

ЭЛЕКТРОНИКА

Лектор:

к.ф.-м.н. Алимгазинова Назгуль Шакаримовна

УСИЛИТЕЛЬ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

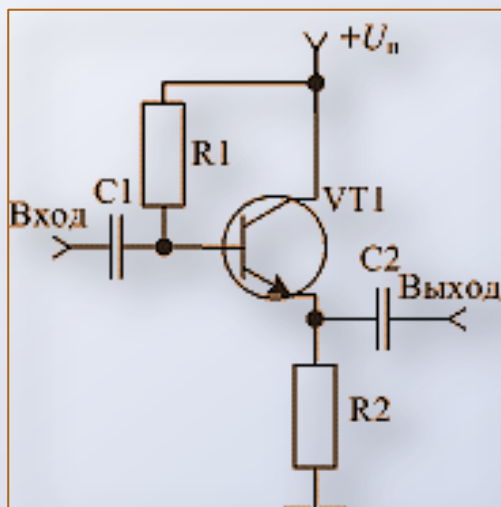


Схема с ОЭ

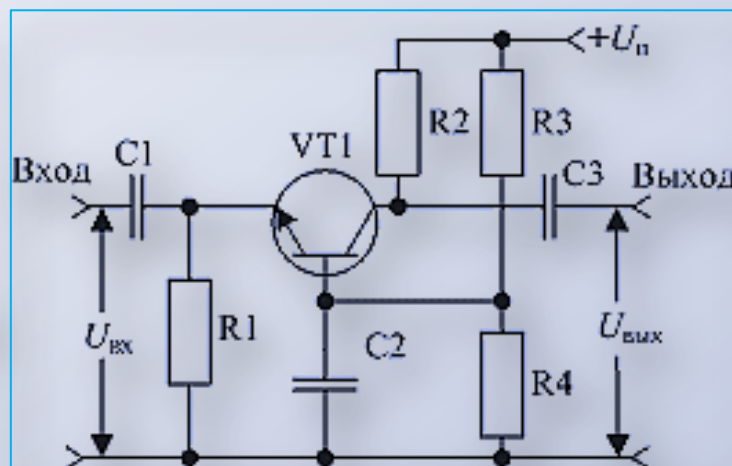


Схема с ОБ

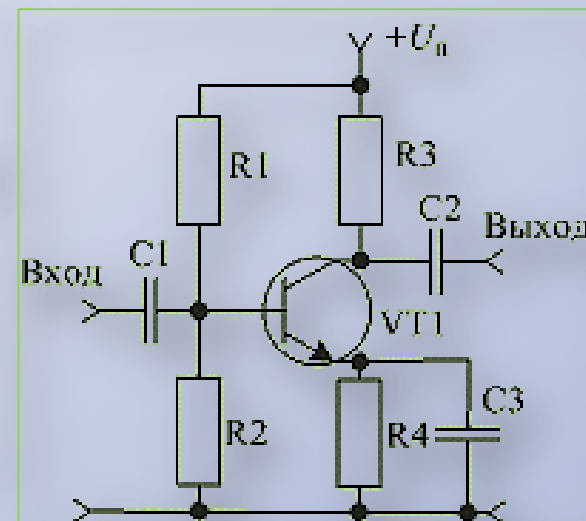


Схема с ОК

Параметр	ОЭ	ОБ	ОК
коэффициент усиления по ТОКУ	Десятки-сотни	Немного меньше единицы	Десятки-сотни
коэффициент усиления по НАПРЯЖЕНИЮ	Десятки-сотни	Десятки-сотни	Немного меньше единицы
коэффициент усиления по МОЩНОСТИ	Сотни-десятки тысяч	Десятки-сотни	Десятки-сотни
ВХОДНОЕ сопротивление	Сотни ом – единицы килоом	Единицы-десятки ом	Десятки – сотни килоом
ВЫХОДНОЕ сопротивление	Единицы – десятки килоом	Сотни килоом – единицы мегаом	Сотни ом – единицы килоом

В схемах усилителей
токи и напряжения
содержат:

**Постоянные
составляющие**

необходимы для того, чтобы
обеспечить нужное смещение
транзистора

**Переменные
составляющие**

содержат полезную информацию.
Эти составляющие необходимо
усилить и передать без искажения

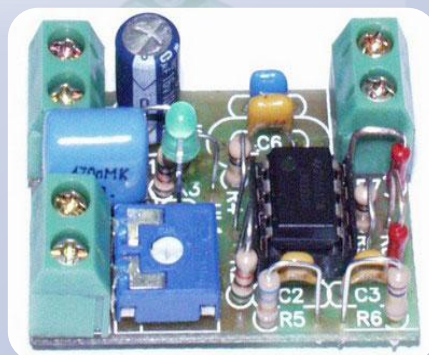
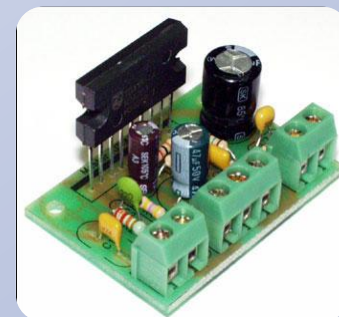
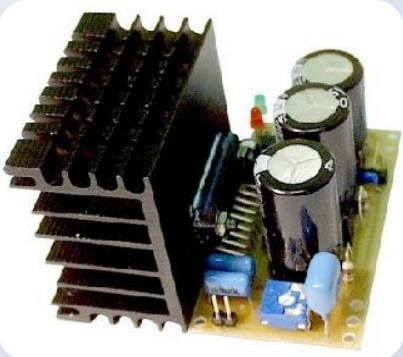


Схема с ОЭ

T - биполярный транзистор *п-р-п* типа

E_k – источник энергии.

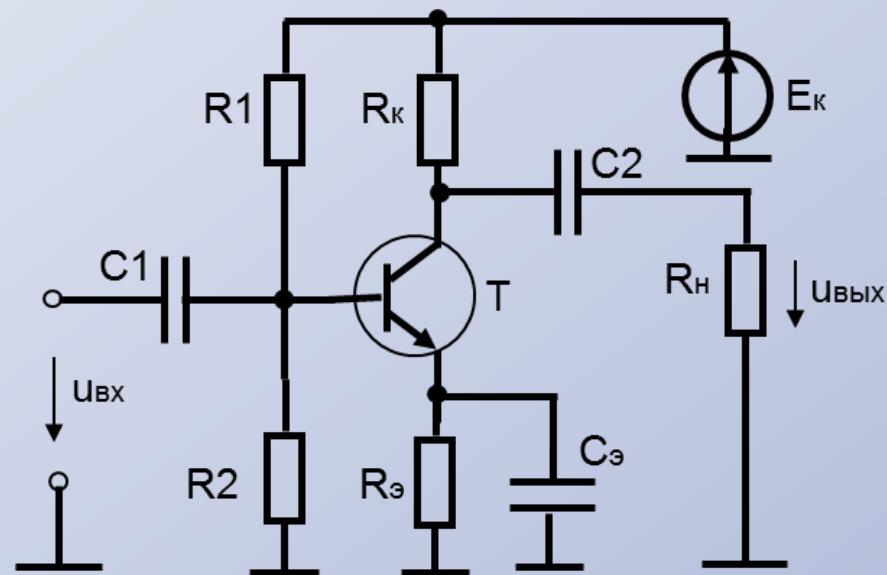
T – регулирует подачу энергии от **E_k** в нагрузку

R_1, R_2 , - базовый делитель – для обеспечения начального режима работы.

$R_э, C_э$ – для обеспечения температурной стабилизации.

C_1, C_2 – разделительные конденсаторы -для развязки по постоянному току.

R_k – сопротивление коллектора, на котором выделяется усиленный сигнал.



Режимы работы

усилителя на биполярном транзисторе

СТАТИЧЕСКИЙ

ДИНАМИЧЕСКИЙ

СТАТИЧЕСКИЙ

При включении источника питания протекает ток делителя

$(+E_k \rightarrow R1 \rightarrow R2 \rightarrow \perp \rightarrow -E_k).$

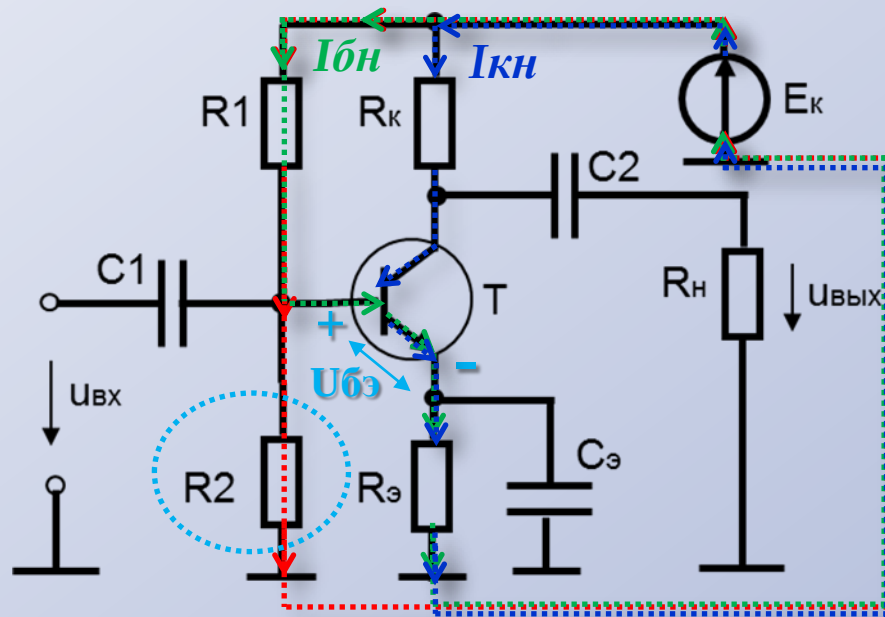
На $R2$ создается напряжение, которое смещает эмиттерный переход в прямом направлении.

Протекает ток базы $I_{бн}$:

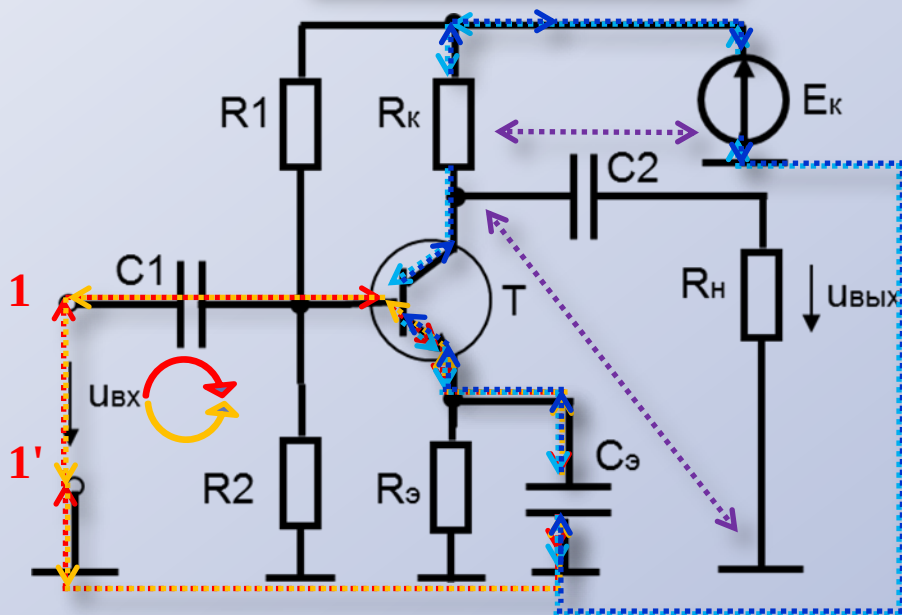
$+E_k \rightarrow R1 \rightarrow БЭТ \rightarrow Rэ \rightarrow \perp \rightarrow -E_k,$

который вызывает ток коллектора $I_{кн}$:

$+E_k \rightarrow R_k \rightarrow КЭТ \rightarrow Rэ \rightarrow \perp \rightarrow -E_k.$



ДИНАМИЧЕСКИЙ



При подаче на вход усилителя 1 – 1' напряжения $U_{вх}$ протекает переменный ток базы

$(1 \rightarrow C1 \rightarrow БЭТ \rightarrow Cэ \rightarrow \perp \rightarrow 1' \text{ и в обратном направлении}).$

Это вызывает переменный коллекторный ток

$(КТ \rightarrow R_k \rightarrow E_k \rightarrow Cэ \rightarrow ЭТ \text{ и в обратном направлении}),$

который создает на R_k усиленный (по I , U и P) сигнал.

Этот сигнал через $C2$ подается на сопротивление нагрузки $U_{вых}$.

Для задания положения рабочей точки усилительного элемента (УЭ) используют динамические характеристики.

Динамические характеристики – это зависимости между мгновенными значениями напряжений и токов в цепях нагруженного УЭ, т.е. при наличии в его цепях внешних сопротивлений.

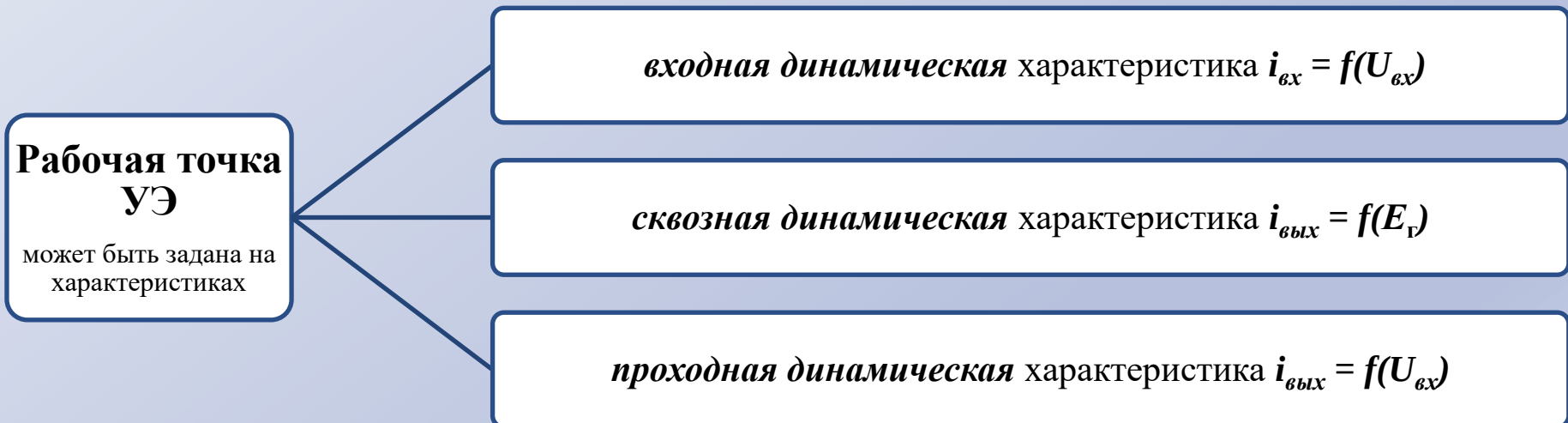
Динамические характеристики отличаются от статических, поскольку последние снимаются без внешних сопротивлений (статические характеристики приводятся в справочниках). При снятии статических характеристик меняется какой-то один из основных параметров, фиксируя значение другого.

Например: $I_b = f(U_{бэ})$ при $U_{кэ} = \text{const}$ – статическая входная характеристика.

Наличие внешних сопротивлений в цепях УЭ приводит к тому, что при изменении какого-то одного параметра меняются все остальные, в частности, с ростом коллекторного тока напряжение на коллекторе транзистора уменьшается:

$$\downarrow u_{кэ}(t) = E_{к} - \uparrow i_{к}(t) \cdot R_{к}$$

Динамические характеристики являются более полезными на практике, т.к. **соответствуют реальным режимам работы усилительных элементов.**



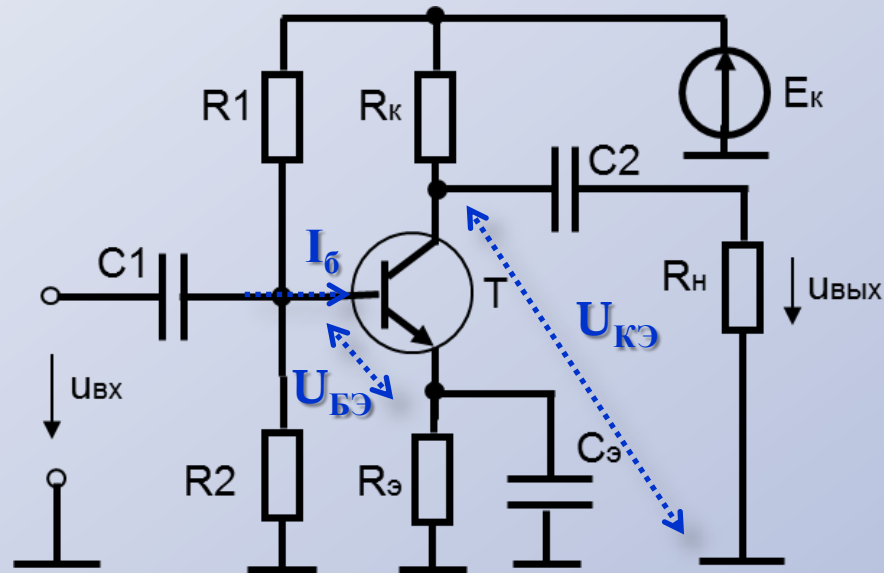
Входная динамическая характеристика

$$I_{\text{ВХ}} = f(U_{\text{ВХ}}) \Big|_{R_{\text{Н}} \neq 0}$$

- *зависимость входного тока от входного напряжения.* Данную характеристику принято рассматривать только для биполярных транзисторов, т. к. входное сопротивление полевых транзисторов и электрических ламп велико, следовательно, их входным током можно пренебречь.

$$I_{\text{ВХ}} = I_{\text{б}}; \quad U_{\text{ВХ}} = U_{\text{бэ}}; \quad \Rightarrow I_{\text{б}} = f(U_{\text{бэ}}) \Big|_{U_{\text{кэ}} \neq 0}$$

Схема с ОЭ

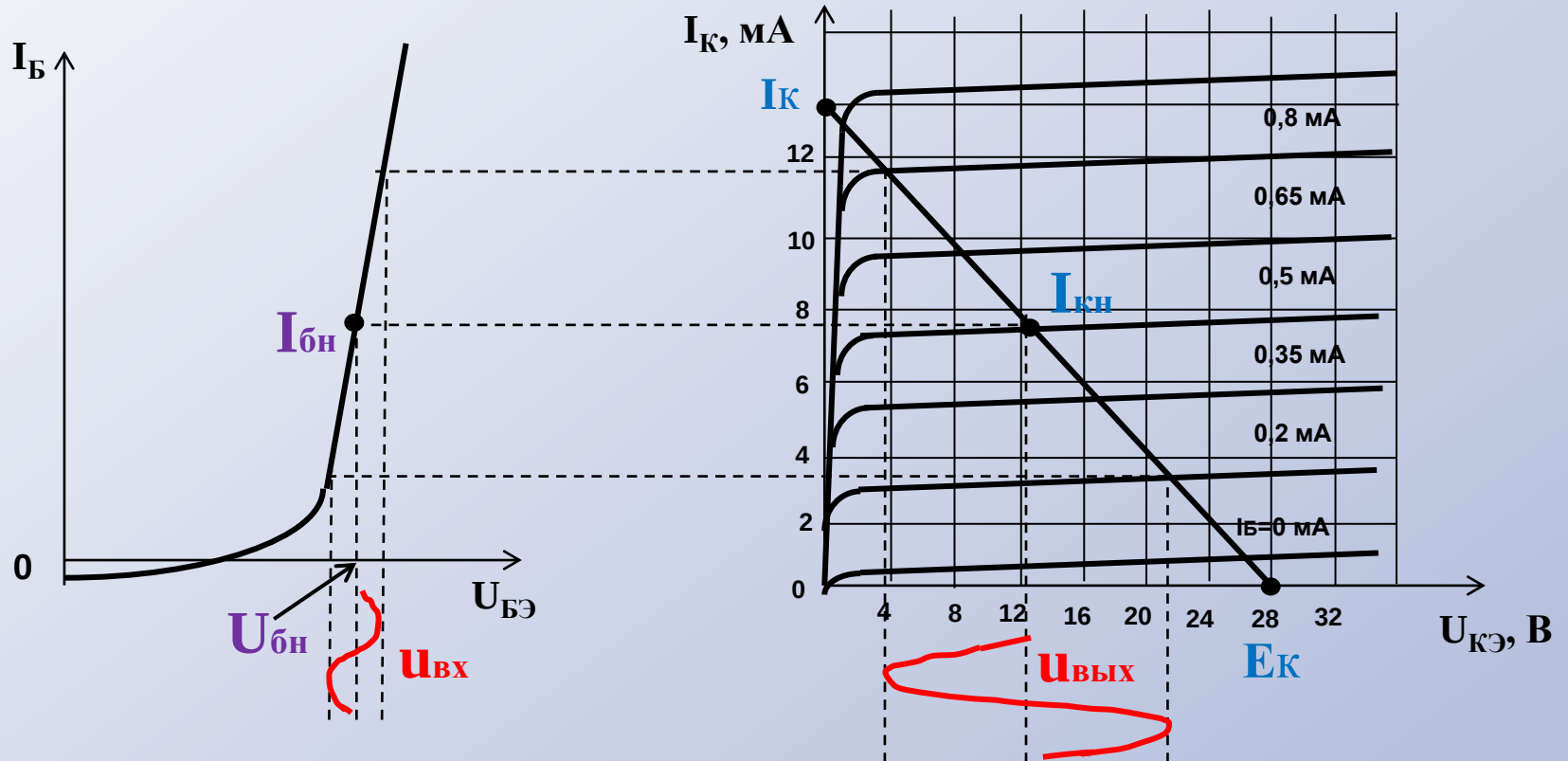


Известно, что величина коллекторного напряжения мало влияет на ход входной характеристики транзистора, поэтому во всех справочниках приводятся, как правило, две характеристики для $U_{\text{кэ}} = 0$ и $U_{\text{кэ}} = 5\text{В}$.

Входные динамические (статические) характеристики используются для задания рабочей точки транзистора в радиолубительской практике и в не очень ответственных случаях, поскольку данный способ задания рабочей точки учитывает нелинейность только одной (входной) характеристики.

ВАС

ГТ122А



$$I_{BН} = \frac{E_K - U_{BН}}{R_Э + R_1}$$

$$I_K = \frac{E_K}{R_Э + R_K}$$

При расчете усилителя ток $I_{BН}$ выбирается на середине линейного участка вольтамперной характеристики.
Усилимый сигнал $U_{ВХ}$ должен остаться в пределах линейного участка, чтобы формы сигнала на входе и выходе усилителя были одинаковыми.

Сквозная и проходная динамические характеристики

Данные характеристики учитывают нелинейность как входных, так и выходных характеристик усилительного элемента и применяются для выбора рабочей точки и для расчета нелинейных искажений в усилительном каскаде.

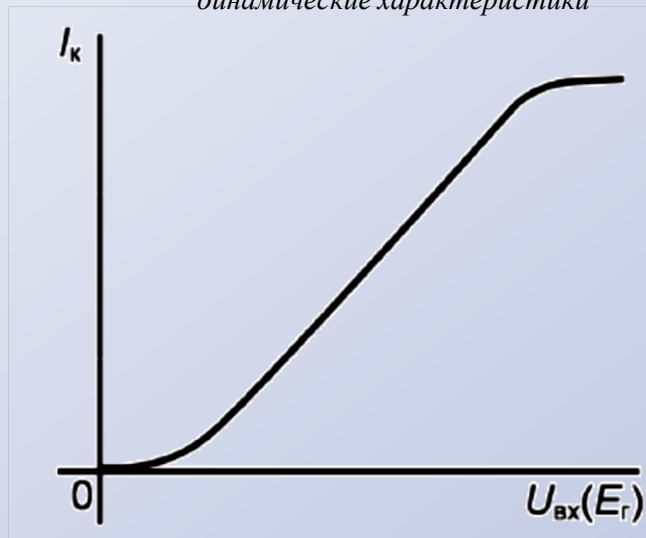
Сквозная динамическая характеристика представляет собой зависимость входного тока усилительного элемента от источника сигнала

$$I_{\text{ВЫХ}} = f(E_{\Gamma})|_{R_{H\sim} \neq 0}.$$

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{К}}; \Rightarrow I_{\text{К}} = f(E_{\Gamma})|_{R_{H\sim} \neq 0}$$

Учитывает нелинейность входных и выходных статических характеристик биполярного транзистора.

Сквозная и проходная
динамические характеристики



Для построения сквозной динамической характеристики используют выходные статические характеристики транзистора, где проводят нагрузочную прямую переменного тока. Кроме того, используется входная статическая характеристика транзистора при $U_{КЭ} \neq 0$, применяемая в качестве динамической. Данная характеристика используется при рассмотрении биполярных транзисторов. У полевых транзисторов – высокое входное сопротивление и поэтому $E_{\Gamma} = U_{ВХ}$.

Зависимость

$$i_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})|_{R_{H\sim} \neq 0}$$

соответствует проходной динамической характеристике, которая строится аналогично сквозной характеристике, только без расчета E_{Γ} .

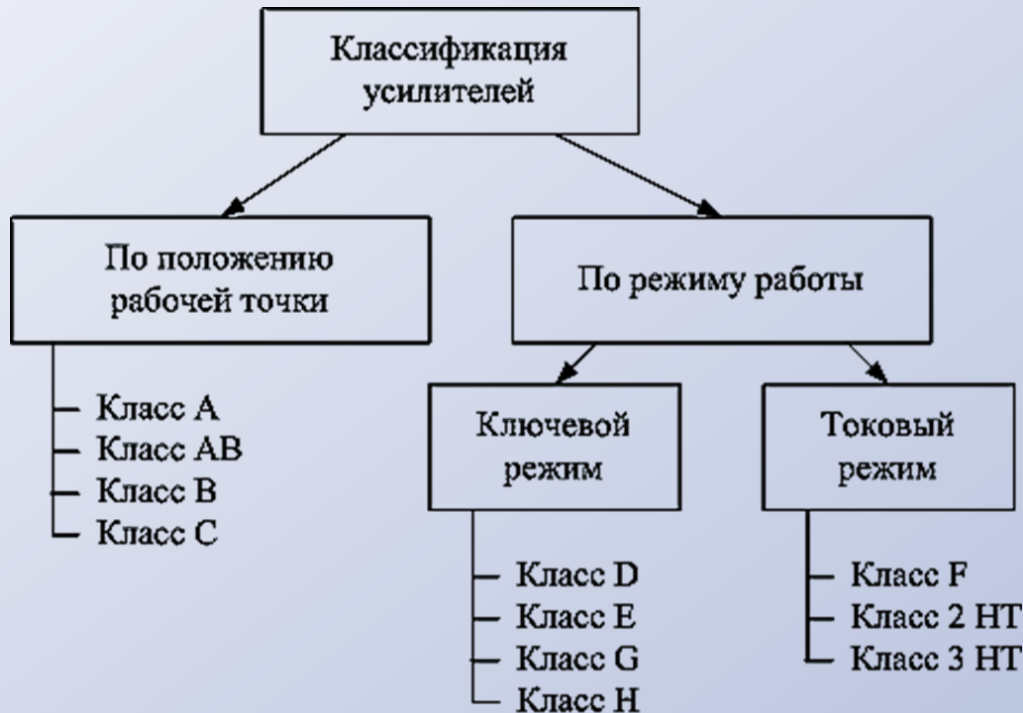
Для биполярного транзистора

$$I_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{К}}; U_{\text{ВХ}} = U_{БЭ}; \Rightarrow I_{\text{К}} = f(U_{БЭ})|_{R_{H\sim} \neq 0}$$

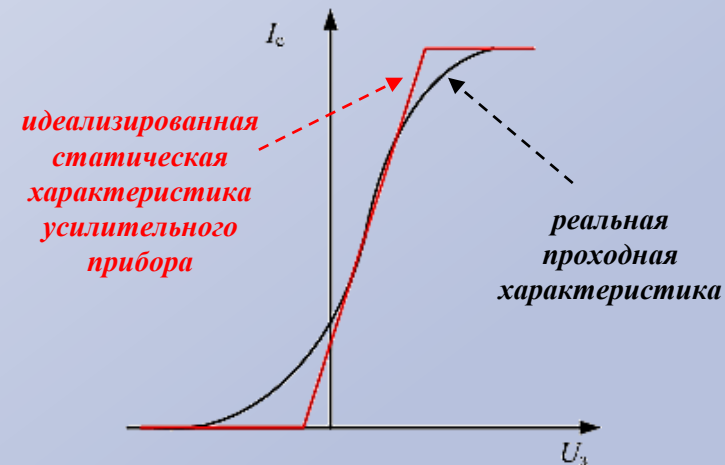
Режимы работы усилителей (классификация усилителей)

Режим работы усилителя определяется положением рабочей точки на характеристике прямой передачи по току усилительного прибора (биполярный или полевой транзистор).

Режим работы усилителя называется классом работы.

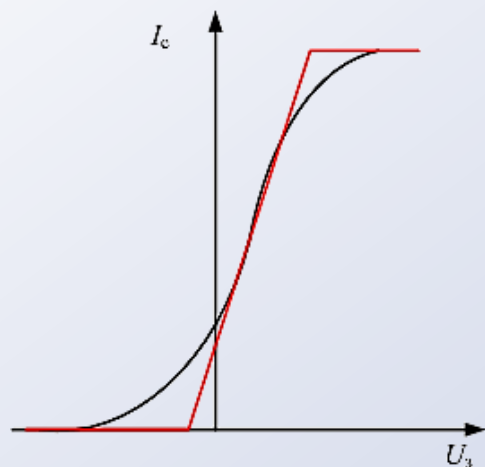


Идеализированная статическая характеристика усилительного прибора

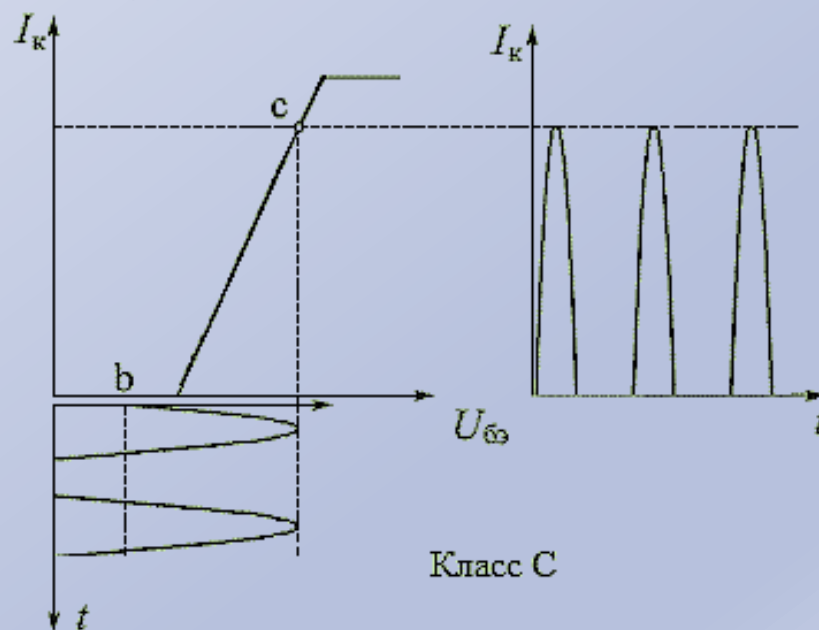
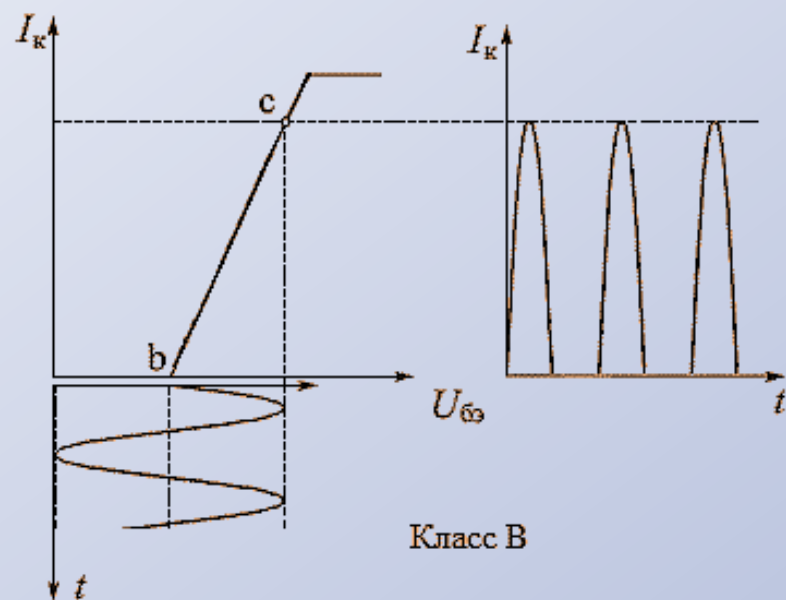
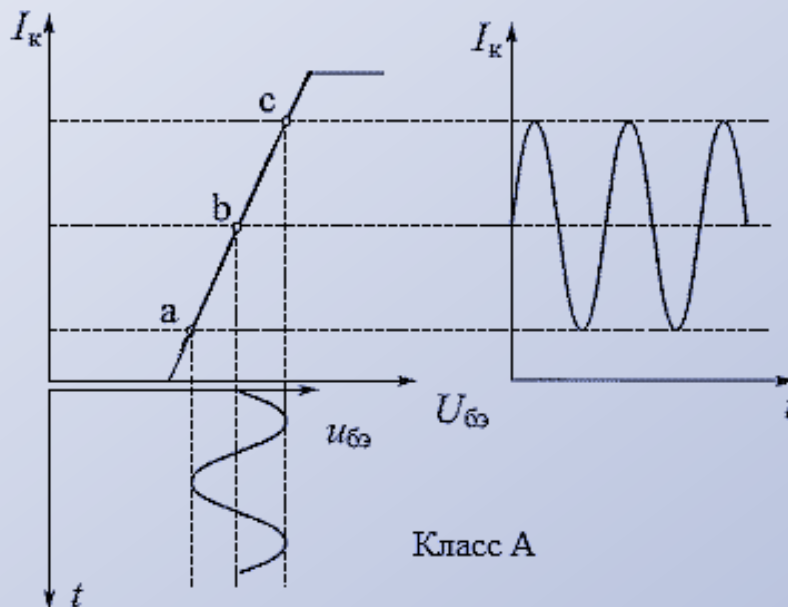


Выбор рабочей точки может значительно влиять на основные характеристики усилителя, такие как коэффициент усиления, нелинейные искажения и к.п.д.

Положение рабочей точки в усилителях класса А, В и С



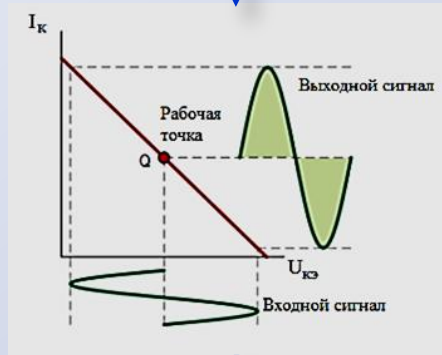
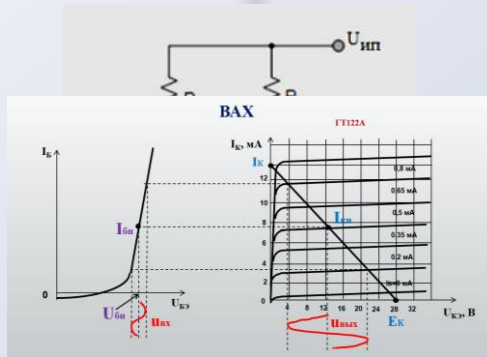
Статическая характеристика усилительного прибора



В зависимости от положения рабочей точки на характеристике прямой передачи усилительного прибора и формирования тока коллектора (анода, стока) различают следующие

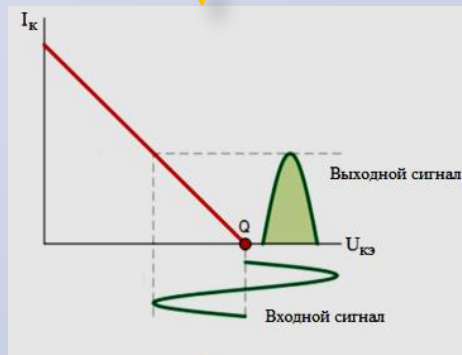
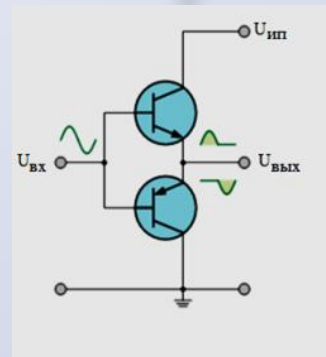
ВИДЫ АНАЛОГОВЫХ (ТОКОВЫХ) РЕЖИМОВ

усилитель класса А



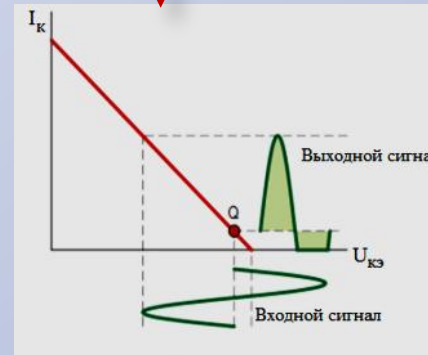
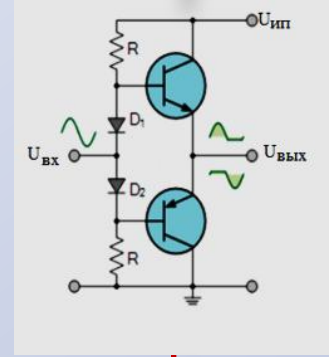
рабочая точка
выбирается *в середине*
линейного участка
статической
характеристики

усилитель класса В



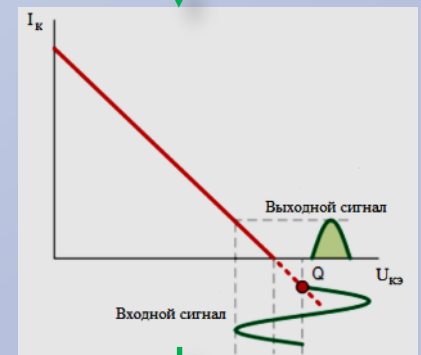
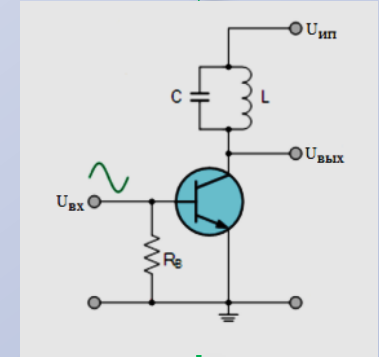
рабочая точка выбирается
в начале линейного
участка статической
характеристики

усилитель класса АВ

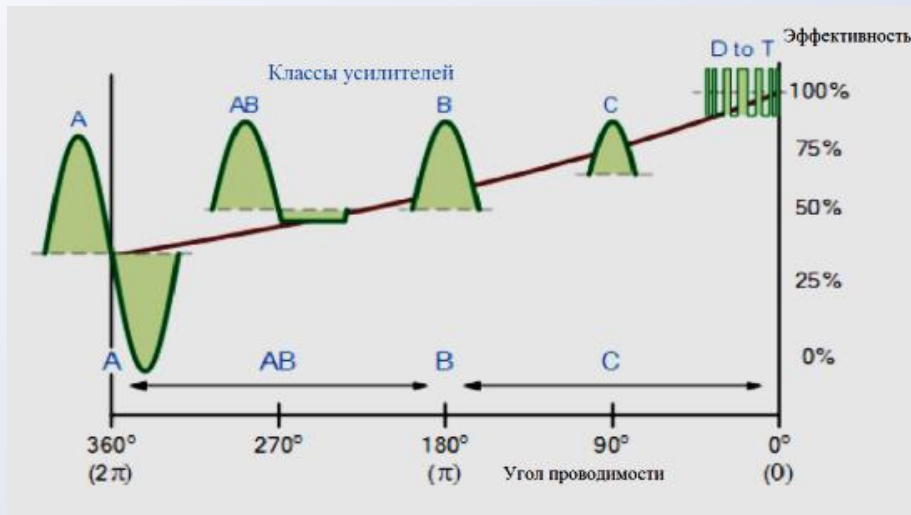


рабочая точка выбирается
немного *выше начала*
линейного участка
статической
характеристики

усилитель класса С



рабочая точка выбирается
ниже начала линейного
участка статической
характеристики (усиление
только частотно-
модулированных сигналов)



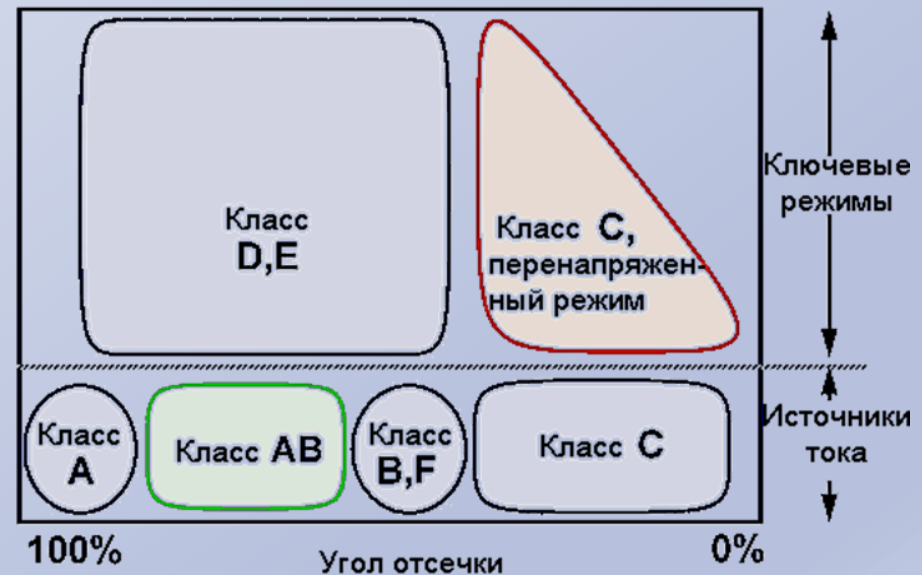
Усилители классов А, В, АВ и С имеют режим работы зависящий от выбранного угла проводимости транзистора, т.е. характер работы транзисторов можно описать как среднее между полностью открытым и закрытым состояниями. Значение угла проводимости для транзисторов таких усилителей варьируется от 360° (полностью открытый транзистор в течение всего периода) до 90° (пропускается только четверть сигнала, остальное время транзистор закрыт).

Классы усиления принято характеризовать углом отсечки – θ («theta»), который равен половине интервала проводимости за период усилительного элемента и измеряется в угловых единицах (градусы, радианы).

Угол, при котором ток коллектора максимальный I_{kmax} , называется углом отсечки θ .

Для усилителя:

- А класса - $\theta = 180^\circ$.
- В класса - $\theta > 90^\circ$.
- АВ класса - $\theta > 90^\circ$.
- С класса - $\theta < 90^\circ$.



Работа усилителя в ключевом режиме значительно отличается при усилении
низкочастотного сигнала и высокочастотного узкополосного сигнала.



Усилители классов С, Е, F

предназначены для усиления узкополосных высокочастотных сигналов с высоким к.п.д.

Усилители классов А, В, D

используются для усиления низкочастотных широкополосных сигналов, таких как звуковые сигналы, телевизионные или цифровые сигналы

Класс усилителя	КПД, %	Достоинства	Недостатки
A	15-35	минимальные искажения сигнала и высокая точность воспроизведения	- низкая эффективность - высокое потребление электроэнергии - повышенное выделение тепла - малая мощность
B	70	Высокий КПД	Искажения сигнала
AB	50-70	✓ КПД выше, чем в усилителях класса A ✓ Искажения меньше, чем в усилителях класса B ✓ Меньший нагрев, чем в усилителях класса A ✓ Простая схемотехника	Недостаточно высокий КПД
D	90	✓ высокая эффективность ✓ компактные размеры и вес ✓ отсутствие фоновых шумов ✓ низкая теплоотдача ✓ готовность к работе сразу же после включения	✓ зависимость качества звука от нагрузки на динамик ✓ сложная схемотехника ✓ стоимость
H, G	50-70	✓ высокая эффективность ✓ низкая теплоотдача ✓ компактность	цена

Применение

Усилители класса А

в каскадах предварительного усиления

в предоконечных каскадах

в RC-генераторах синусоидального напряжения

в любой схеме, где недопустимы нелинейные искажения

Усилители класса В

в одноктактных усилителях при резонансном усилении узкой полосы частот

при усилении импульсных сигналов одной полярности

в двухтактных усилителях мощности

Усилители класса АВ

в AV-ресиверах для домашних кинотеатров

в стереоусилителях

Усилители класса С

в LC – генераторах

в резонансных каскадах

Усилители класса D

в домашнем аудио

в профессиональной аппаратуре

в портативных устройствах

Основные схемы усилительных каскадов на транзисторах

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ

Схема с фиксированным током базы

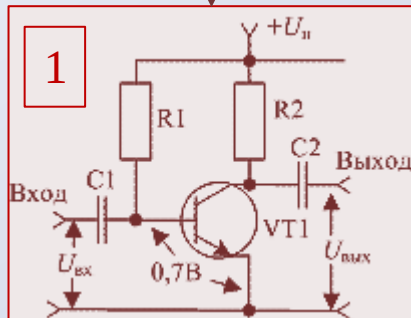


Схема с фиксированным напряжением на базе

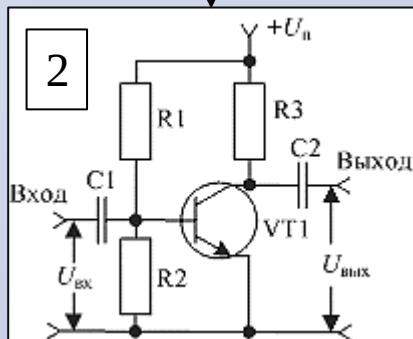


Схема коллекторной стабилизации

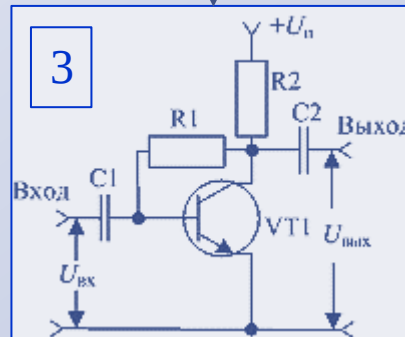
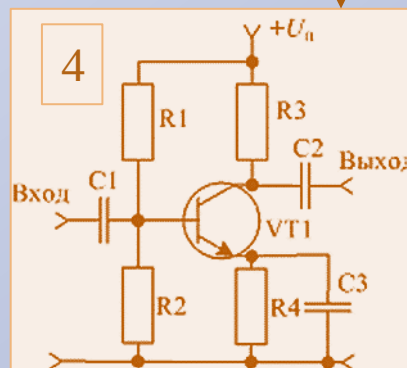
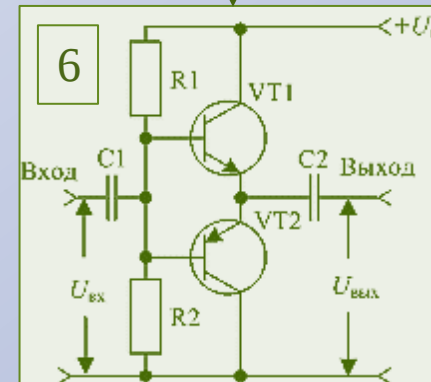


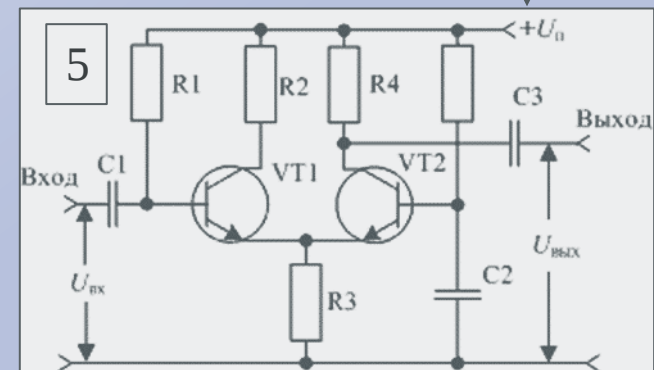
Схема эмиттерной стабилизации

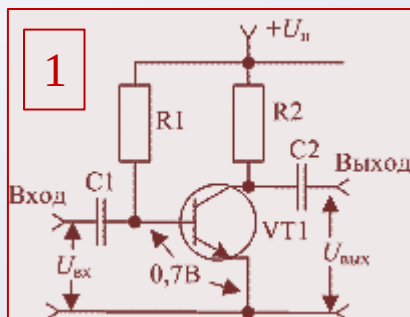


Дифференциальный усилитель

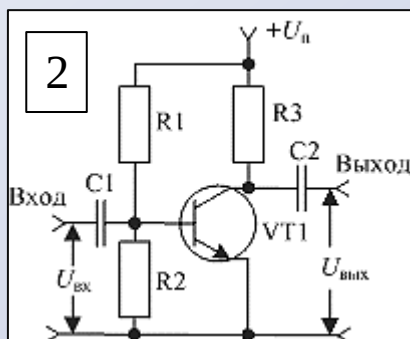


Двухтактный усилитель





№1. В схеме с общим эмиттером напряжение источника сигнала подается на базу, а усиленное напряжение снимается с коллектора. Для того, чтобы обеспечить режим работы транзистора на базу необходимо подать начальный ток $I_{Б0}$. Для питания цепей коллектора и базы используют один источник питания. В простейшем случае ток на базе транзистора можно задать при помощи резистора. Такой вариант задания рабочего режима транзистора называется **схемой с фиксированным током базы**. Она применяется только в усилителях класса А.

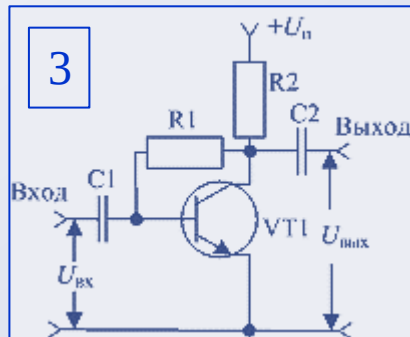


№2. Схема питания **транзистора с фиксированным напряжением на базе** менее распространена в схемах с биполярным транзистором. По сравнению со схемой с фиксированным током, она обладает *большой стабильностью параметров усилителя*. Схема питания транзистора с фиксированным напряжением на базе транзистора подходит для питания полевых транзисторов с индуцированным каналом, правда в этом случае она будет называться схемой питания транзистора с фиксированным напряжением на затворе транзистора.

Схемы №1 и №2 подходят для всех схем включения транзистора: с ОЭ, с ОК и с ОБ

Характеристики электронных устройств во многом определяются режимом работы транзистора. Однако режим работы транзистора зависит от многих факторов, в первую очередь, от коэффициента усиления самого транзистора. Коэффициент усиления транзистора меняется в зависимости от температуры, разброса параметров транзисторов, напряжения питания, радиации.

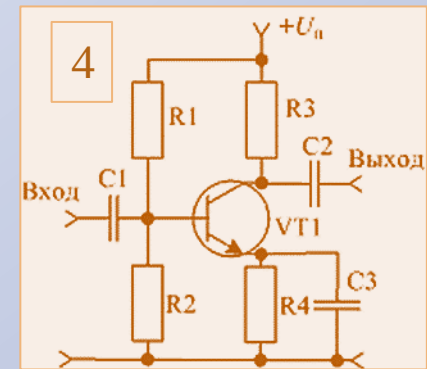
Наилучшими параметрами усилителей обладает схемы **коллекторной стабилизации (№3)** и **эмиттерной стабилизации (№4).**



Это схемы усилителей
радиочастоты и
усилителей
промежуточной частоты

№3. В *схеме КС* напряжение на коллекторе уменьшается до напряжения $U_{БЭ}$. В этой схеме присутствует делитель напряжения, образованный сопротивлениями $R1$ и $R_{вх}$. Он уменьшает глубину отрицательной обратной связи, а значит эффективность стабилизации.

№4. В *схеме ЭС* все падение напряжения на эмиттерном сопротивлении прикладывается к базовому переходу.



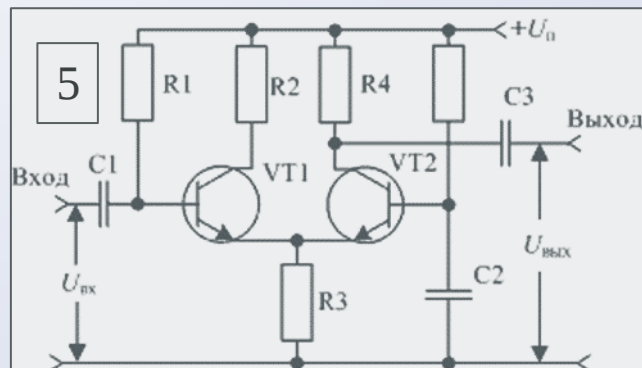
Это схемы усилителей
радиочастоты и
усилителей
промежуточной частоты,
схемы усилителей низкой
частоты

Для стабилизации режима транзисторного каскада достаточно коллекторной стабилизации (№3) .

Для стабилизации режима работы транзистора (стабилизации тока коллектора) применяется отрицательная обратная связь по постоянному току и наилучшими характеристиками обладает схема эмиттерной стабилизации (№4).

Тенденцией современной схемотехники является постоянное уменьшение напряжения питания. Это связано с уменьшением проектных норм на транзисторы в современной технике производства микросхем. При уменьшении питания возникают неизбежные проблемы с уменьшением помехоустойчивости и динамического диапазона усилителей.

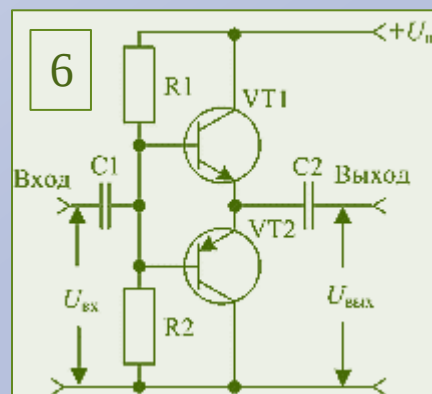
Улучшить помехоустойчивость линий связи между усилительными каскадами позволяет применение парафазных соединительных линий.



Это схемы усилителей промежуточной частоты, высококачественных усилителей звуковой частоты, схемы входных каскадов операционных усилителей

№5. Дифференциальный усилитель позволяет усиливать парафазный сигнал, передаваемый по двум соединительным линиям. Кроме того, он позволяет переходить от несимметричного представления сигнала (относительно корпуса или земли) к симметричному (парафазному) и наоборот. Именно поэтому дифференциальные усилители получили широкое распространение в современных аналоговых интегральных микросхемах.

№6. При работе транзистора в режиме А класса невозможно реализовать высокий к.п.д. усилителя. В качестве альтернативы может подойти режим работы В класса, но он приводит к значительным нелинейным искажениям. Однако если реализовать два усилителя, работающие в режиме В, и заставить их усиливать положительную и отрицательную полуволны синусоиды отдельно, а затем соединить эти полуволны вместе, то получится усилитель, работающий почти без искажений. Подобный усилитель получил название **двухтактного усилителя**.



Это схемы звуковых усилителей