

Лекция 4-5

УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

- **Усилитель** – это устройство, увеличивающее мощность входного сигнала *за счет энергии источника питания*, т.е. усилитель всегда лишь управляет передачей энергии к нагрузке.
- Многие усилители состоят из нескольких ступеней, осуществляющих последовательное усиление сигнала, которые называются - *каскадами*

Классификация усилителей

- **по виду сигнала:**

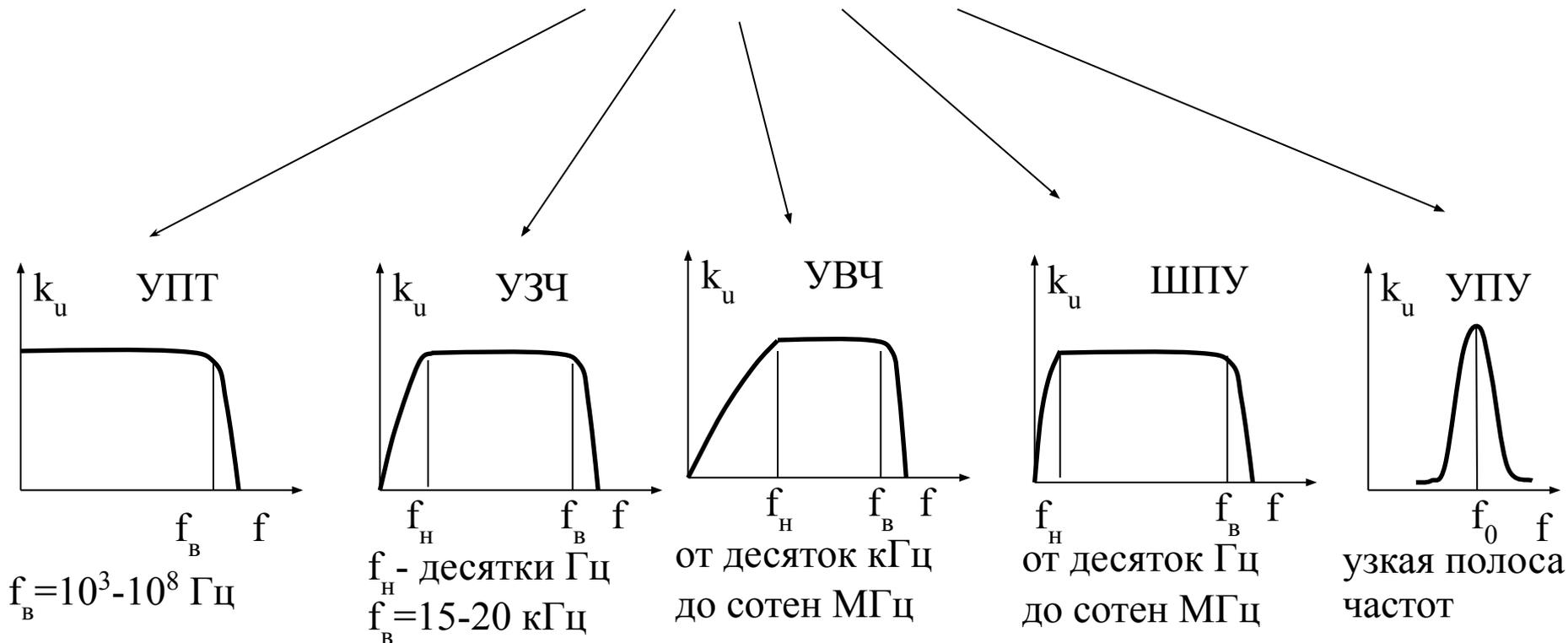
- усилители периодических сигналов;
- усилители постоянного тока (УПТ);
- импульсные усилители;
- специальные.

- **по роду усиливаемой величины:**

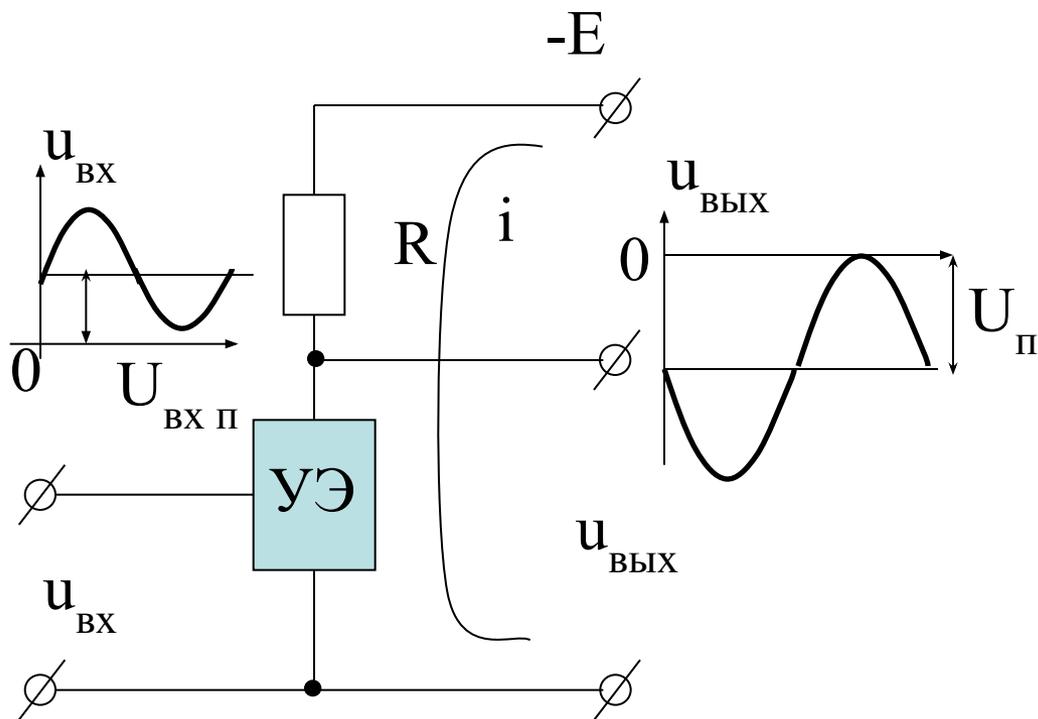
- усилители тока ($k_i > 1$);
- усилители напряжения ($k_u > 1$);
- усилители мощности ($k_p > 1$)

- Важнейшим показателем усилителей является **амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)**: зависимость модуля коэффициента усиления k_u для синусоидального входного сигнала от частоты.

УСИЛИТЕЛИ



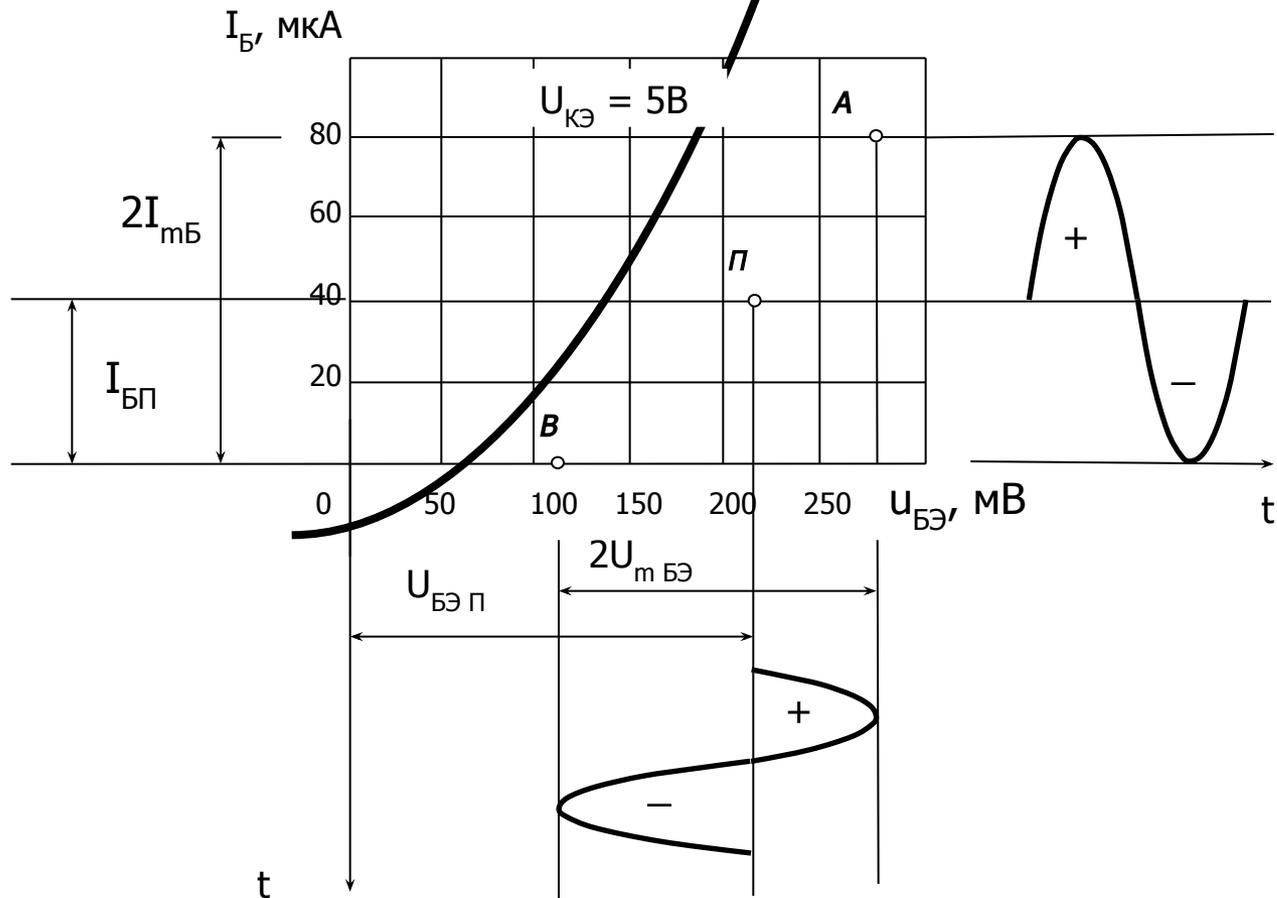
Основные элементы каскада: управляемый элемент (БТ) и резистор R



Для обеспечения работы каскада при \sim входном сигнале в его входной и выходной цепи должны быть созданы постоянные составляющие тока $I_{п}$ и напряжения $U_{п}$.

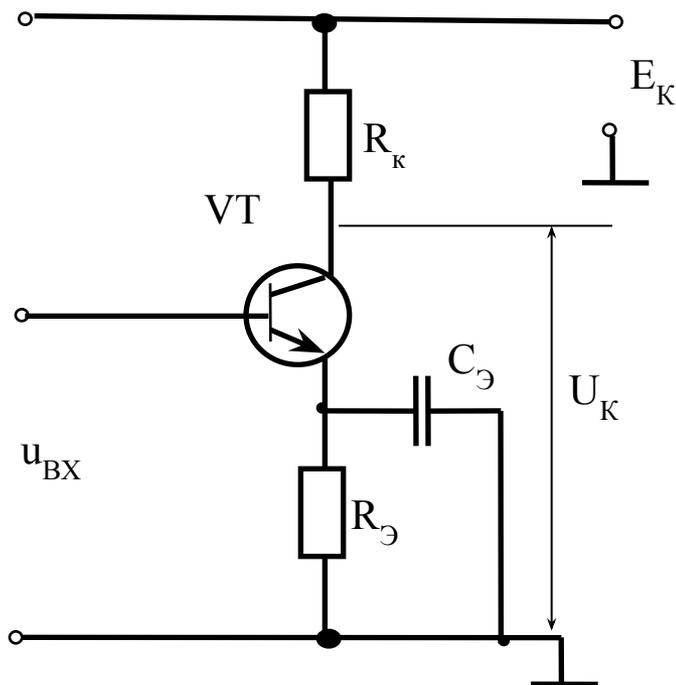
Для этого во входную цепь подают постоянное напряжение $U_{ВХ П}$.

Графоаналитический метод расчета усилительного каскада с ОЭ



Линия нагрузки

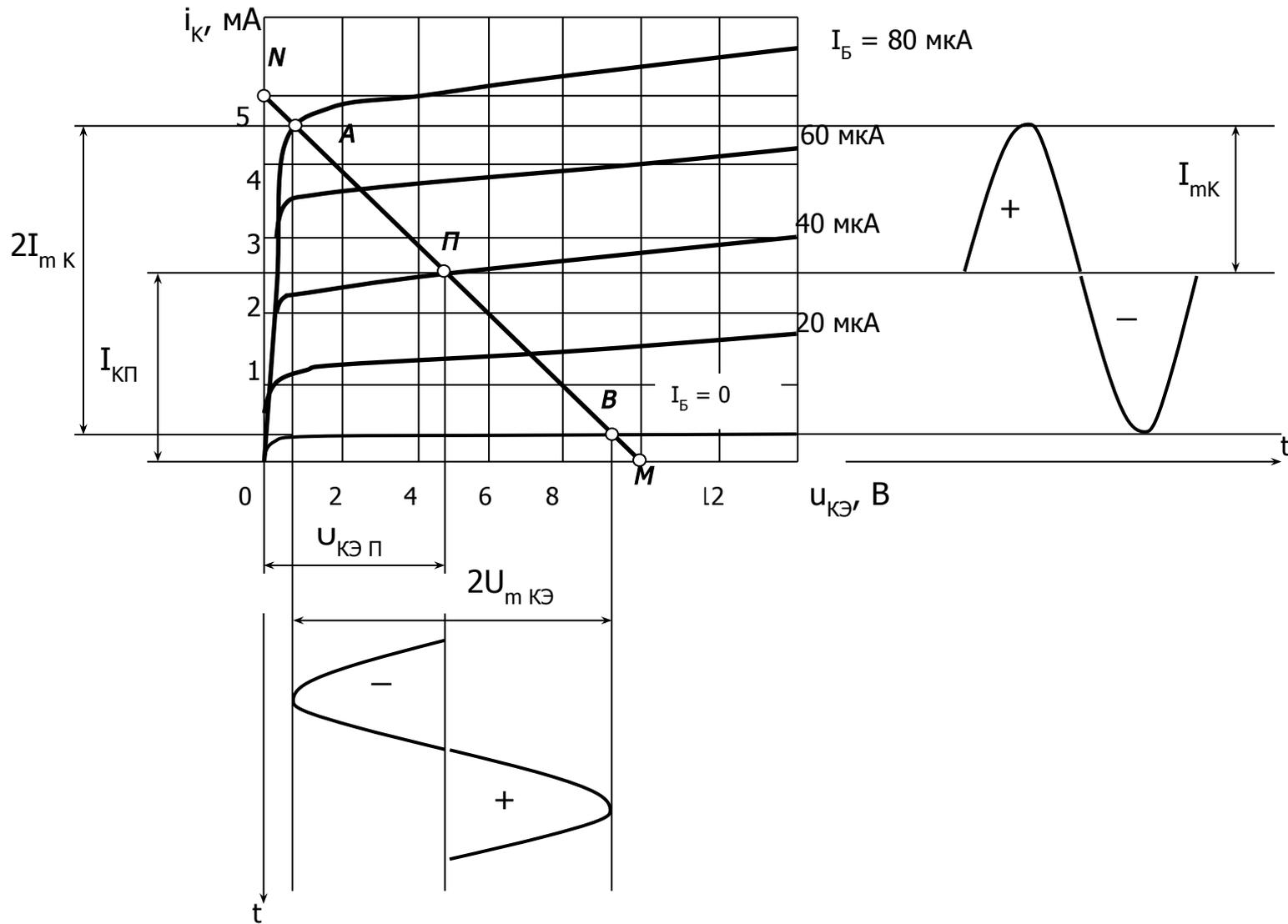
$$U_{K\Pi} = E_K - I_K R_K$$



1) $I_K = 0$; $U_{K\Pi} = E_K$

2) $U_{K\Pi} = 0$; $I_K = E_K / R_K$

Графоаналитический метод расчета усилительного каскада с ОЭ



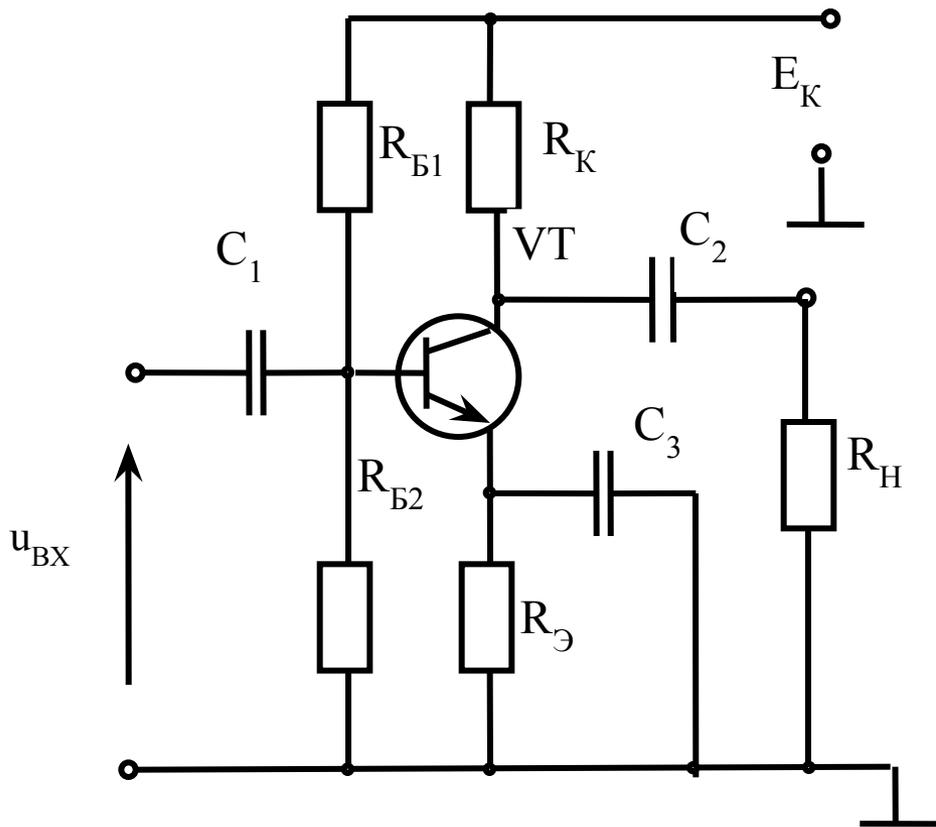
Порядок расчета

- На выходных характеристиках строится линия нагрузки каскада, которая представляет собой геометрические места точек, координаты которых соответствуют возможным значениям точки покоя каскада.
- На входной характеристике выбирается необходимое значение тока базы покоя, и тем самым определяются координаты точки покоя P , путем пересечения соответствующей выходной характеристики с линией нагрузки.
- Для исключения искажений выходного сигнала необходимо, чтобы рабочая точка при перемещении вверх по линии нагрузки не заходила в область нелинейных начальных участков выходных характеристик, а при перемещении вниз – в область начальных токов коллектора.

Широкополосный (апериодический) усилитель

- Основное требование к усилителю:
отсутствие искажений закона изменения входного сигнала в процессе усиления.
- Для обеспечения этого требования для режима покоя необходимо выбрать прямолинейный участок входной характеристики и подать постоянное напряжение, смещающее эмиттерный переход в прямом направлении.

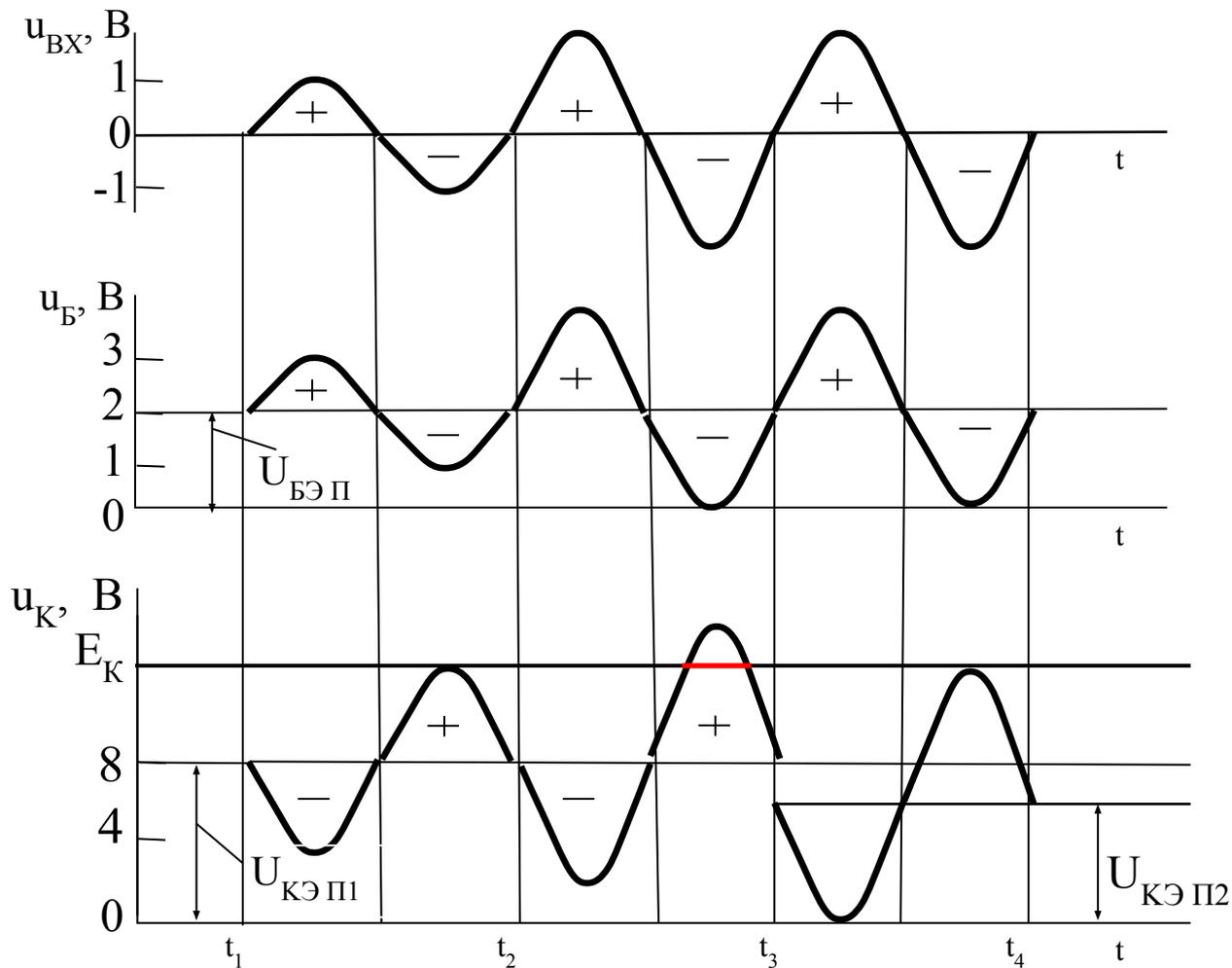
ШПУ



C_1 и C_2 – разделительные емкости (отделяют переменную составляющую от постоянной составляющей);

C_3 – блокирующий конденсатор (устраняет ООС по переменному току);

R_{B1} , R_{B2} – делитель напряжения (для смещения эмиттерного перехода в прямом



Временные диаграммы усилительного каскада

0 – t₁:

$u_{\text{BX}} = 0$ (постоянное напряжение); $u_{\text{Б}} = 2 \text{ В}$; $u_{\text{Э}} = 2 - 0,6 = 1,4 \text{ В}$; $u_{\text{К}} = 8 \text{ В}$ (режим зависит от $R_{\text{К}}$);

t₁ – t₂:

малый входной сигнал, $u_{\text{Б}} = 2 + u_{\text{BX}}$, $u_{\text{Э}} = \text{const}$, т.к. есть C_3 (фильтрация переменной составляющей);

t₂ – t₃:

Большой входной сигнал. Возможны искажения типа «ограничение». Нежелательно искажение $u_{\text{К}}$;

t₃ – t₄:

Другой режим, при увеличении $R_{\text{К}}$ (аналогично t₁ – t₂). Искажений нет, режим лучше

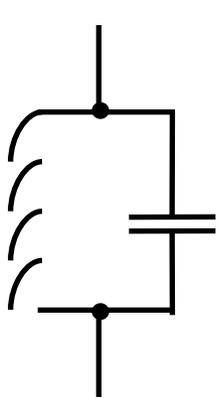
Избирательные усилители

- это усилители, работающие в определенной полосе частот.

Типы усилителей:

- 1) Резонансный усилитель;
- 2) Усилитель с полосовыми фильтрами;
- 3) Усилитель с избирательными RC цепями.

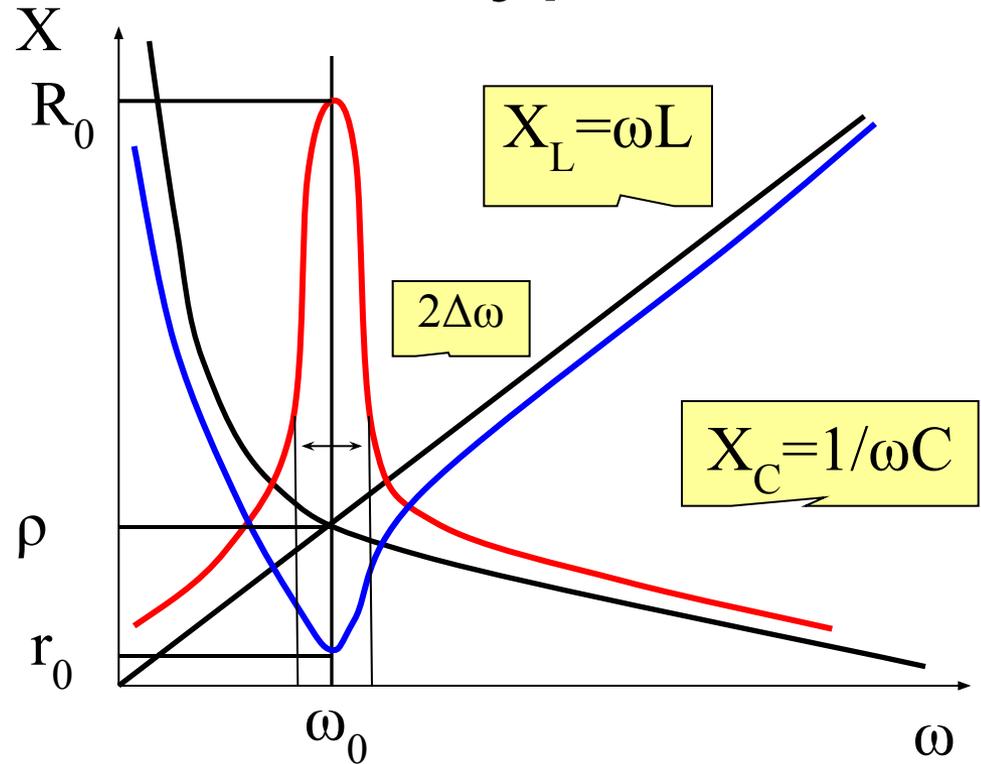
Частотные свойства одиночного колебательного контура



Резонанс
ТОКОВ



Резонанс
напряжений



$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad - \text{Условие резонанса}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

- ρ – характеристическое сопротивление, т.е. сопротивление каждого элемента на резонансной частоте;
- R_0, r_0 – эквивалентное резонансное сопротивление (теоретически $R_0 = \infty, r_0 = 0$ – для контура без потерь);
- Потери в контуре – активное сопротивление провода катушки, потери в сердечнике, гистерезис, вихревые токи.

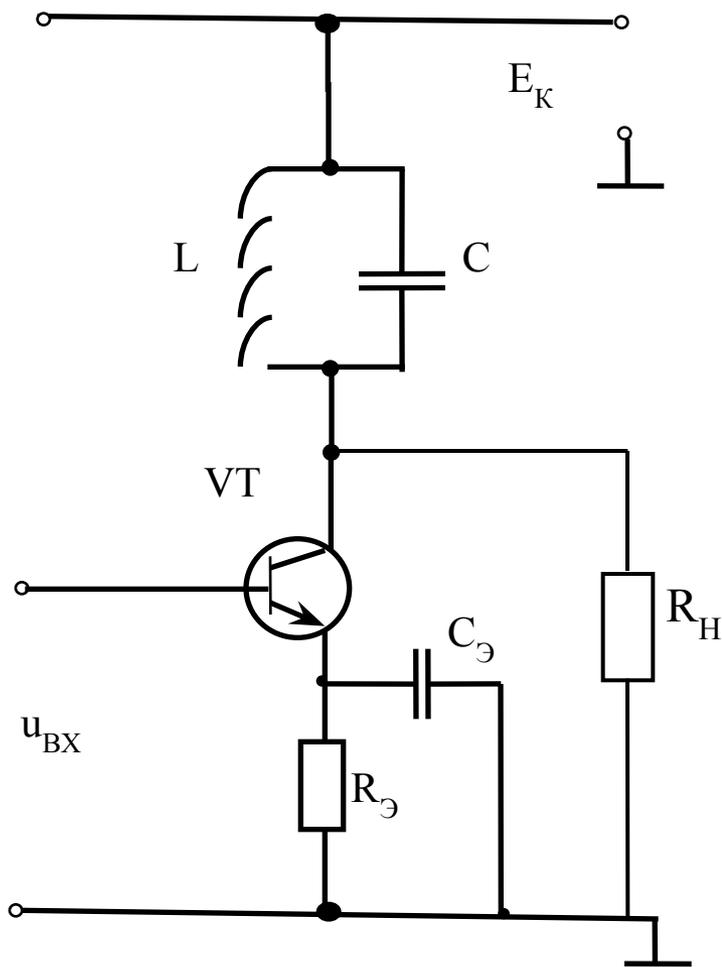
- Селективность усилительных свойств оценивается добротностью:

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f}; \quad Q = \frac{\omega_0}{2\Delta\omega}$$

$2\Delta\omega$ – полоса пропускания

Обычно $Q = 5 - 100$ (у специальных усилителей – до 1000)

Резонансный усилитель с ОЭ



L, C – параллельный контур коллекторной цепи (вместо резистора в широкополосном усилителе).

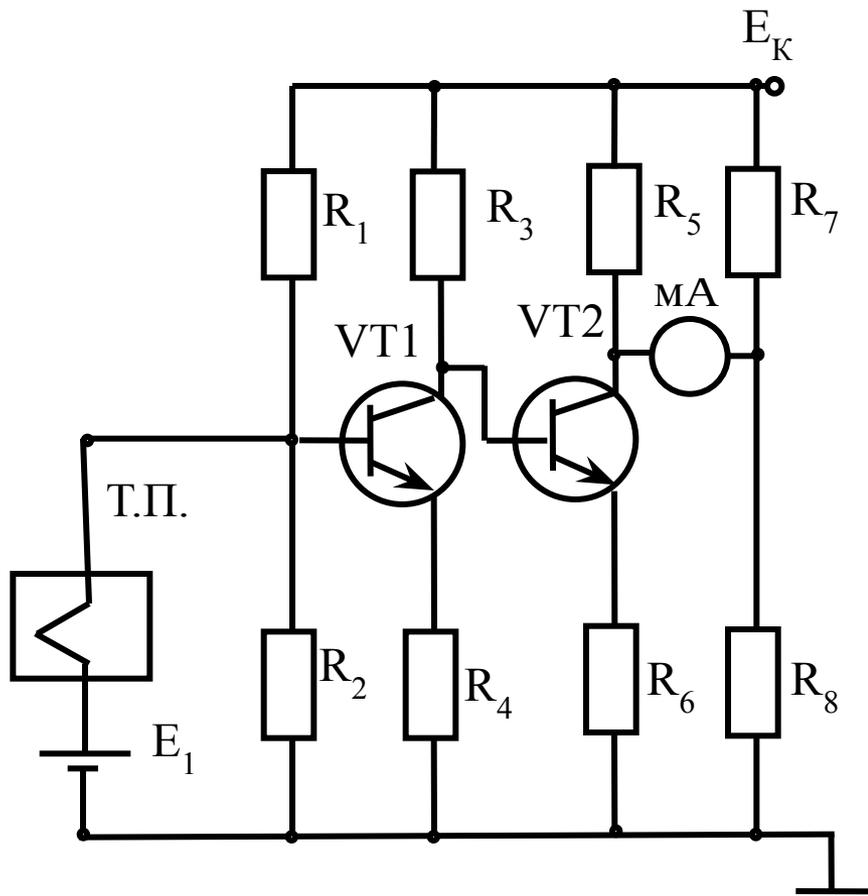
$$k_U = \frac{I_K}{I_B} \frac{R_{вых}}{R_{вх}}$$

$R_{ВЫХ}$ складывается из $R_0, R_{ВЫХ}$ транзистора и $R_{Н}$.

Если пренебречь $R_{ВЫХ}$ транзистора и $R_{Н}$, то $k_U \sim R_0$, а на резонансной частоте сопротивление контура велико и k_U - максимален

Усилитель постоянного тока (УПТ)

- УПТ предназначены для усиления сигналов, медленно изменяющихся во времени, т.е. сигналов, частота которых приближается к нулю.
- **Дрейфом усилителя** называется самопроизвольное изменение выходного напряжения УПТ при неизменном напряжении входного сигнала.
- **Причины дрейфа:** нестабильность напряжения питания схемы, температурная нестабильность параметров транзисторов и резисторов.
- Напряжение дрейфа определяют при замкнутом входе усилителя по приращению выходного напряжения.



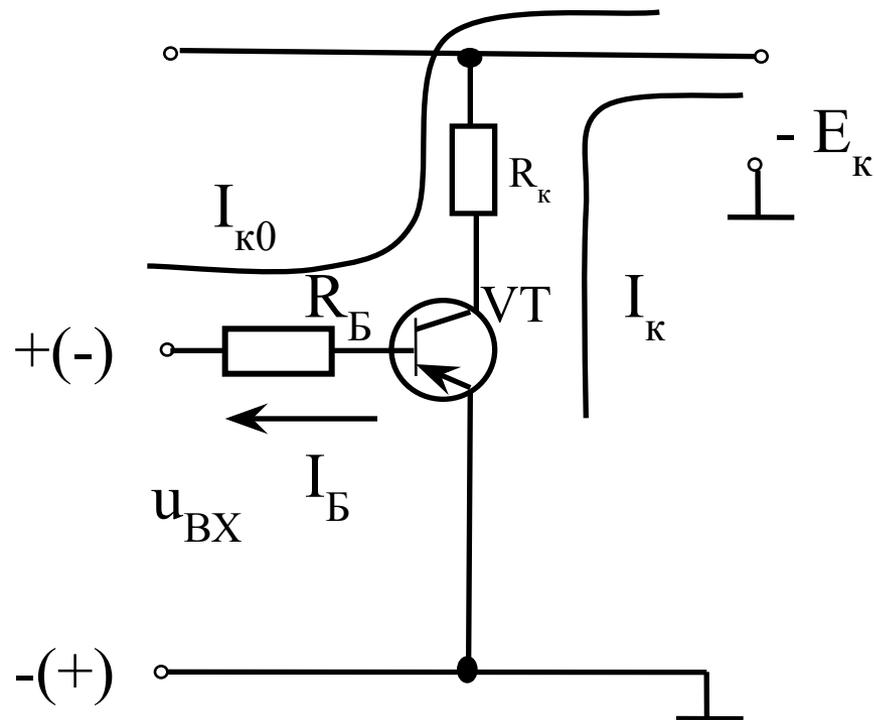
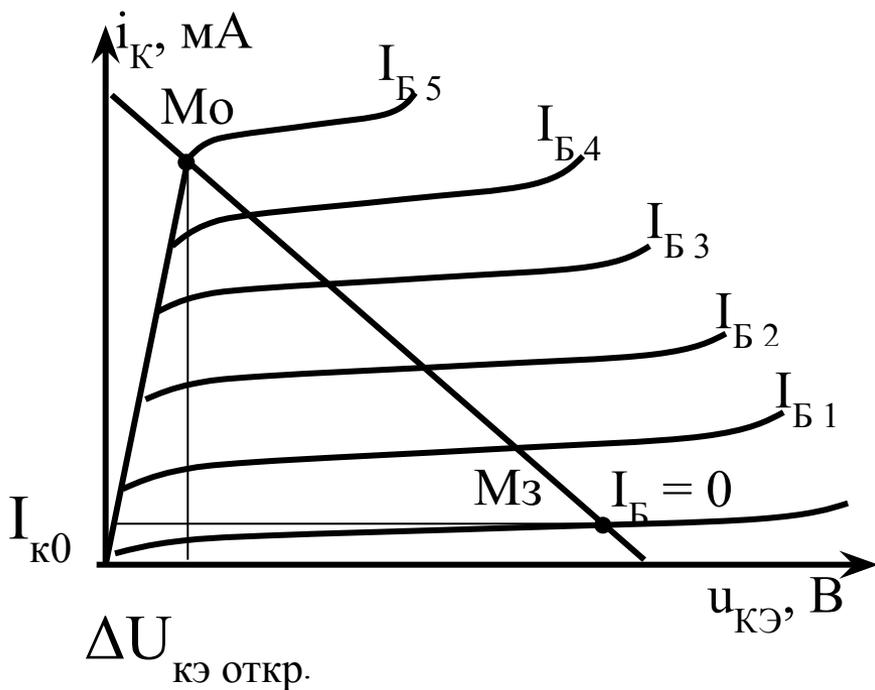
R_1, R_2 – делитель напряжения
 E_1 – компенсирующая ЭДС
 R_4 – термостабилизация режима
 R_3, VT_1 и R_4 – делитель напряжения

Т.П. – термопара – электрический термометр (служит для преобразования текущего значения температуры в электрический сигнал.

Термопара состоит из 2-х различных металлических пластин, одни концы которых соединены сваркой или пайкой. При нагреве места соединения пластин на их концах образуется постоянное напряжение, которое пропорционально значению

Ключевой режим работы БТ

Импульсная и цифровая техника базируется на работе транзистора в качестве ключа (замыкание и размыкание цепи нагрузки)



- Качество транзисторного ключа определяется в первую очередь падением напряжения на транзисторе в открытом состоянии (остаточное напряжение) и остаточным током транзистора в закрытом состоянии.
- Строится линия нагрузки по уравнению:

$$U_{кЭ} = - (E_{к} - I_{к} \cdot R_{к})$$

- Режим **отсечки** транзистора осуществляется подачей на его вход напряжения положительной полярности ($U_{вх} > 0$). Эмиттерный переход запирается и $I_{Э} = 0$. Вместе с тем через резистор $R_{Б}$ протекает обратный (тепловой) ток коллекторного перехода $I_{к0}$ (точка M_3).

- Протекание $I_{к0}$ связано с тем, что транзистор в закрытом состоянии не обеспечивает полное отключение R_K от источника питания. Малое значение $I_{к0}$ является одним из критериев выбора транзистора для ключевого режима работы.
- Значение входного запирающего напряжения выбирают из расчета:

$$U_{БЭ} = U_{вх.зап} - I_{к0} \cdot R_B > 0$$

Для германиевых транзисторов $U_{БЭ} = 0,5-2$ В.

- Режим открытого состояния транзистора достигается изменением полярности входного напряжения ($U_{вх} < 0$), точка M_0 .

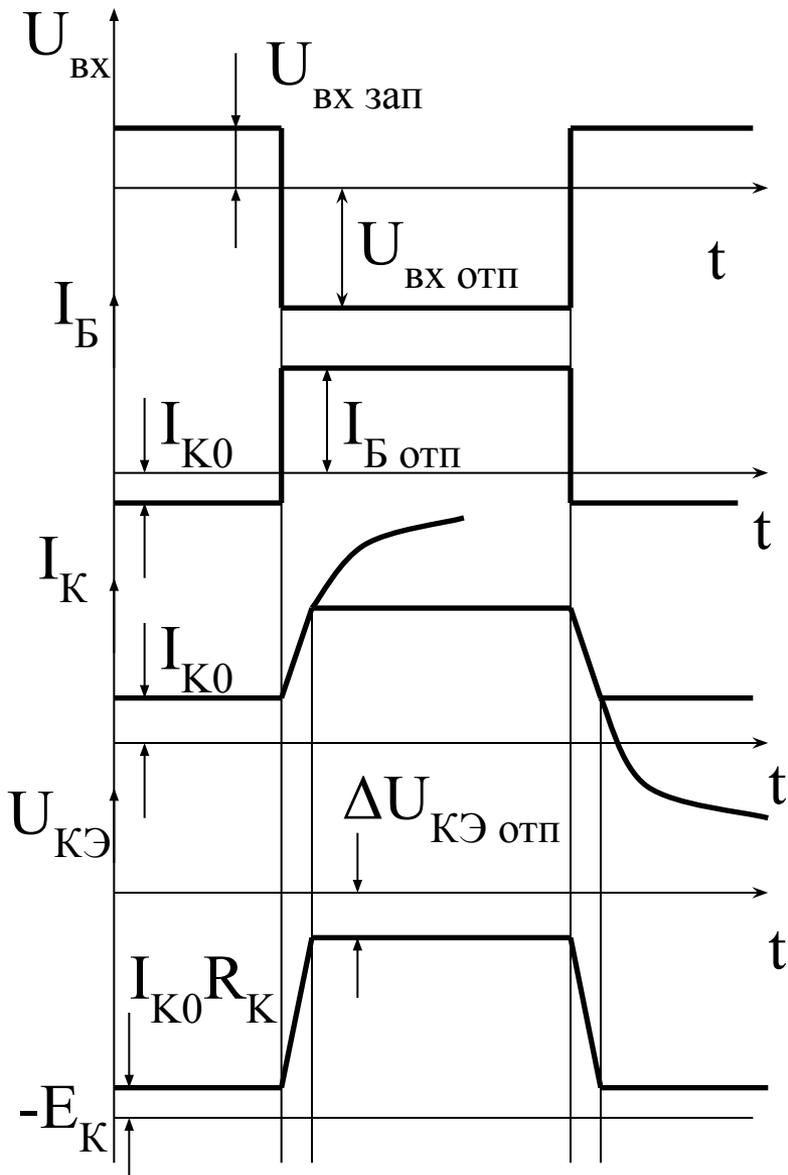
$$I_K = \frac{E_K - \Delta U_{КЭ\text{ откр}}}{R_K}$$

$\Delta U_{КЭ\text{ откр}}$ – остаточное напряжение на транзисторе в открытом состоянии;

В зависимости от типа транзистора

$$\Delta U_{КЭ\text{ откр}} = 0,05 - 1 \text{ В и } I_K = E_K / R_K.$$

Диаграммы напряжений и токов ключевой схемы



t_0-t_1 – транзистор заперт, токи $I_{Б}$ и $I_{К}$ определяются тепловым током транзистора $I_{К0}$,

$$U_{КЭ} = - (E_{К} - I_{К} \cdot R_{К});$$

t_1-t_2 – отпирание транзистора, из-за инерционности транзистора $I_{К}$ и $U_{КЭ}$ изменяются по экспоненте;

t_3 – к схеме прикладывается запирающее напряжение, возникает задержка в запирании транзистора.

Определить схему включения транзисторов
VT1, VT2, VT3 в схеме многокаскадного
усилителя НЧ.

