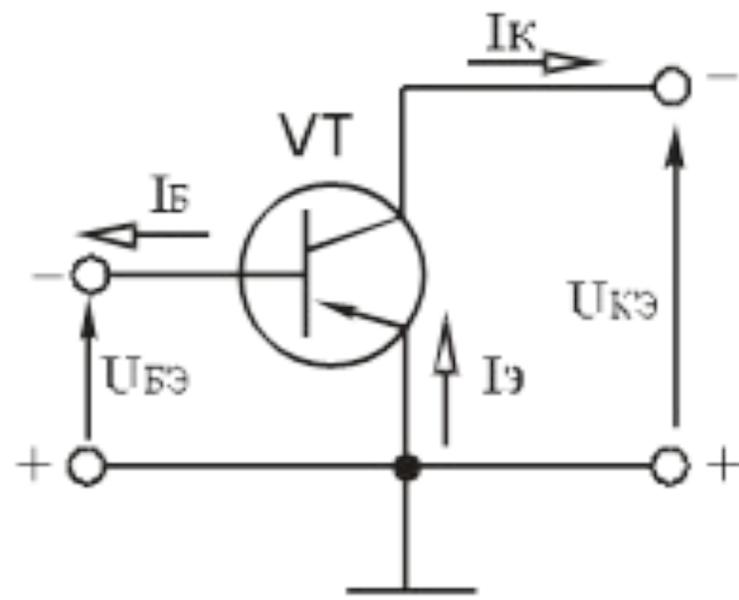
-Линейный режим - это режим, при котором эмиттерный переход открыт, а коллекторный закрыт.

$$I_{б.мах} > I_b > 0; I_{к.н} > I_k > I_{кбо} \quad E_k > U_{кэ} > U_{кэ.нас}$$

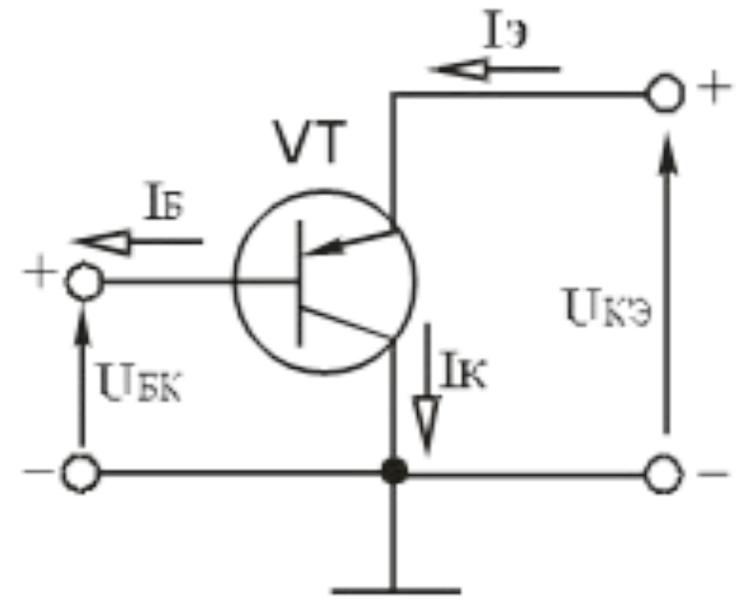
Ключевым режимом работы транзистора называется такой режим, при котором рабочая точка транзистора скачкообразно переходит из режима отсечки в режим насыщения и наоборот, минуя линейный режим.



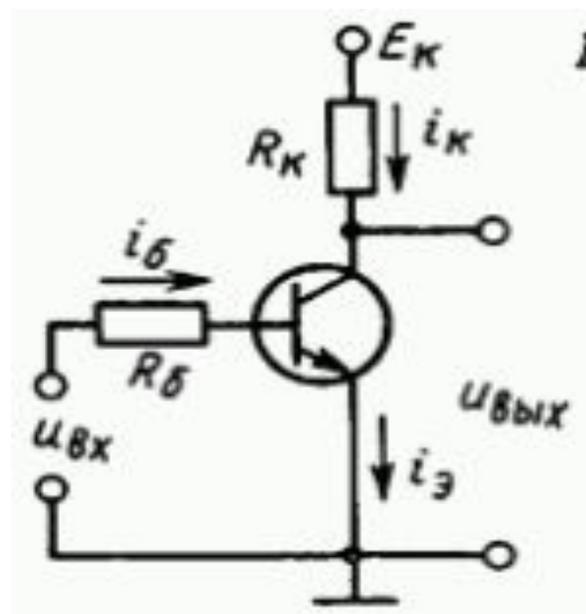
a)



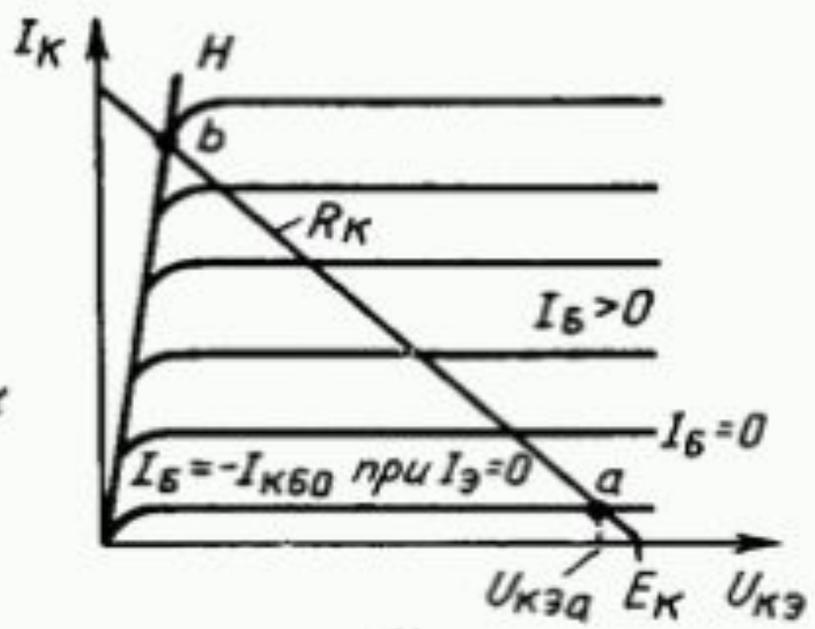
б)



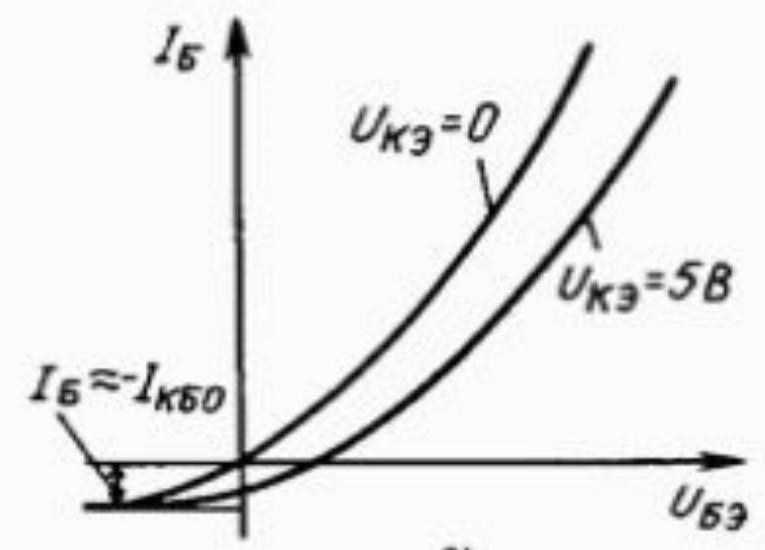
в)



a)



б)



в)

Изгиб передаточной характеристики в верхней части вызван приближением к напряжению источника питания. Изгиб в нижней части характеристики вызывается насыщением транзистора. Рабочую точку в усилителе **класса А** выбирают обычно в районе **половины питания транзистора**.

Режим работы транзистора в усилителе обычно задается при помощи цепей смещения.

[схема с фиксированным током базы,](#)

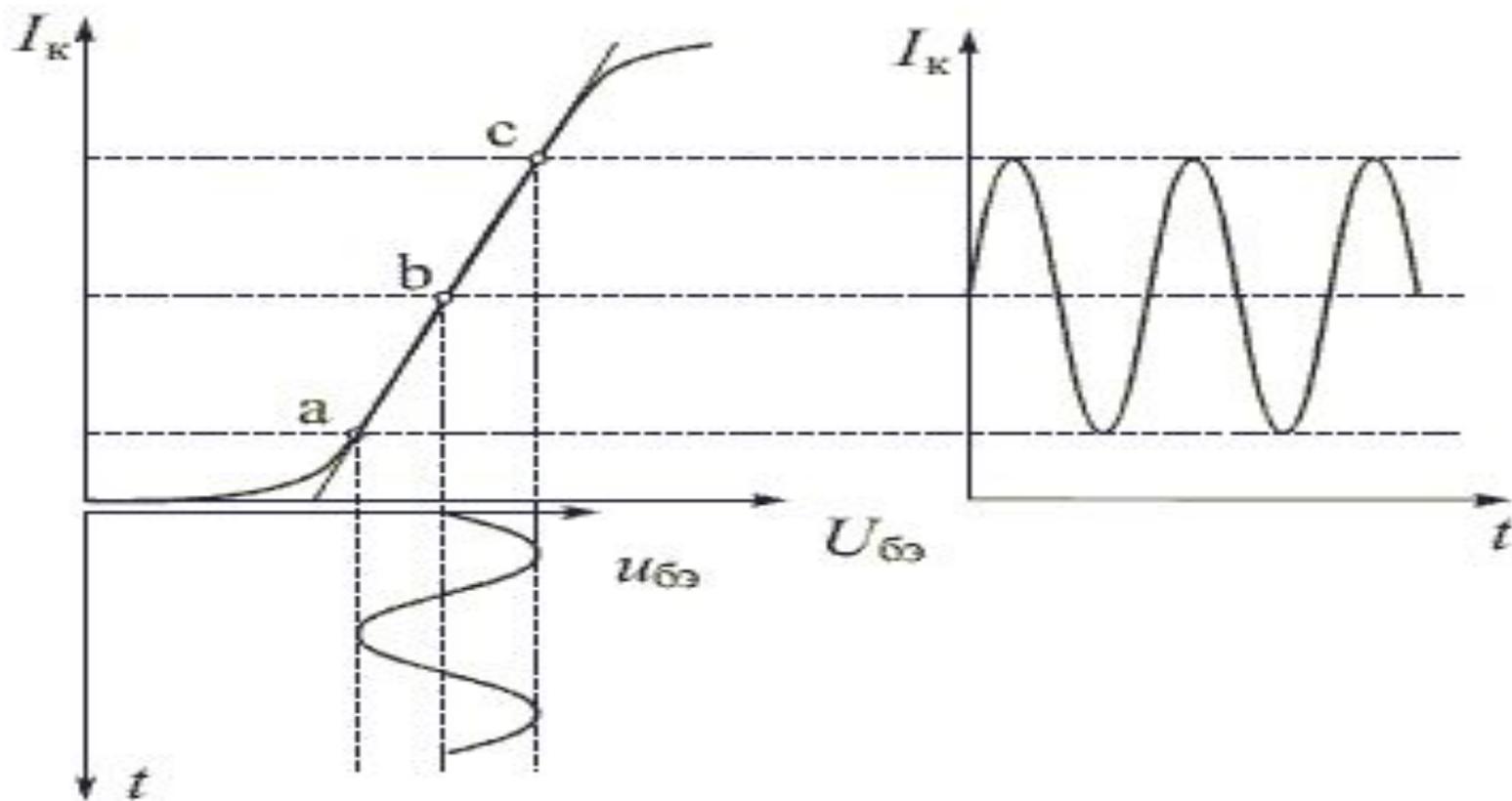
- [схема с фиксированным напряжением на базе,](#)
- [схема коллекторной стабилизации,](#)
- схема эмиттерной стабилизации,
- [дифференциальный каскад.](#)

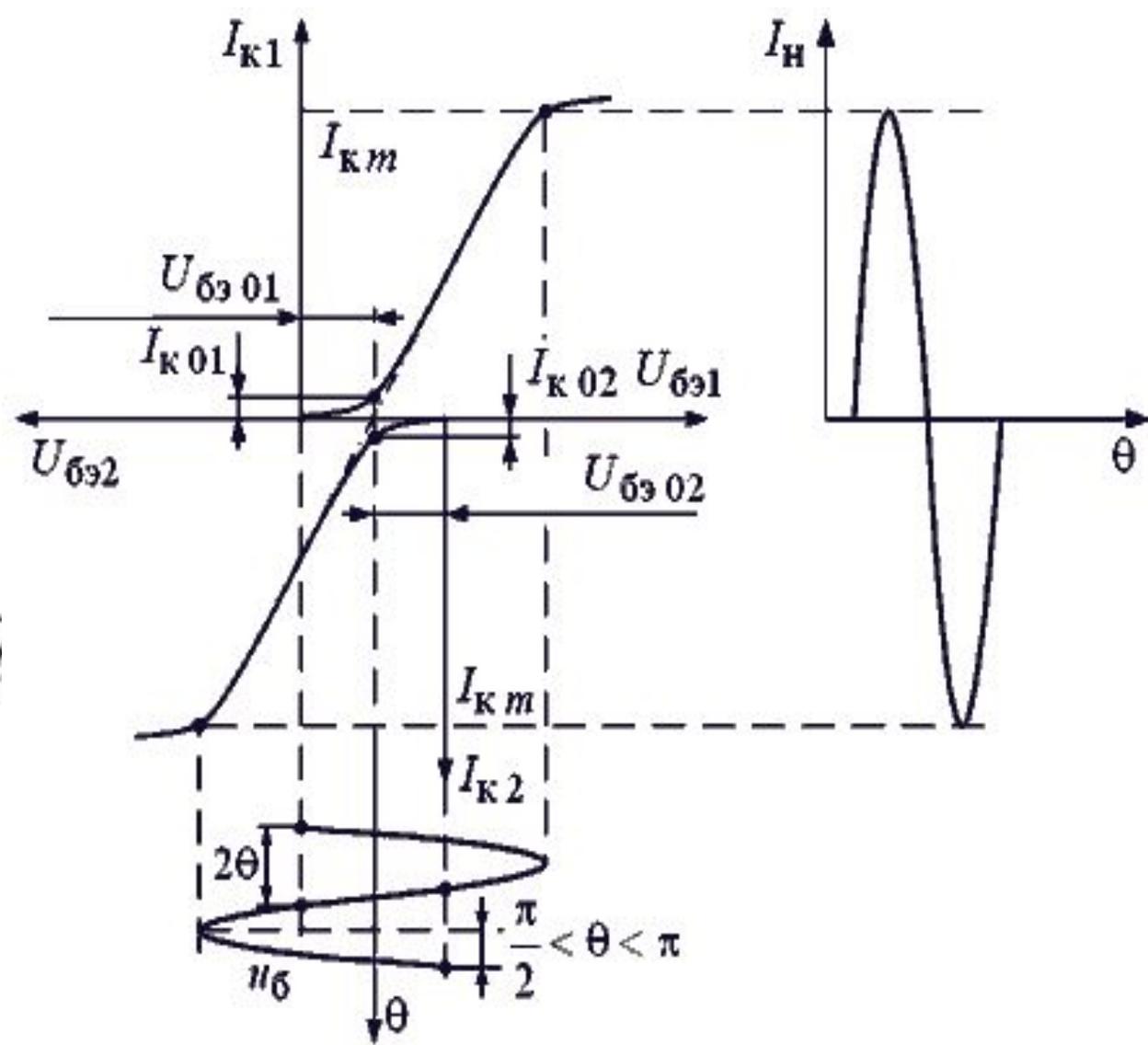
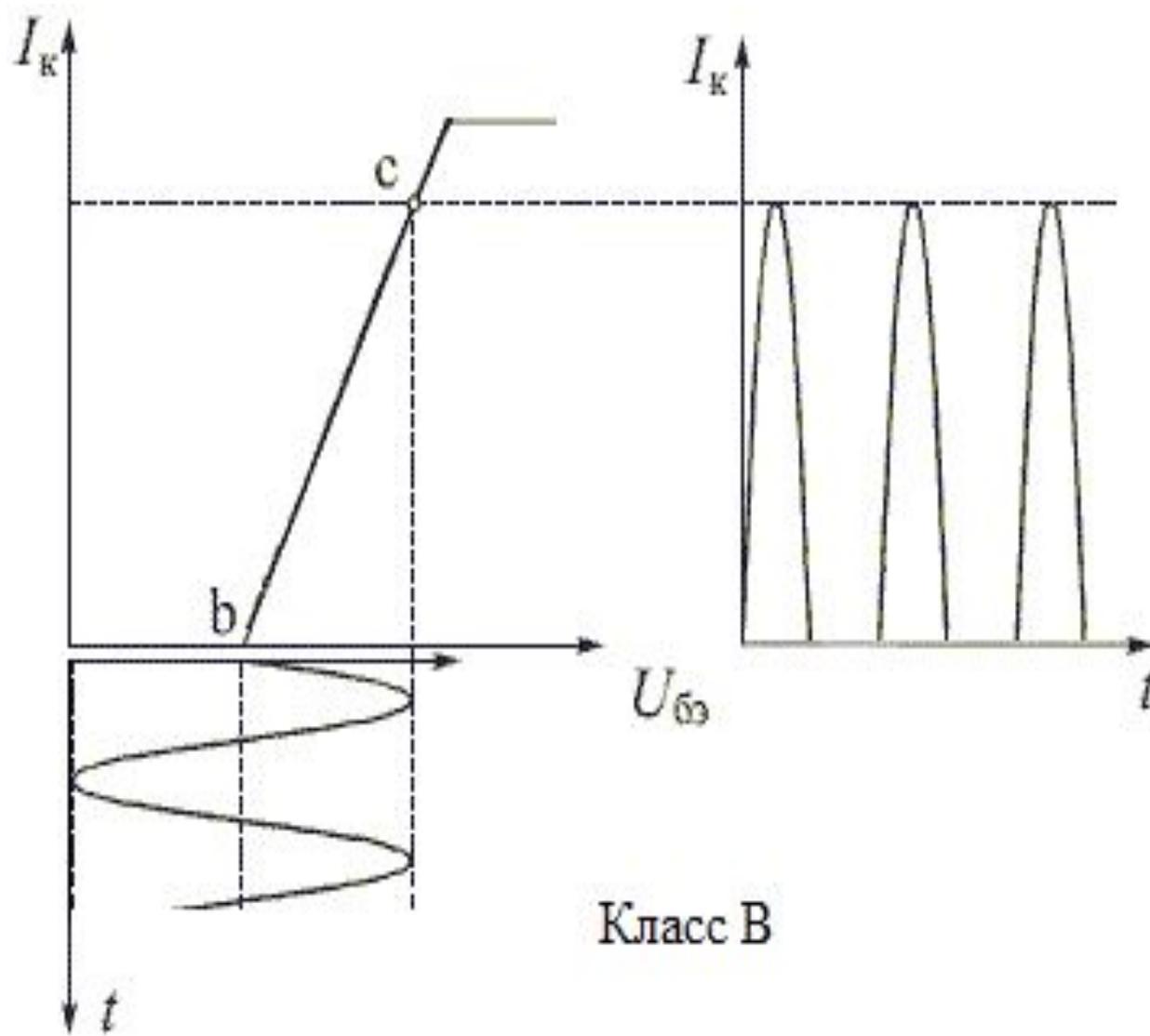
При этом не важно какая схема включения транзистора использована в каскаде усиления:

- [схема с общим эмиттером](#) (схема с общим истоком),
- [схема с общей базой](#) (схема с общим затвором) или
- [схема с общим коллектором](#) (схема с общим стоком).

. В усилителе **класса А** положение рабочей точки активного элемента,, выбирается в **середине линейного участка передаточной характеристики**. Для упрощения анализа передаточная характеристика усилительного прибора представляется кусочно ломаной функцией.

Пример выбора рабочей точки транзистора, работающего в усилителе класса А, показан на рисунке .





режим В

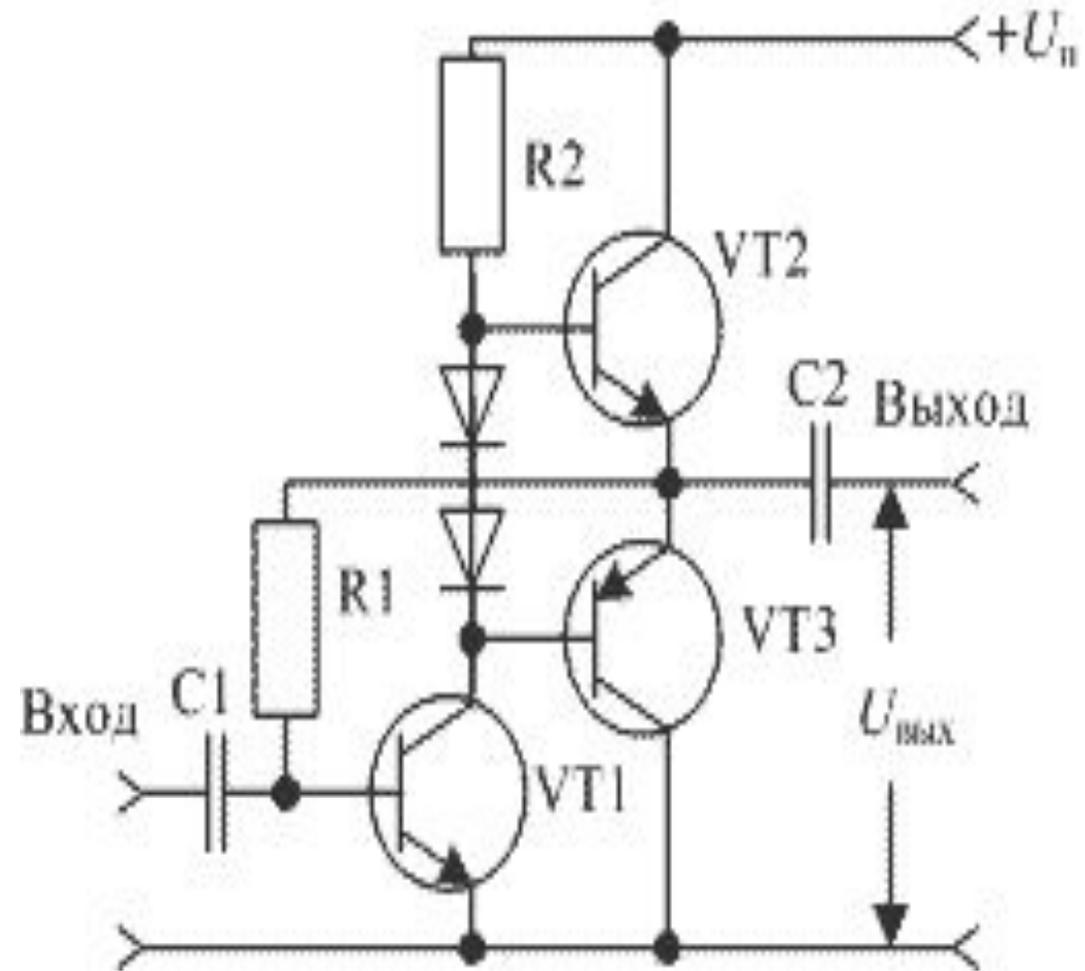
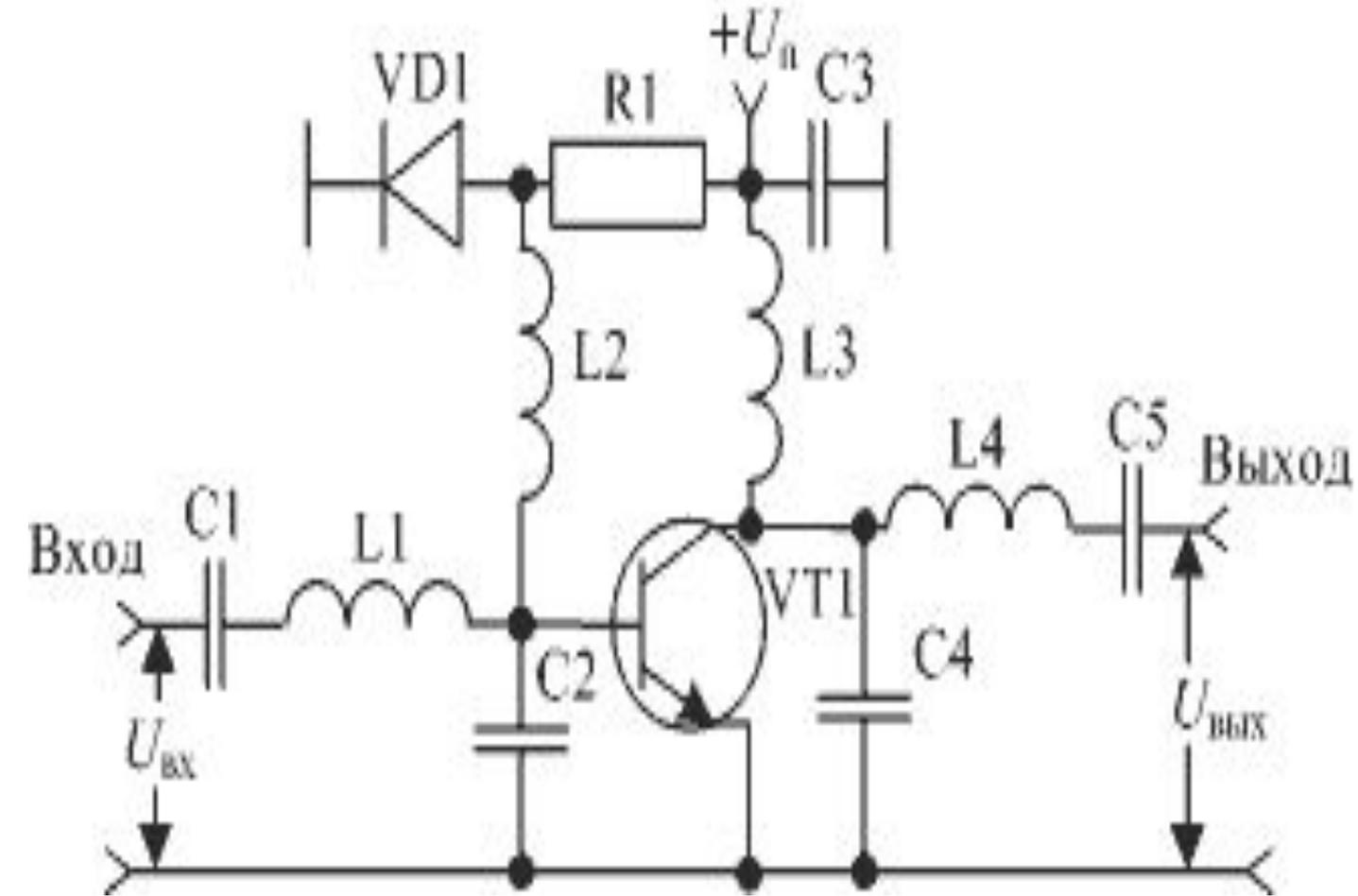


Схема с общим коллектором

Входные ВАХ по форме мало отличаются от входных схемы ОЭ, но диапазон изменения входного напряжения здесь практически такой же, как диапазон изменения выходного напряжения (, где пунктиром показана входная ВАХ транзистора с ОЭ). Поскольку выходное напряжение здесь отличается от выходного напряжения транзистора ОЭ на относительно малую величину $u_{БЭ}$, то и выходные ВАХ мало отличаются от ВАХ транзистора ОЭ, лишь для того же входного тока выходной ток несколько выше, поскольку $i_{Э} = i_{К} + i_{Б}$ и $i_{Б} \ll i_{К}$

Коэффициент передачи тока в этой схеме включения транзистора равен

$$\beta_{\text{сх}} = \frac{i_{\text{Э}}}{i_{\text{Б}}} = \beta + 1$$

Выходное напряжение чуть меньше входного, так как

$$u_{\text{КЭ}} = u_{\text{КБ}} - u_{\text{БЭ}}$$

Поэтому схемы с использованием транзистора с ОК называют повторителями напряжения или эмиттерными повторителями, поскольку нагрузка обычно подключается к эмиттеру. Для анализа схем с ОК достаточно иметь ВАХ или параметры транзисторов с ОБ или ОЭ.

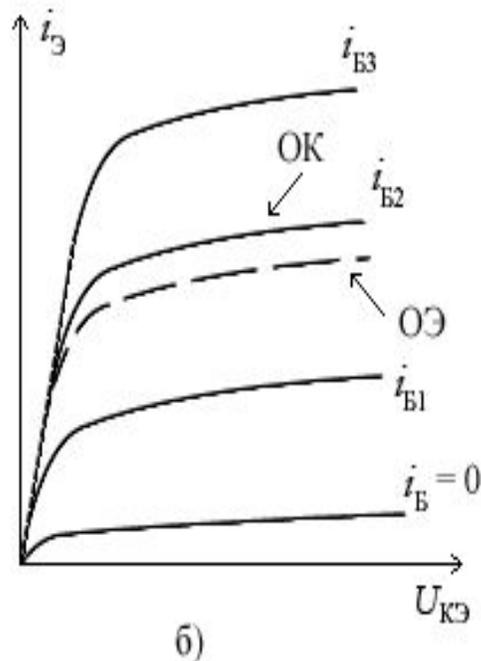
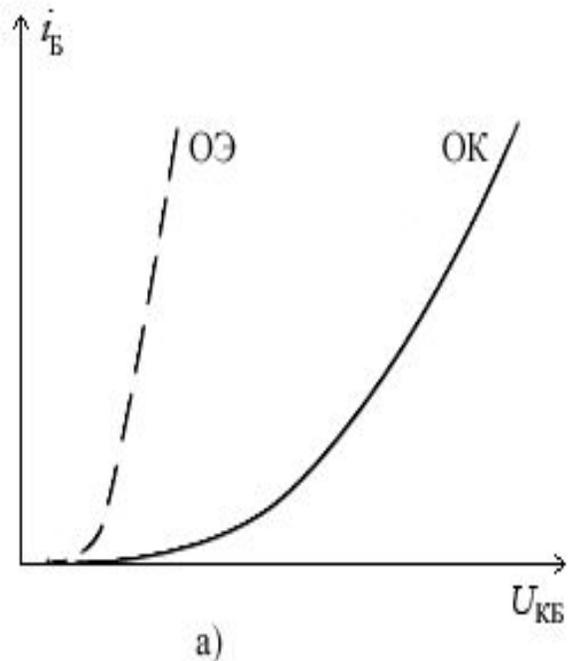
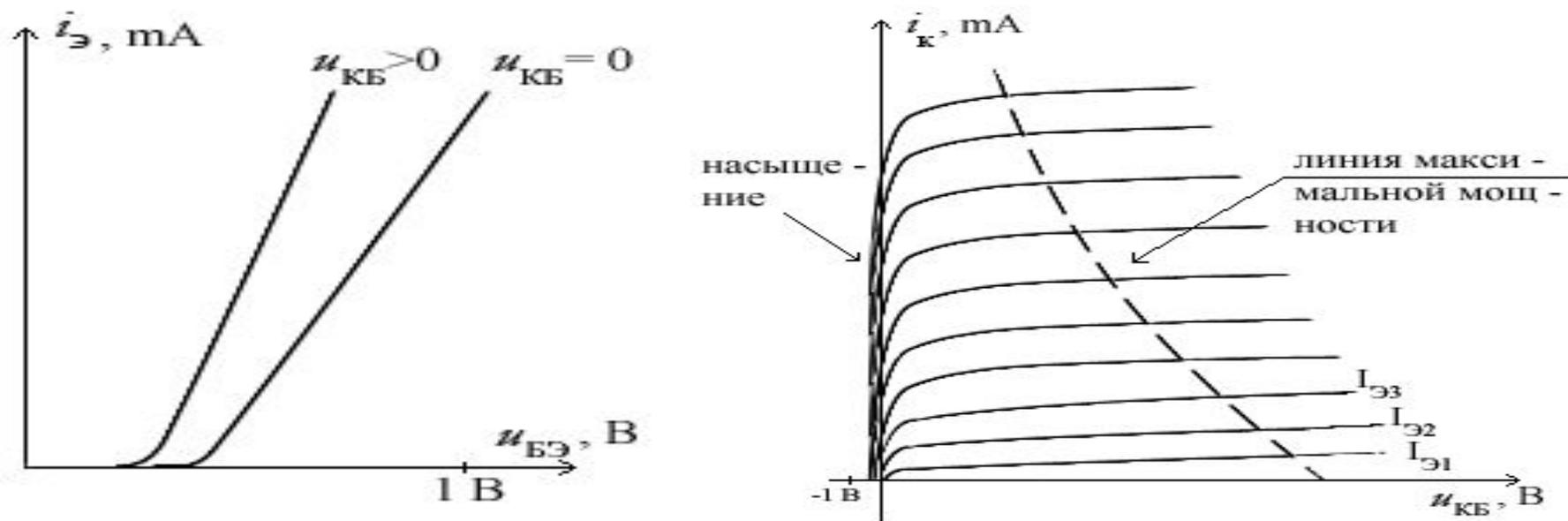


Схема с общей базой

для схемы ОБ входным током является ток базы i_B , входным напряжением – напряжение $u_{ЭБ}$, выходным током – ток коллектора i_K , а выходное напряжение $u_{КБ}$. Поскольку напряжение $u_{ЭБ}$ отрицательно, то для удобства построения графиков ВАХ его заменяют положительным напряжением $u_{БЭ}$



Выходными ВАХ для схемы с ОБ являются зависимости выходного коллекторного тока от напряжения коллектор-база при постоянных токах эмиттера

Входные характеристики здесь в значительной степени определяются характеристикой открытого эмиттерного $p - n -$ перехода, поэтому они аналогичны ВАХ диода, смещенного в прямом направлении.

Сдвиг характеристик влево при увеличении напряжения $u_{КБ}$ обусловлен так называемым эффектом Эрли (эффектом модуляции толщины базы), заключающимся в том, что при увеличении обратного напряжения $u_{КБ}$ коллекторный переход расширяется, причем в основном за счет базы.

При этом толщина базы как бы уменьшается, уменьшается ее сопротивление, что приводит к уменьшению падения напряжения $u_{БЭ}$ при неизменном входном токе.