

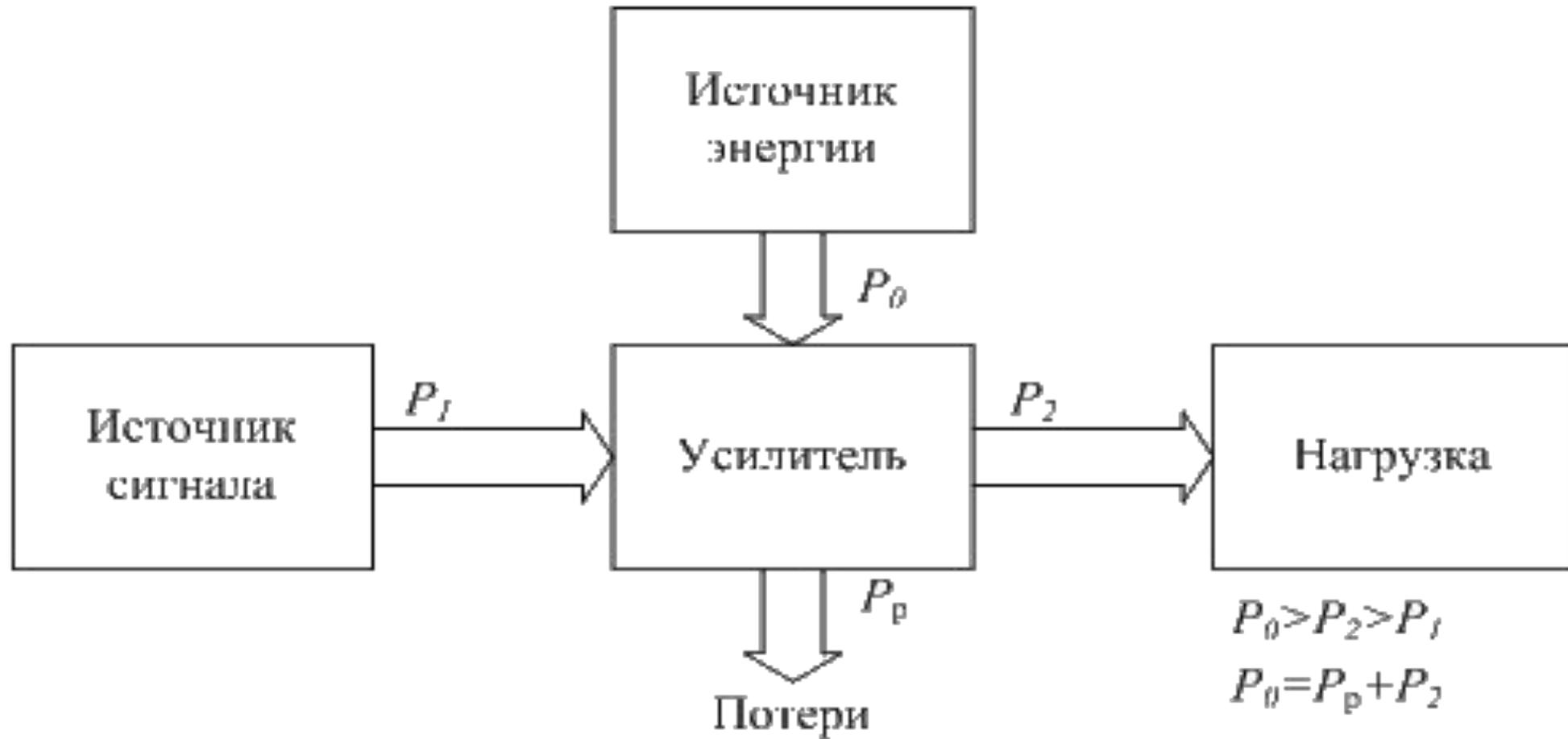


Усилители

Основные сведения

- **Усилители электрических сигналов** – это электронные устройства, предназначенные для усиления напряжения, тока или мощности входных электрических сигналов за счет энергии источника питания.

Передача сигнала с помощью усилителя



Классификация усилителей

По роду усиливаемого сигнала усилители делятся на:

- усилители постоянного тока (УПТ), усиливающие электрические сигналы с частотой от нуля герц и выше
- усилители переменного тока, усиливающие переменные сигналы с частотой, отличной от нуля.

Классификация усилителей

По частоте усиливаемого сигнала могут быть выделены следующие группы:

- **усилители низкой частоты (УНЧ)** – устройства с диапазоном усиливаемых частот от единиц герц до сотен килогерц;
- **усилители высоких частот (УВЧ)** – устройства с диапазоном усиливаемых частот от сотен килогерц до сотен мегагерц и выше;
- **широкополосные усилители (ШПУ)**– устройства с диапазоном усиливаемых частот от десятков – сотен герц до сотен мегагерц;
- **избирательные (резонансные) усилители (ИУ)**, обеспечивающие усиление в узком диапазоне частот

Классификация усилителей

По виду усиливаемого сигнала они делятся на

- усилители
- гармонических сигналов.
- импульсных сигналов.
- **Усилители гармонических сигналов** предназначены для усиления сигналов, изменение которых происходит много медленнее длительностей переходных процессов в самих усилителях.
- **Усилители импульсных сигналов** предназначены для импульсных периодических и непериодических сигналов. При этом длительность собственных переходных процессов в усилителе не должна вызывать искажений исходной формы усиливаемых сигналов.

Классификация усилителей

По функциональному назначению они делятся на

- усилители напряжения,
- усилители тока
- усилители мощности
- в зависимости от того, какой из параметров требуется усиливать

Классификация усилителей

По виду соединительных цепей усилительных каскадов. Так как усилители строятся, как правило, на основе последовательного включения нескольких типовых каскадов, то различают усилители с

- **гальванической (непосредственной) связью**, предусматривающие передачу между каскадами сигнала как переменного, так и постоянного токов; усилители с RC – связями, в которых между выходом предыдущего и входом последующего каскадов включают резистивно – емкостную связь, исключающую передачу сигналов постоянного тока;
- **усилители с индуктивной (трансформаторной) связью**, в которых между каскадами включается трансформатор.
-

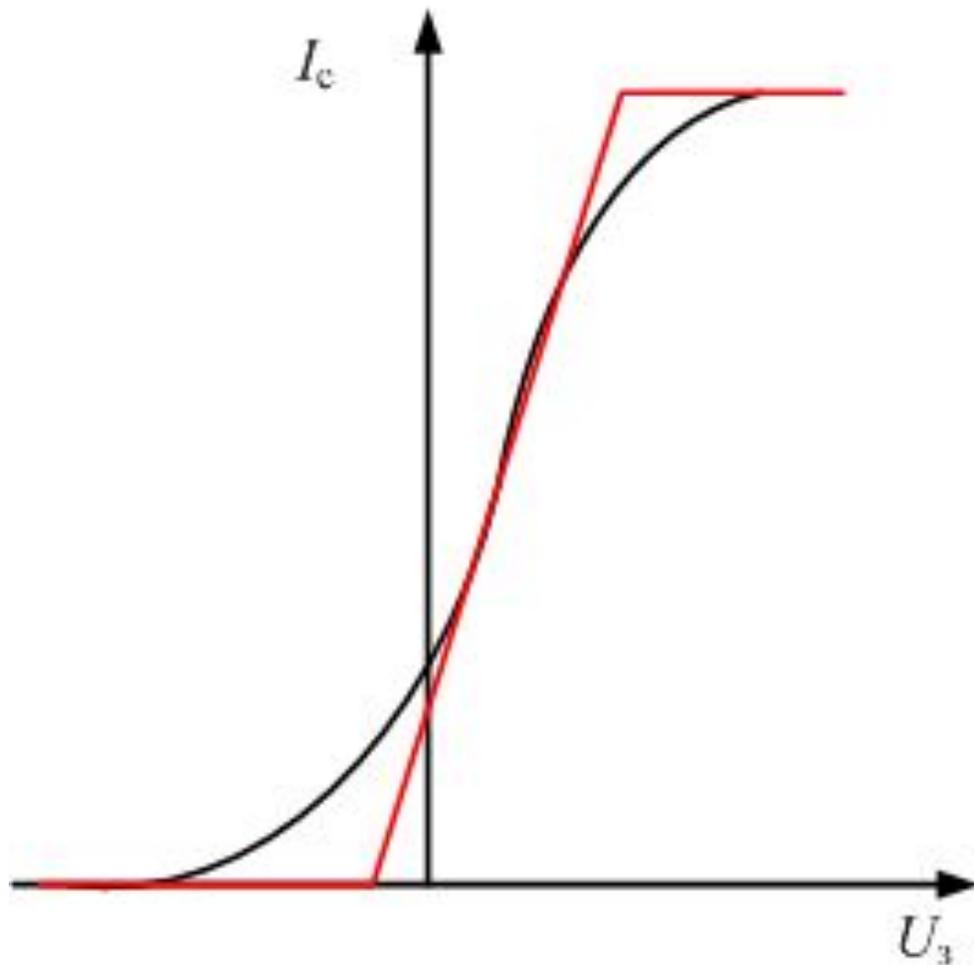
Классификация электронных усилителей

- ▣ **По виду активного элемента** — лампы, транзисторные, на туннельных диодах, параметрических диодах;
- ▣ **По ширине полосы частот** — узкополосные, широкополосные;
- ▣ **По электрическому параметру** — напряжение, ток, мощность;

Классификация усилителей по режиму работы



Идеализированная статическая характеристика усилительного прибора

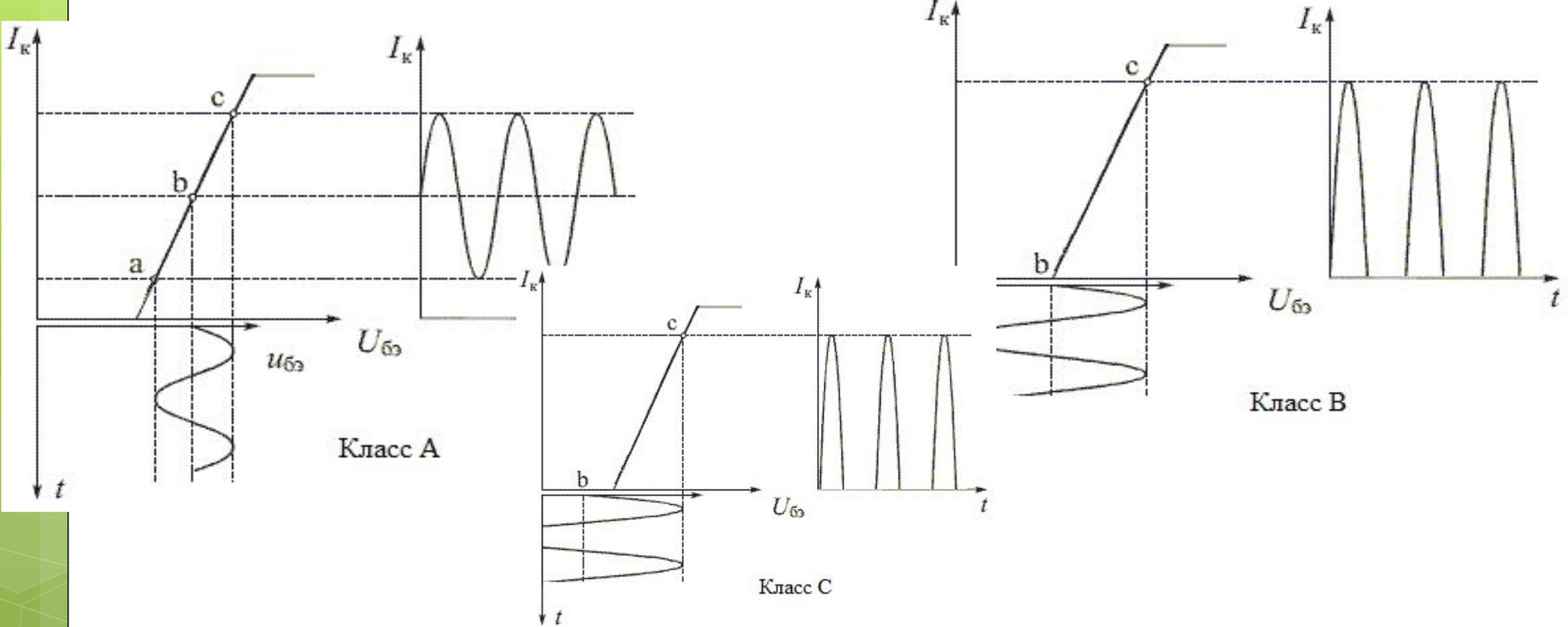


Классификация усилителей по виду аналоговых режимов

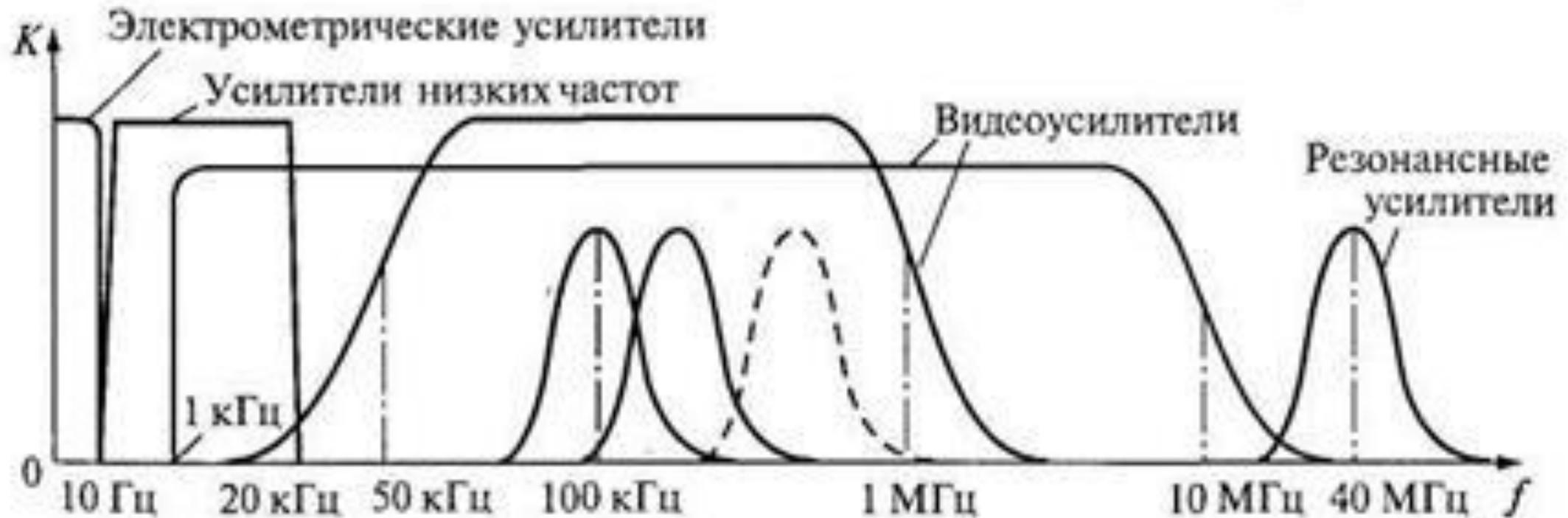
Различают следующие виды аналоговых (токовых) режимов:

- ▣ **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 С** — рабочая точка выбирается ниже начала линейного участка статической характеристики (усиление только ЧМ сигналов)

Положение рабочей точки в усилителях класса А, В и С



Диапазоны частот различных типов усилителей



Основные характеристики и параметры усилителей

Коэффициент усиления - В зависимости от типа усиливаемой величины различают коэффициенты усиления по напряжению K_U , току K_I или мощности K_P :

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}, K_I = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}, K_P = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}.$$

Коэффициенты часто выражают в логарифмических единицах - децибелах:

$$K_U(\text{дБ}) = 20 \lg K_U, K_I(\text{дБ}) = 20 \lg K_I, K_P(\text{дБ}) = 20 \lg K_P$$

Усилитель может состоять из одного или нескольких каскадов. Общий коэффициент усиления:

$$K = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, K(\text{дБ}) = K_1(\text{дБ}) + K_2(\text{дБ}) + \dots + K_n(\text{дБ})$$

Основные характеристики и параметры усилителей

Амплитудная характеристика - это зависимость амплитуды выходного напряжения (тока) от амплитуды входного напряжения (тока).

Динамический диапазон усиления характеризует диапазон изменения входного сигнала: $D = \frac{U_{ВХ\ max}}{U_{ВХ\ min}}$

Переходная характеристика усилителя - это зависимость выходного сигнала (тока, напряжения) от времени при скачкообразном входном воздействии

Коэффициент полезного действия (КПД): $\eta = \frac{P_{ВЫХ}}{P_0}$

где P_0 - мощность, потребляемая усилителем от источника питания.

Принцип построения каскада усиления

Минимальную часть усилителя, сохраняющую его функции, называют **каскадом усиления**.

Обычно усилитель состоит из нескольких каскадов усиления, соединенных между собой межкаскадными связями, с помощью которых выходной сигнал одного каскада усиления передается на вход следующего.

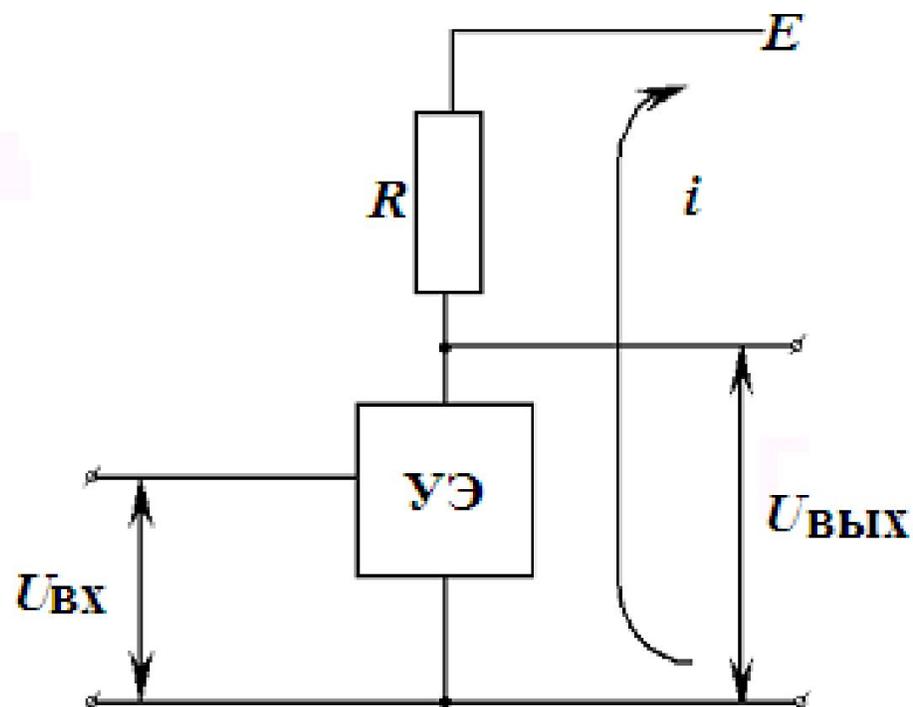
Первые каскады усиления, предназначенные, главным образом для усиления напряжения сигнала, называют предварительными.

Каскад, служащий для усиления мощности сигнала, называют окончательным.

Структурная схема каскада усиления

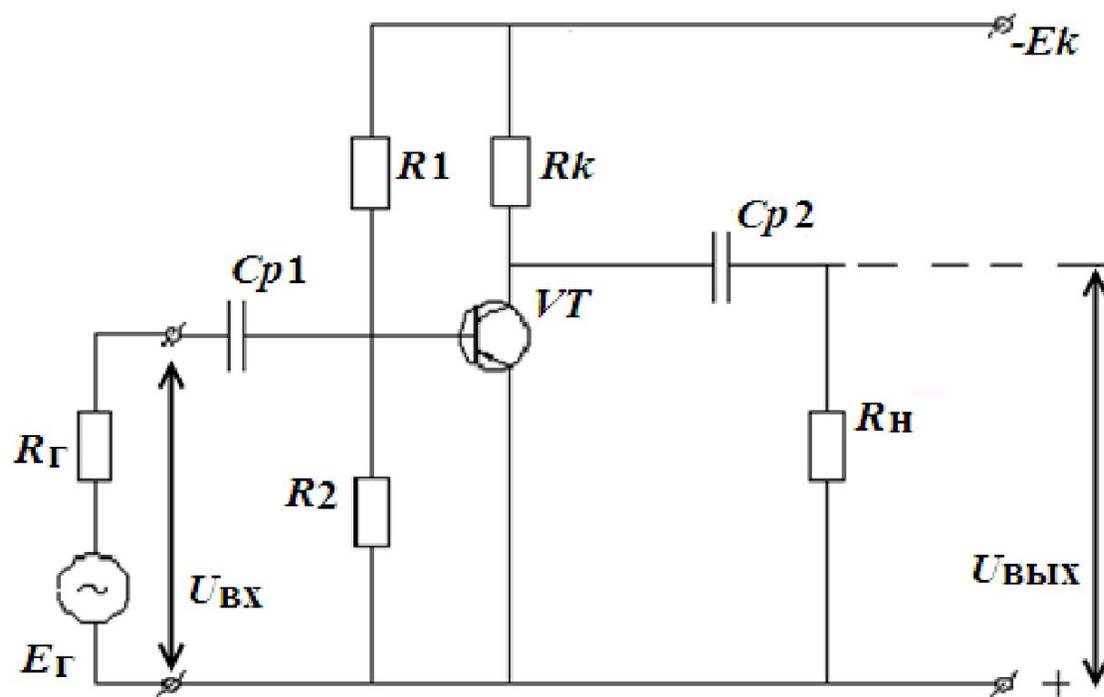
Основными элементами каскада являются усилительный элемент УЭ, которым является биполярный или полевой транзистор, или лампа, резистор R и источник питания E .

Основным требованием, предъявляемым к каскаду усиления, является воспроизведение формы входного сигнала на выходе, т. е. его минимальные нелинейные искажения. Выполнение этого требования обеспечивается подачей определенных напряжений и токов на выводы усилительного элемента. Транзистор во время ожидания входного сигнала находится в режиме молчания, или покоя.



Усилительный каскад с общим эмиттером

Одним из наиболее распространенных усилительных каскадов является каскад с общим эмиттером ОЭ



Основные элементы схемы:

E_k – источник питания («+» E_k для n-p-n, «-» E_k для p-n-p);

VT – биполярный транзистор n-p-n типа;

R_k – сопротивление в цепи коллектора, с помощью которого создается выходное напряжение.

За счет протекания управляемого по цепи базы коллекторного тока создается усиленное напряжение на выходе схемы

Остальные элементы каскада

выполняют вспомогательную роль:

C_{P1} – разделительный конденсатор, который не пропускает постоянную составляющую тока, т. е. исключает шунтирование входной цепи каскада цепью источника питания по постоянному току;

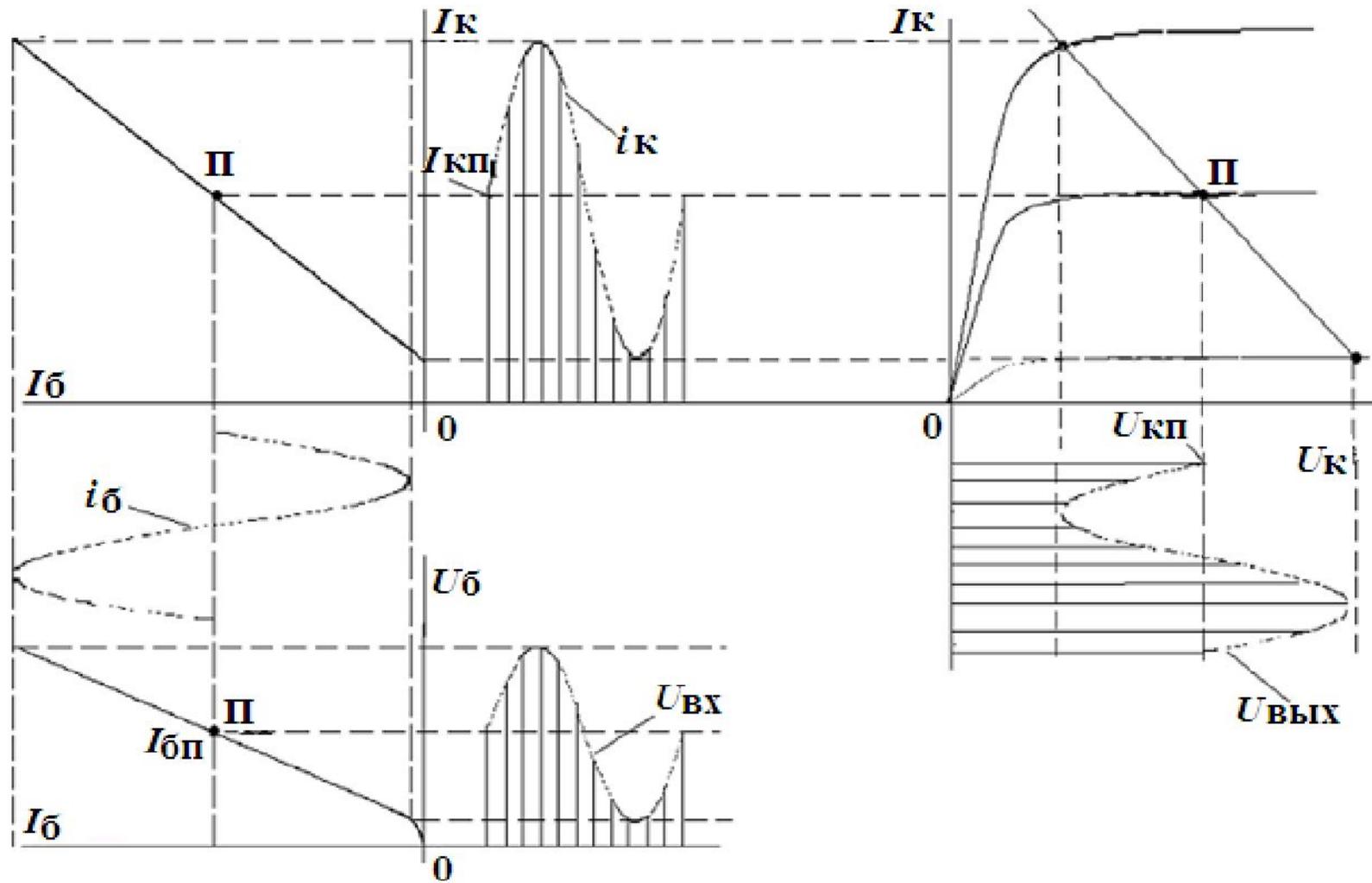
C_{P2} – разделительный конденсатор, не пропускает постоянную составляющую напряжения в нагрузку или в следующий каскад;

R_1 / R_2 – делитель напряжения, включенный в цепь базы, обеспечивает требуемую работу транзистора в режиме покоя, т. е. в отсутствие входного сигнала.

Графический анализ усилительного каскада

- **Графический анализ каскада с ОЭ** сводится к построению по известным семействам статических входных и выходных характеристик транзистора и сопротивлению резистора R_k так называемой **динамической проходной характеристики (ДПХ)**.
- **Динамическими проходными характеристиками являются** зависимости выходного тока или выходного напряжения от входного напряжения.

Графический анализ усилительного каскада



Графический анализ усилительного каскада

При подаче на вход усилительного каскада переменного напряжения $U_{вх}$, I_b будет изменяться в соответствии с входной характеристикой, т. е. кроме постоянной составляющей $I_{бп}$ он будет иметь переменную составляющую i_b . Одновременно с этим в транзисторе будут изменяться эмиттерный $I_э$ и коллекторный $I_к$ токи.

Переменная составляющая коллекторного напряжения представляет собой выходное напряжение усилительного каскада, которое численно равно и противоположно по фазе переменной составляющей падения напряжения на резисторе $R_к$:

$$U_{вых} = - R_к i_к;$$

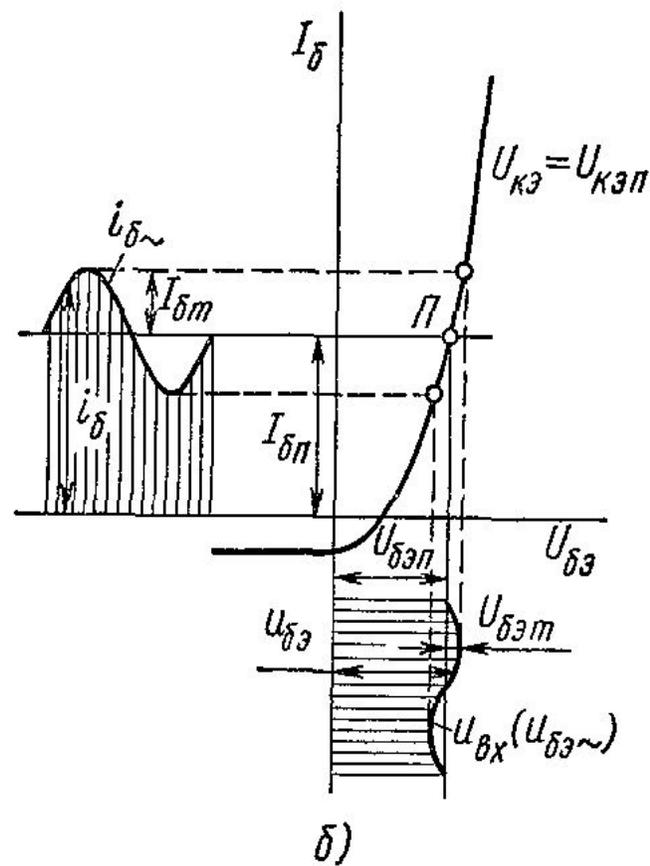
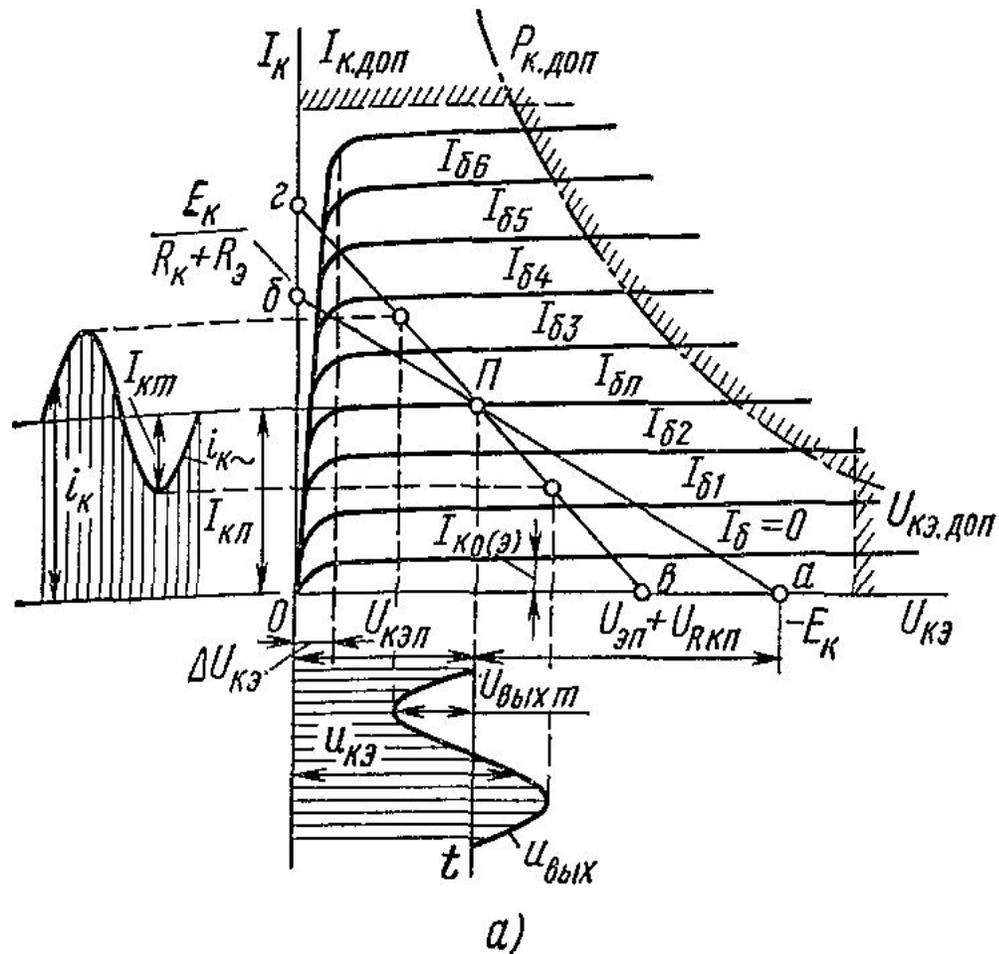
$$U_{вх} = R_{вх} i_{вх},$$

где $R_{вх}$ – входное сопротивление усилительного каскада (УК), которое примерно равно входному сопротивлению транзистора;

$i_{вх} \approx i_b$ – входной ток, примерно равный току базы.

Т.к. $I_к \gg I_b$, $R_к \gg R_{вх}$, то $U_{вых}$ каскада с ОЭ получается намного больше $U_{вх}$.

Графическое определение режима покоя каскада ОЭ



Особенности усилительного каскада с общим эмиттером

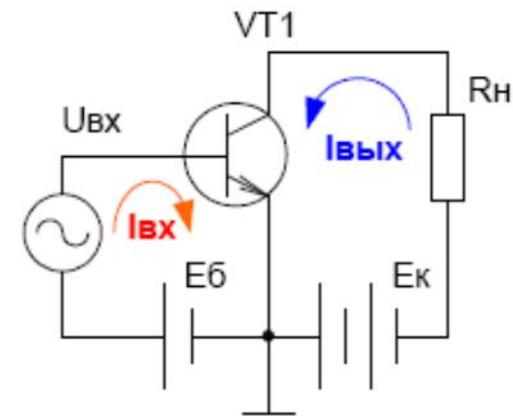
Эта схема является наиболее распространённой, так как она даёт наибольшее усиление по мощности.

$$I_{ВХ} = I_{б} \quad I_{ВЫХ} = I_{к}$$

$$U_{ВХ} = U_{бэ} \quad U_{ВЫХ} = U_{кэ}$$

$$K_I = I_{ВЫХ} / I_{ВХ} = I_{к} / I_{б} \quad (n: 10 \div 100)$$

$$R_{ВХ.э} = U_{ВХ} / I_{ВХ} = U_{бэ} / I_{б} \quad [Ом] \quad (n: 100 \div 1000)$$



Достоинства схемы с общим эмиттером:

Большой коэффициент усиления по току

Большее, чем у схемы с общей базой, входное сопротивление

Для питания схемы требуются два однополярных источника, что позволяет на практике обходиться одним источником питания.

Недостатки: худшие температурные и частотные свойства. Однако за счёт преимуществ схема с ОЭ применяется наиболее часто.