

СХЕМОТЕХНИКА  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ  
УСТРОЙСТВ.

# АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

## СИГНАЛЫ

```
graph TD; A[СИГНАЛЫ] --> B[АНАЛОГОВЫЕ]; A --> C[ЦИФРОВЫЕ];
```

### АНАЛОГОВЫЕ

Значения могут быть  
измерены в любой  
момент

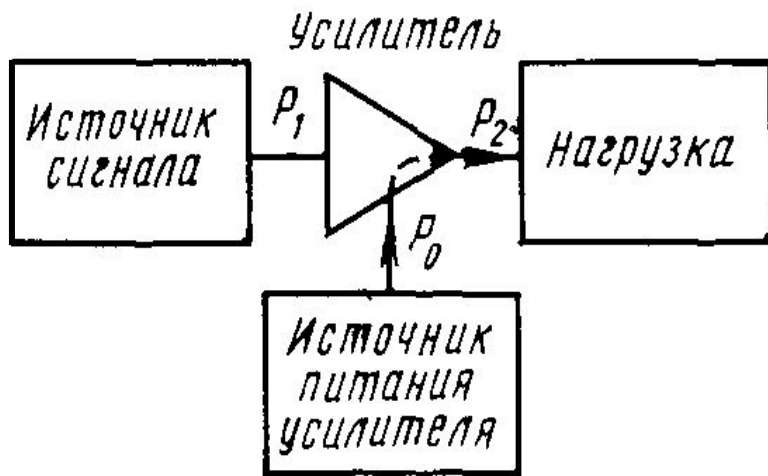
### ЦИФРОВЫЕ

Значения могут быть  
измерены только в  
определенный момент

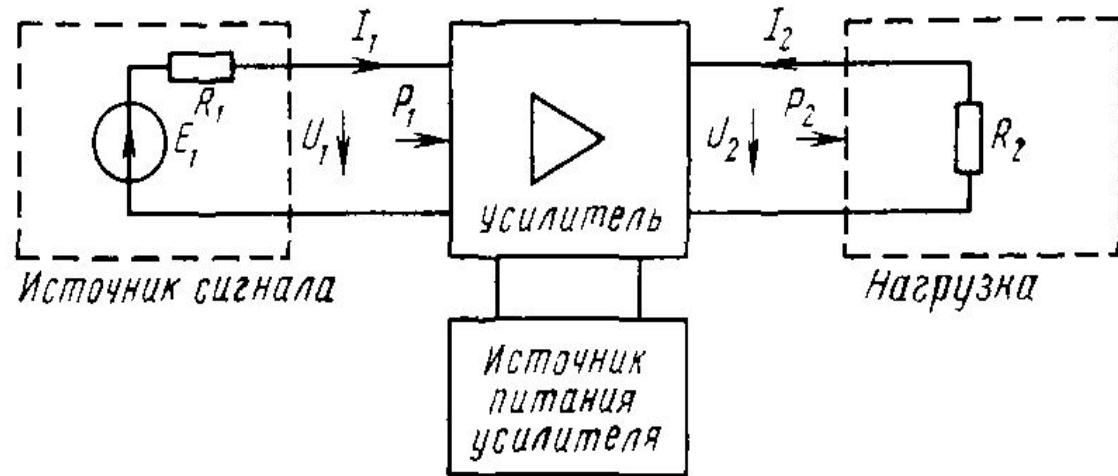
# **АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА**

**Аналоговые электронные устройства (АЭУ)** — это устройства усиления и обработки аналоговых электрических сигналов, выполненные на основе электронных приборов. К аналоговым относятся сигналы, которые изменяются по тому же закону, что и характеризуемые (описываемые) ими физические процессы. Аналоговые сигналы заданы (известны, могут быть измерены) во все моменты времени.

# СХЕМА УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА



Общая схема  
усилительного  
устройства



Функциональная  
схема усилительного  
устройства

# КЛАССИФИКАЦИЯ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Аналоговые электронные устройства условно можно разделить на две большие группы: *усилители* и устройства, выполненные на их основе. Усилители классифицируются по нескольким признакам:

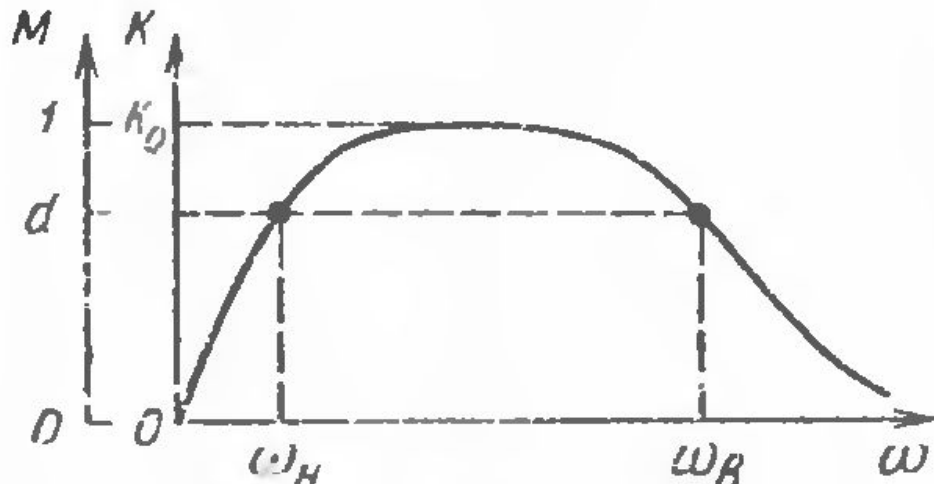
1. По форме усиливаемых сигналов.
2. По диапазону частот.
3. По типу усилительных элементов.
4. По области применения.

**Устройства на основе усилителей** – это в основном преобразователи электрических сигналов и сопротивлений. Их выполняют на базе усилителей с помощью ОС или путем видоизменения.

# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

1. Входное сопротивление  $Z_{вх}$  (входная проводимость  $Y_{вх}$ ).
2. Выходное сопротивление  $Z_{вых}$ .
3. Коэффициент усиления  $K = U_{вых} / U_{вх}$ .
4. Коэффициент сквозной передачи  $K_{скв} = U_{вых} / E_{Г}$ .
5. Коэффициент передачи входной цепи  $K_{вх} = Z_{вх} / (Z_{г} + Z_{вх})$   
( $K_{скв} = K_{вх} K$ ).
6. Коэффициент усиления тока  $K_I = I_{вых} / I_{вх}$ .
7. Коэффициент усиления мощности  $K_P = P_{н} / P_{вых}$ . Обычно выражают в децибелах,  $дБ = 10 \lg K_P$ .

# АМПЛИТУДНО- И ФАЗО-ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ

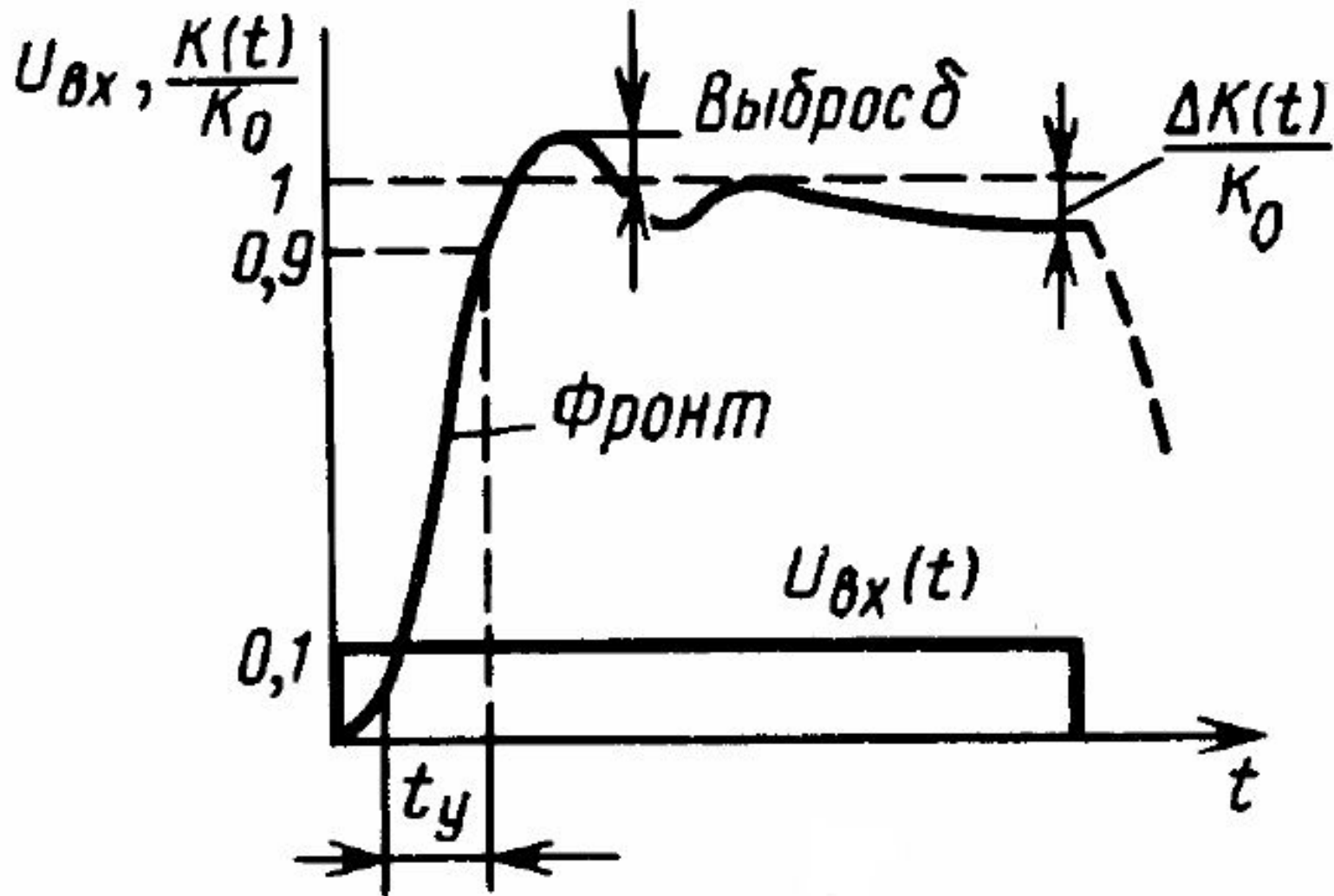


Амплитудно-частотная  
характеристика



Фазо-частотная  
характеристика

# ПЕРЕХОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА





# НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ

**Нелинейные искажения** — это изменения формы колебания, обусловленные нелинейностью характеристик транзисторов, диодов, магнитопроводов, полупроводниковых конденсаторов микросхем и других элементов. Параметры нелинейных элементов зависят от воздействующего на них тока или напряжения. Отличительным признаком нелинейных искажений является то, что им подвержено даже гармоническое (синусоидальное) колебание. На этом и основана их простейшая количественная оценка с помощью коэффициента гармоник. Если на вход усилителя подать чисто гармоническое напряжение, то на выходе получим не только его первую гармонику, но и высшие. Для оценки нелинейных искажений можно использовать коэффициент

$$\text{гармоник: } K_{\Gamma} = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots} / U_1$$

# ОЦЕНКА НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ

Малые нелинейные искажения оценивают **затуханием нелинейность**.

$$a_{\Gamma} = 20 \lg\left(\frac{1}{K_{\Gamma}}\right)$$

При этом вводится понятие номинального напряжения и номинальной выходной мощности.

$$P_{\text{ВЫХ НОМ}} = \frac{U_{\text{ВЫХ НОМ}}^2}{R_{\text{ВЫХ НОМ}}}$$

# КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Коэффициент полезного действия (КПД) усилителя характеризует экономичность расходования энергии питания. Обычно он измеряется при усилении гармонического колебания частоты 1 кГц. Общий КПД всего усилителя называется промышленным. Он представляет отношение номинальной выходной мощности, отдаваемой в нагрузку, к суммарной мощности, потребляемой им от всех источников питания:

$$\eta_{\Sigma} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\Sigma}}$$

# СОБСТВЕННЫЕ ПОМЕХИ

1. Фон.

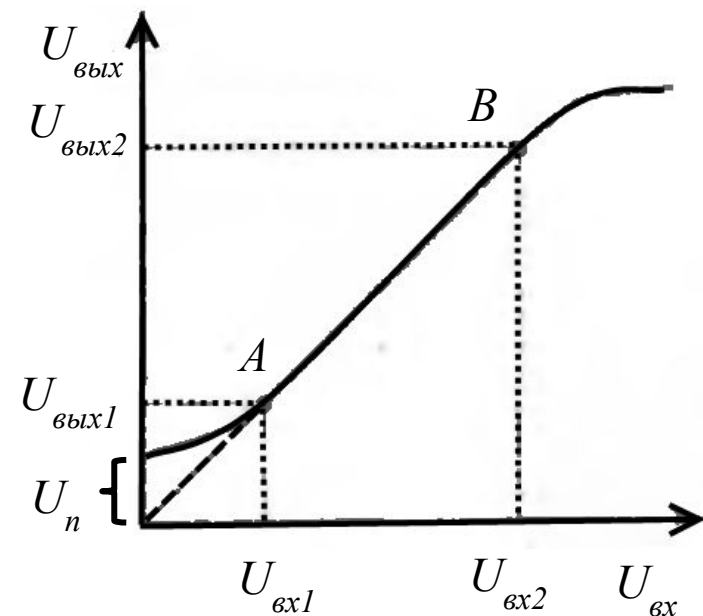
2. Наводки.

3. Собственные шумы.

4. Дрейф нуля.

# АМПЛИТУДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ДИНАМИЧЕСКИЙ ДИАПАЗОН

Амплитудной характеристикой (АХ) усилителя называется зависимость амплитудного или действующего значения выходного напряжения от входного синусоидального напряжения.

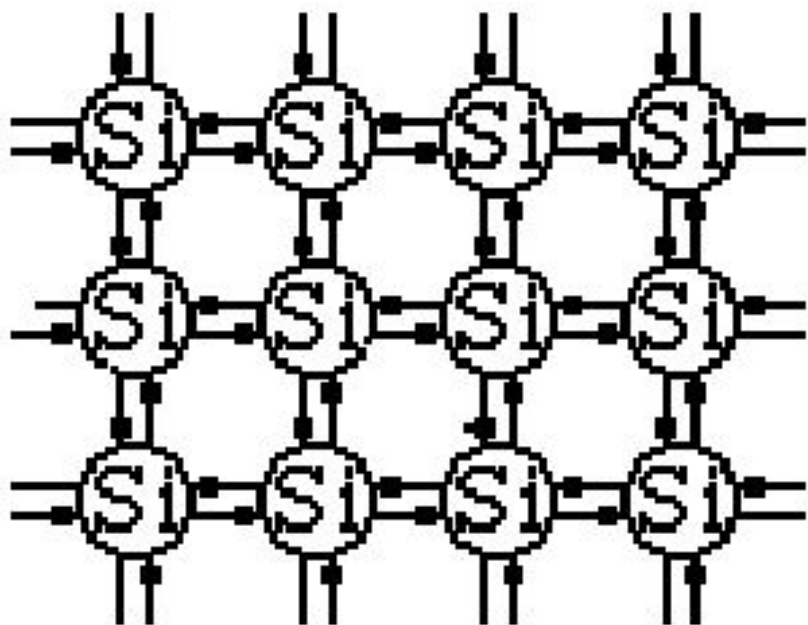


Динамический диапазон

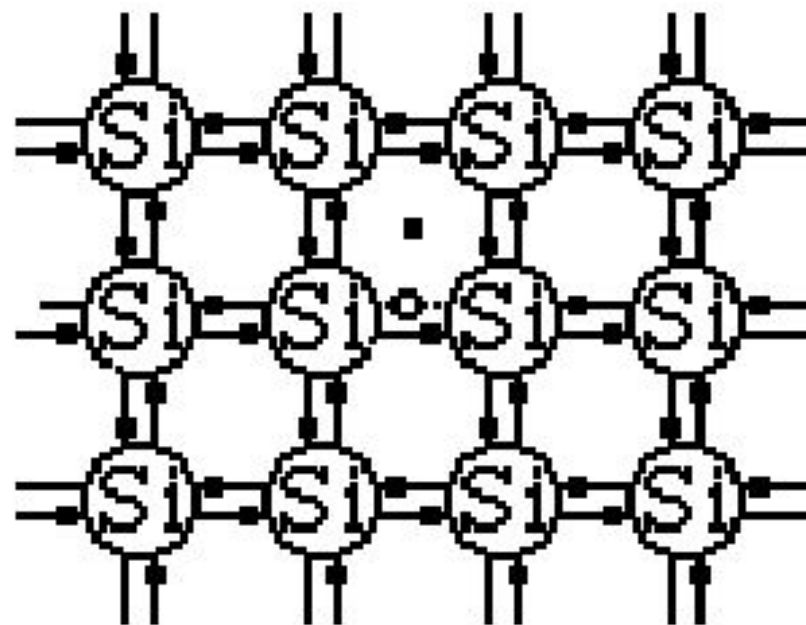
$$D = \frac{U_{\text{ВЫХ2}}}{U_{\text{ВЫХ1}}} = \frac{U_{\text{ВХ2}}}{U_{\text{ВХ1}}}$$

# ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Структура кристалла кремния Si



$T = 0$



$T > 0$

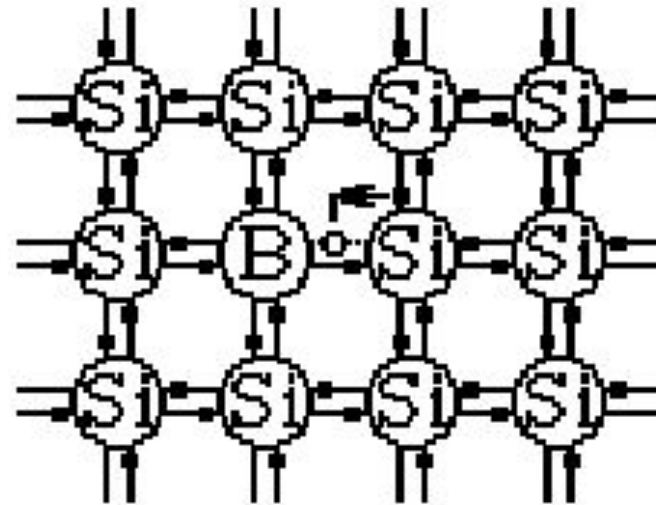
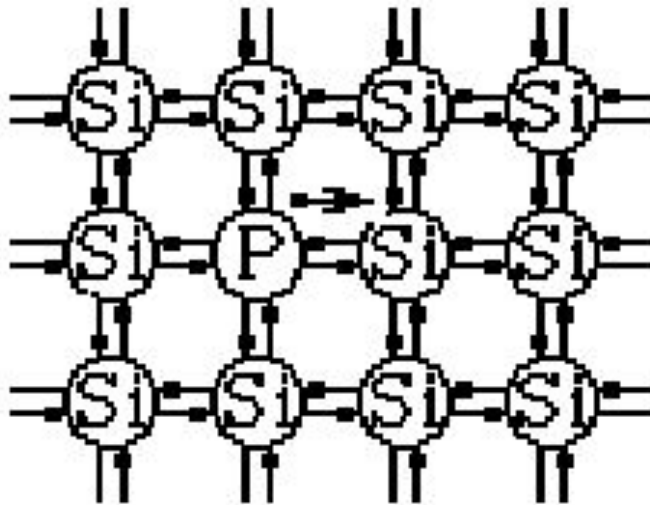
# ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Распределение Ферми-Дирака

$$f_n(W, T) = 1 / \left( 1 + e^{\frac{W - W_F}{kT}} \right)$$

# ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

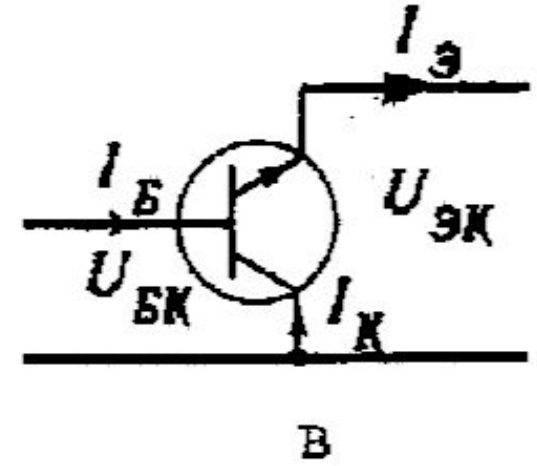
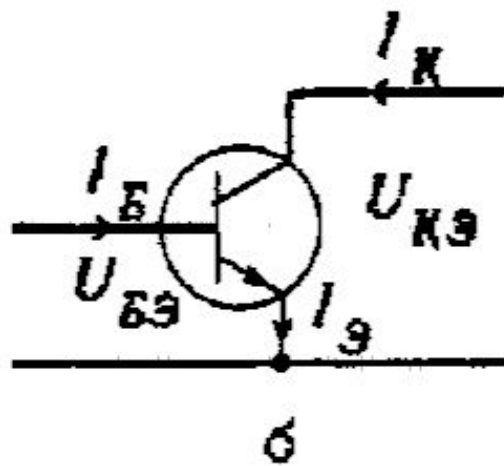
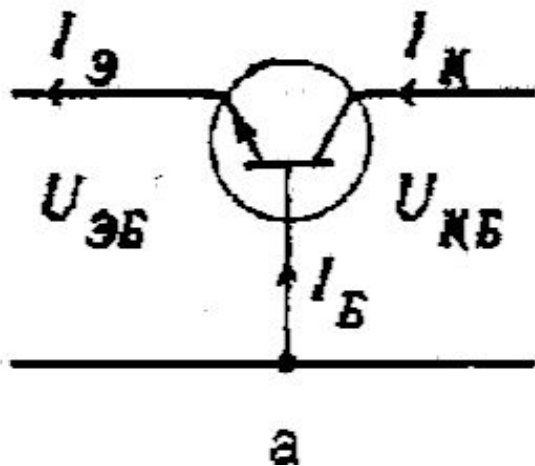
## Примесные полупроводники





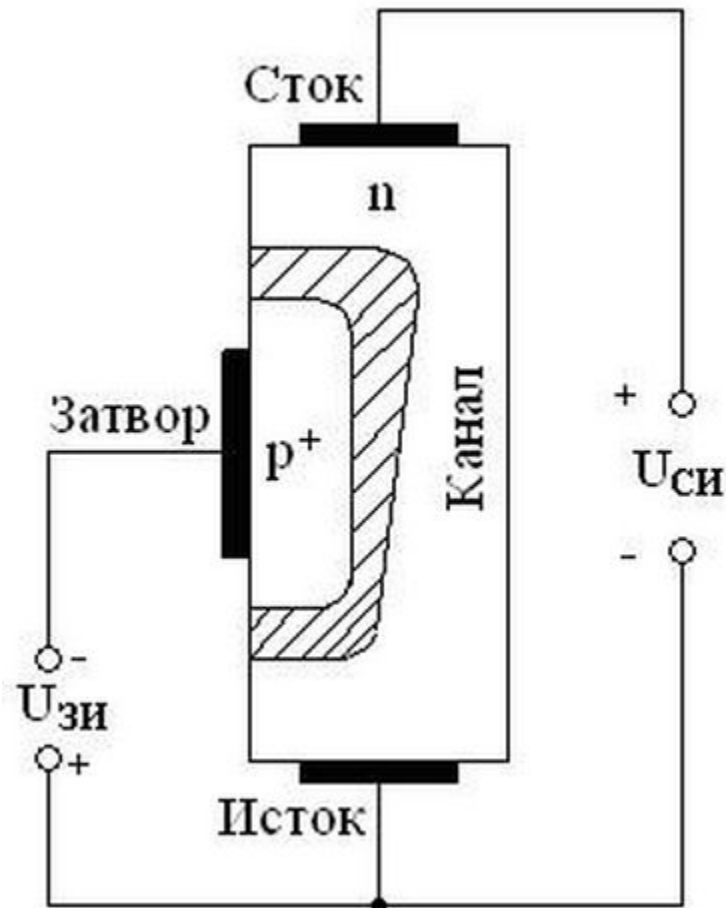
# ТРАНЗИСТОРЫ – УПРАВЛЯЕМЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Принцип действия и режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения.



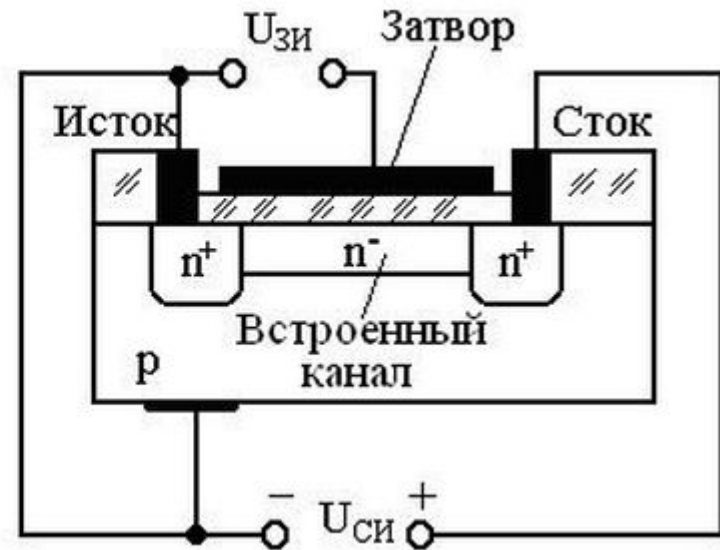
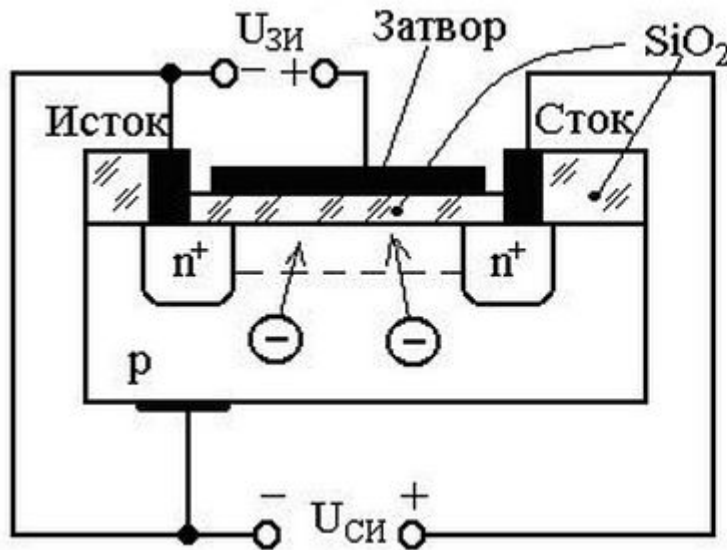
# ТРАНЗИСТОРЫ – УПРАВЛЯЕМЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Принцип действия и режимы работы полевого транзистора.

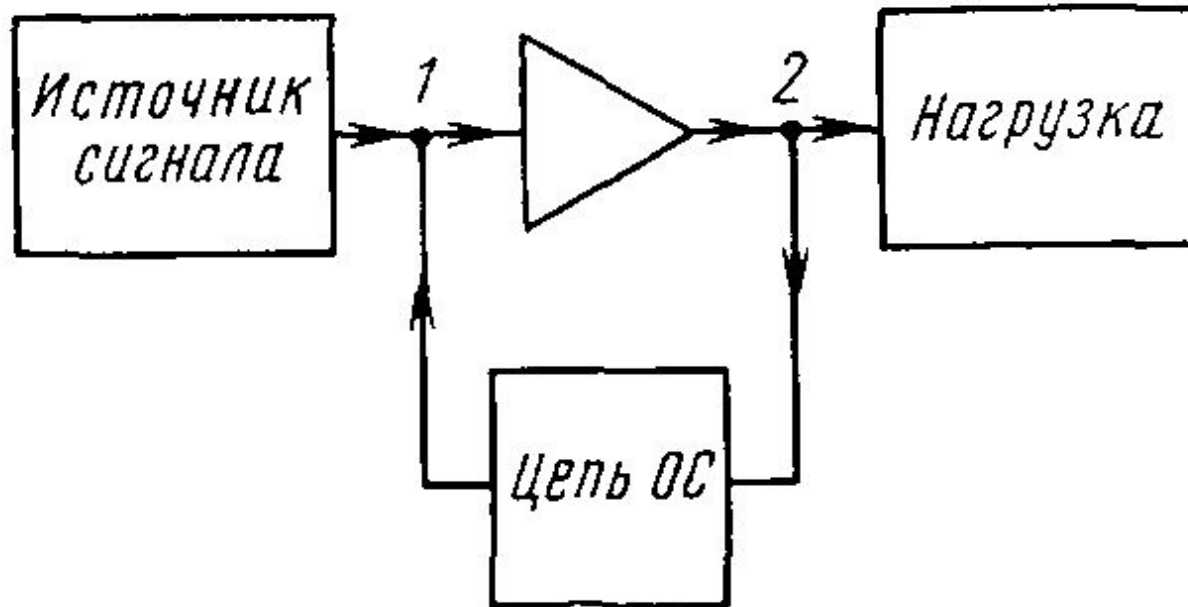


# ТРАНЗИСТОРЫ – УПРАВЛЯЕМЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Принцип действия и режимы работы полевого транзистора. Униполярные транзисторы с изолированным затвором. Принцип работы МОП-транзистора.



# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА



Общая схема усилительного устройства с обратной связью

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

## Виды обратной связи.

1. Положительная и отрицательная ОС.
2. Частотно-зависимая и частотно-независимая ОС.
3. Внутренняя и внешняя ОС.
4. Местная и общая ОС.

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

## Основные соотношения.

$$\dot{U}_{\text{ВЫХ}} = \dot{K}(U_{\text{ВХ}} + \dot{\beta}\dot{U}_{\text{ВЫХ}})$$

Связь выходного и входного сигналов.

$$\dot{K}_{\beta} = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} = \frac{\dot{K}}{1 - \dot{K}\dot{\beta}}$$

Коэффициент усиления усилителя, охваченного обратной связью.

$$\dot{T} = |\dot{T}|e^{j\varphi_T} = \dot{K}\dot{\beta} = |\dot{K}| |\dot{\beta}|e^{j\varphi_K + j\varphi_{\beta}}$$

Возвратное отношение.

$$\dot{F} = 1 - \dot{K}\dot{\beta}$$

Глубина обратной связи.

$$\varphi_T = 0 \implies T = \dot{K}\dot{\beta} > 0, F = |1 - \dot{T}| < 1, K_{\beta} > K \quad \text{ПОС}$$

$$\varphi_T = \pm\pi \implies F = |1 - \dot{T}| > 1, K_{\beta} < K \quad \text{ООС}$$

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Основные соотношения.

$$\frac{dK_\beta}{K_\beta} = \frac{dK}{K} \cdot \frac{1}{1 + K\beta}$$

Нестабильность коэффициента усиления  
при наличии обратной связи

$$\dot{K}_{\text{НЧ}\beta} = \frac{\dot{K}_{\text{НЧ}}}{1 + \dot{K}_{\text{НЧ}}\beta} = \frac{\frac{K_0}{1 + \frac{1}{j\omega_{\text{H}}\tau_{\text{H}}}}}{1 + \frac{K_0\beta}{1 + \frac{1}{j\omega_{\text{H}}\tau_{\text{H}}}}} = \frac{K_0}{1 + \dot{K}_0\beta + \frac{1}{j\omega_{\text{H}}\tau_{\text{H}}}} = \frac{\dot{K}_{0\beta}}{1 + \frac{1}{j\omega_{\text{H}}\tau'_{\text{H}}}}$$

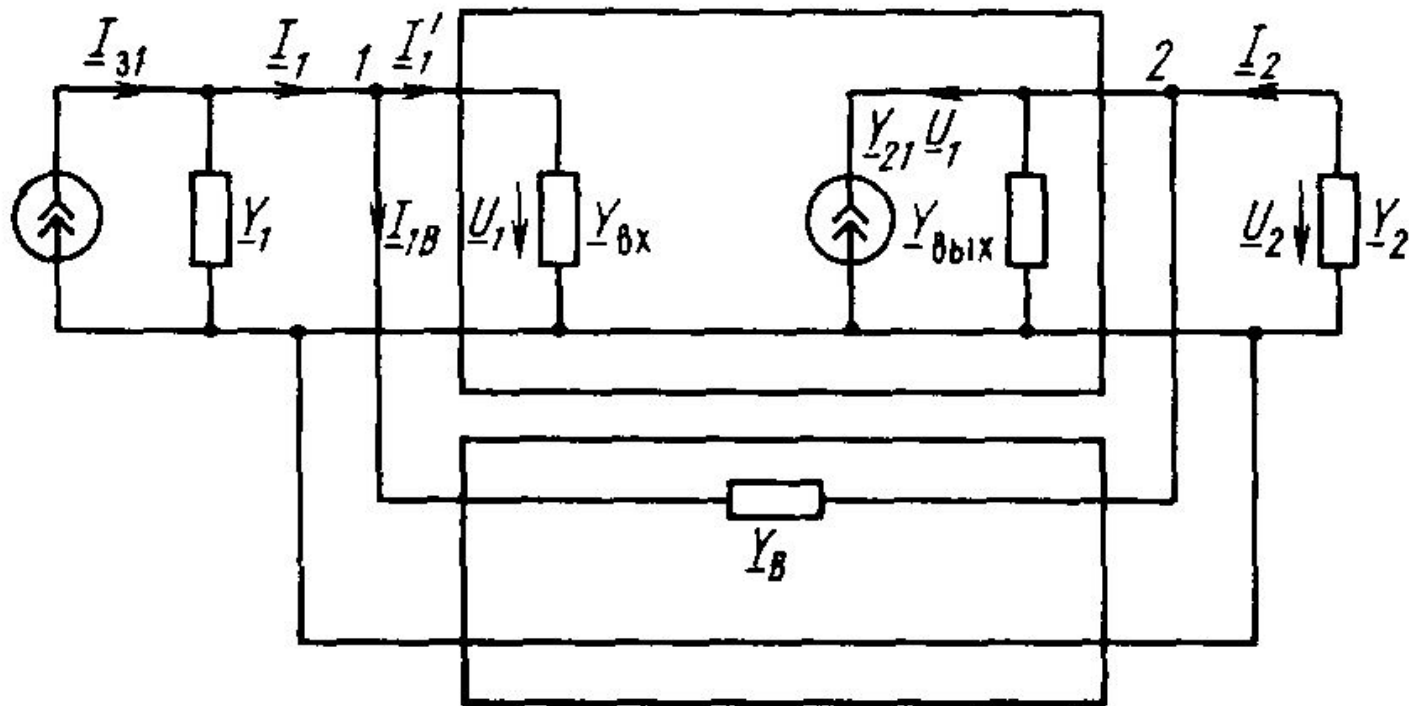
Коэффициент  
ы усиления  
на границах  
полосы  
пропускания

$$\dot{K}_{\text{ВЧ}\beta} = \frac{\dot{K}_{\text{ВЧ}}}{1 + \dot{K}_{\text{ВЧ}}\beta} = \frac{\frac{K_0}{1 + j\omega_{\text{В}}\tau_{\text{В}}}}{1 + \frac{K_0\beta}{1 + j\omega_{\text{В}}\tau_{\text{В}}}} = \frac{K_0}{1 + \dot{K}_0\beta + j\omega_{\text{В}}\tau_{\text{В}}} = \frac{\dot{K}_{0\beta}}{1 + j\omega_{\text{В}}\tau'_{\text{В}}}$$

$$\tau'_{\text{H}} = \tau_{\text{H}}(1 + K_0\beta) \quad \tau'_{\text{В}} = \frac{\tau_{\text{В}}}{1 + K_0\beta}$$

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Параллельная по входу и выходу ОС.



Эквивалентная схема устройства с параллельной ОС по напряжению.



# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Параллельная по входу и выходу ОС.

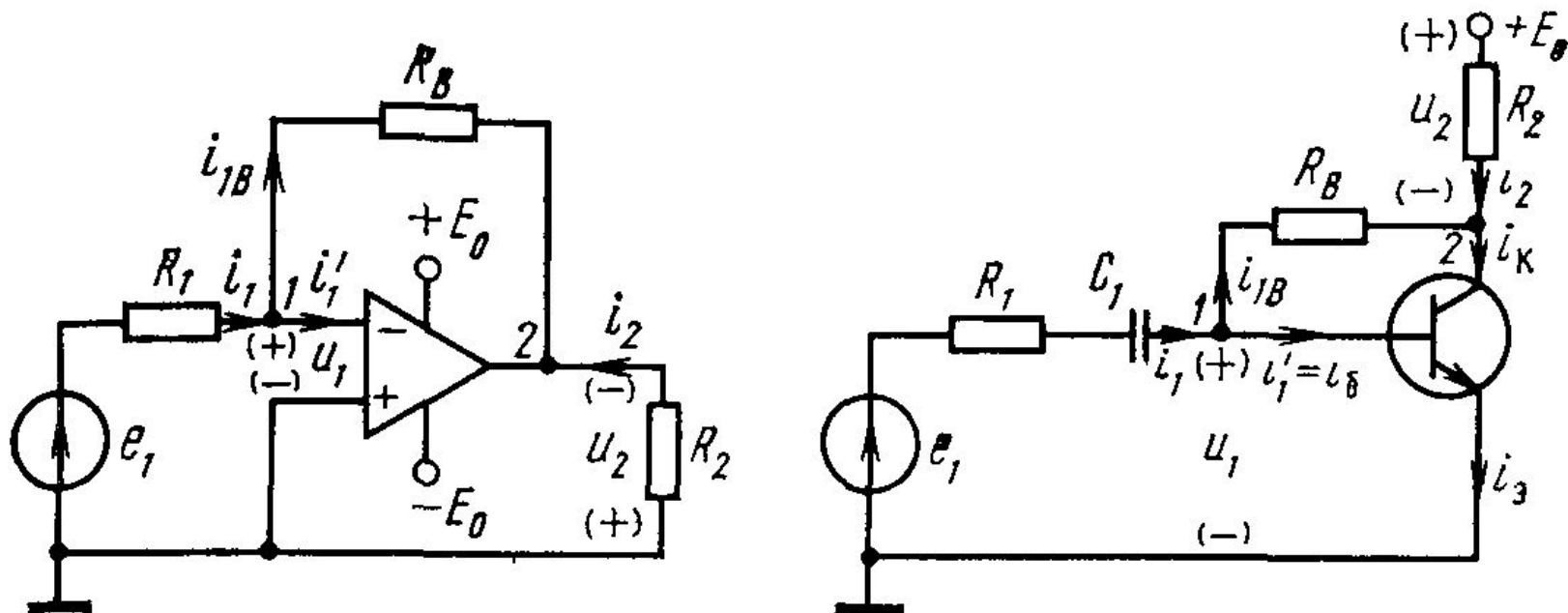
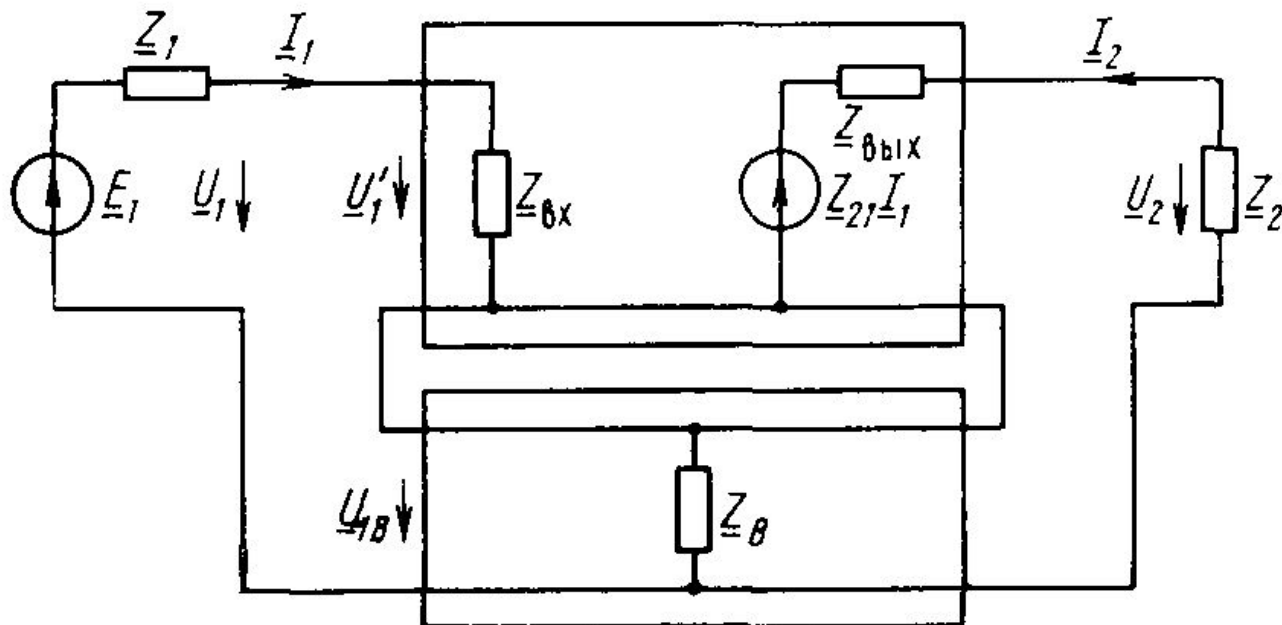


Схема каскада с параллельной ОС по напряжению.

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Последовательная по входу и выходу ОС.



Эквивалентная схема устройства с параллельной ОС по току.

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Последовательная по входу и выходу ОС.

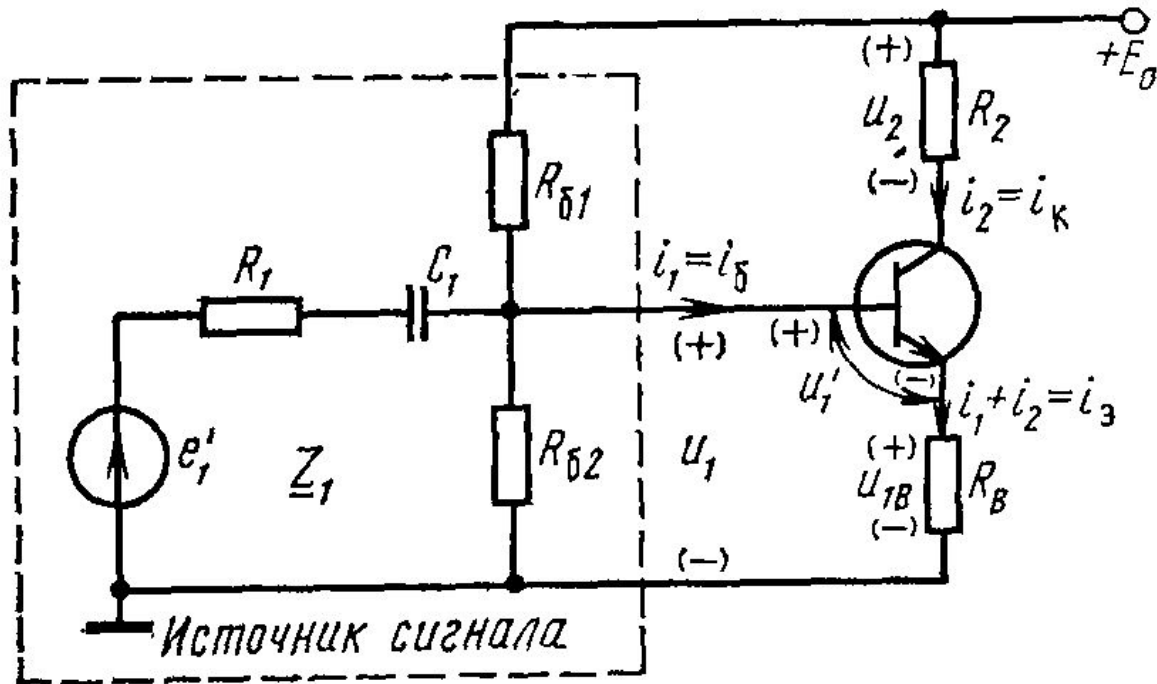
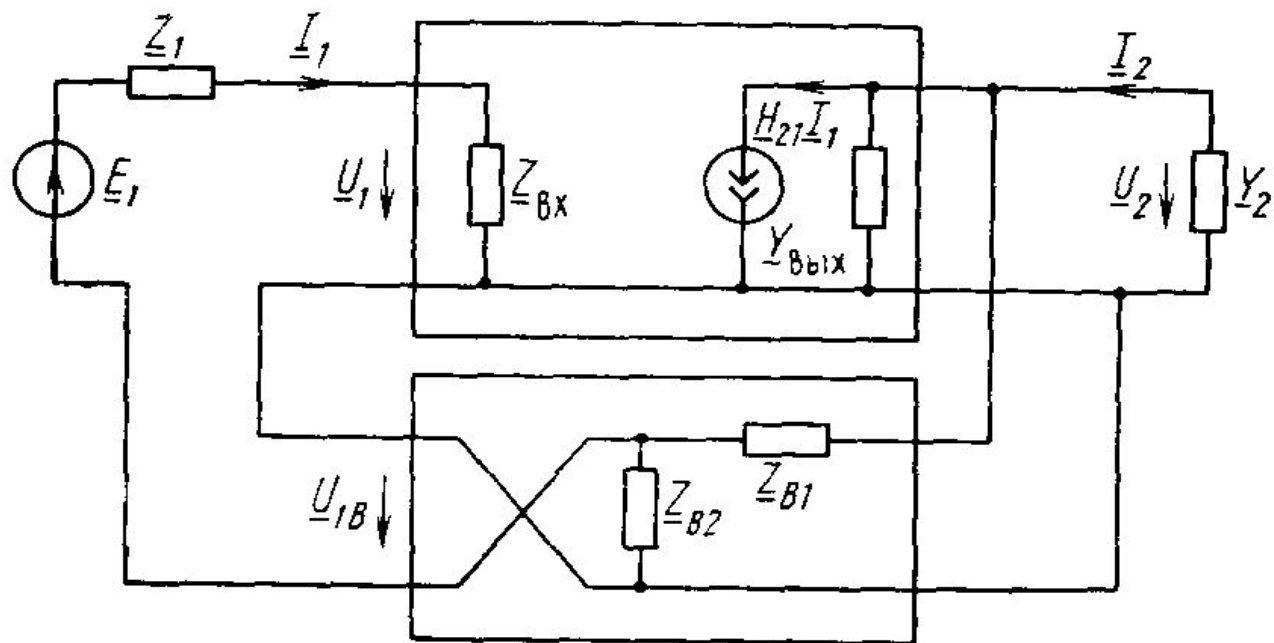


Схема каскада с параллельной ОС по току.

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

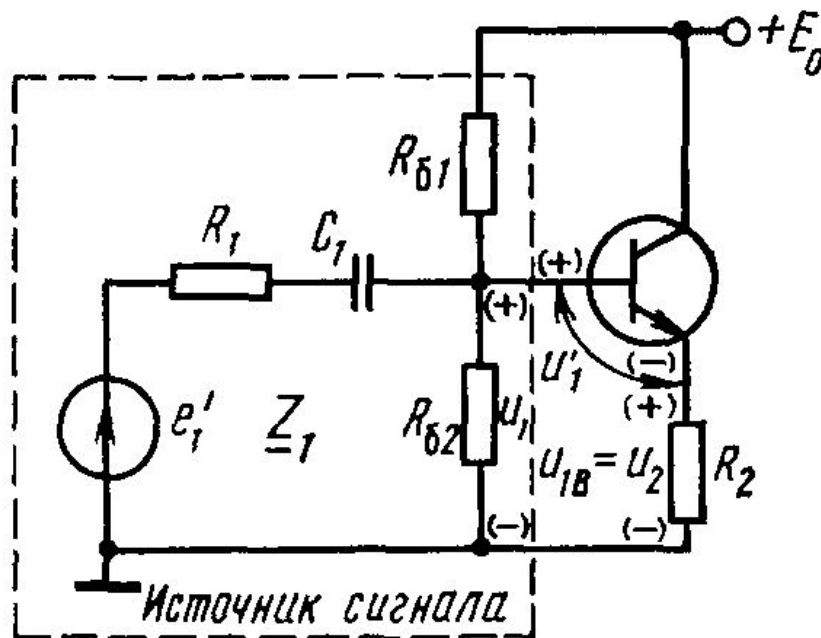
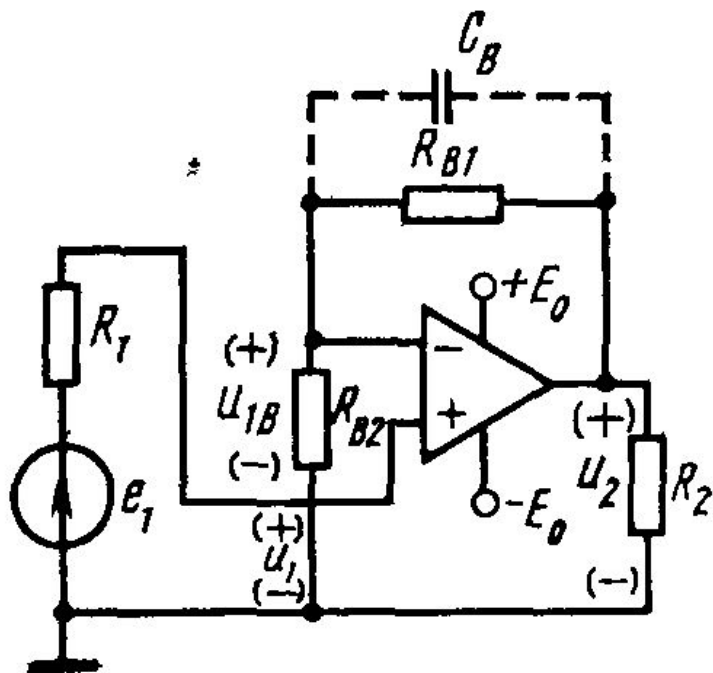
Последовательная по входу и параллельная по выходу ОС.



Эквивалентная схема устройства с последовательной ОС по напряжению.

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

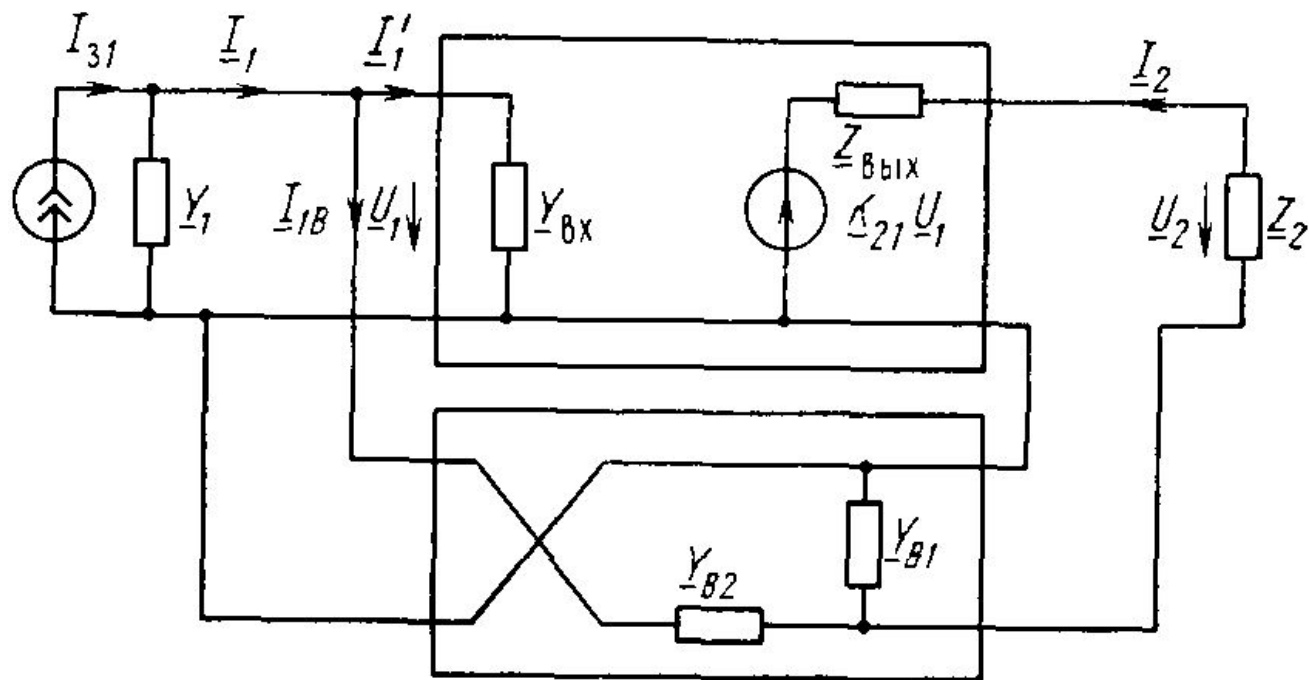
Последовательная по входу и параллельная по выходу ОС.



Схемы устройств с последовательной ОС по напряжению.

# ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

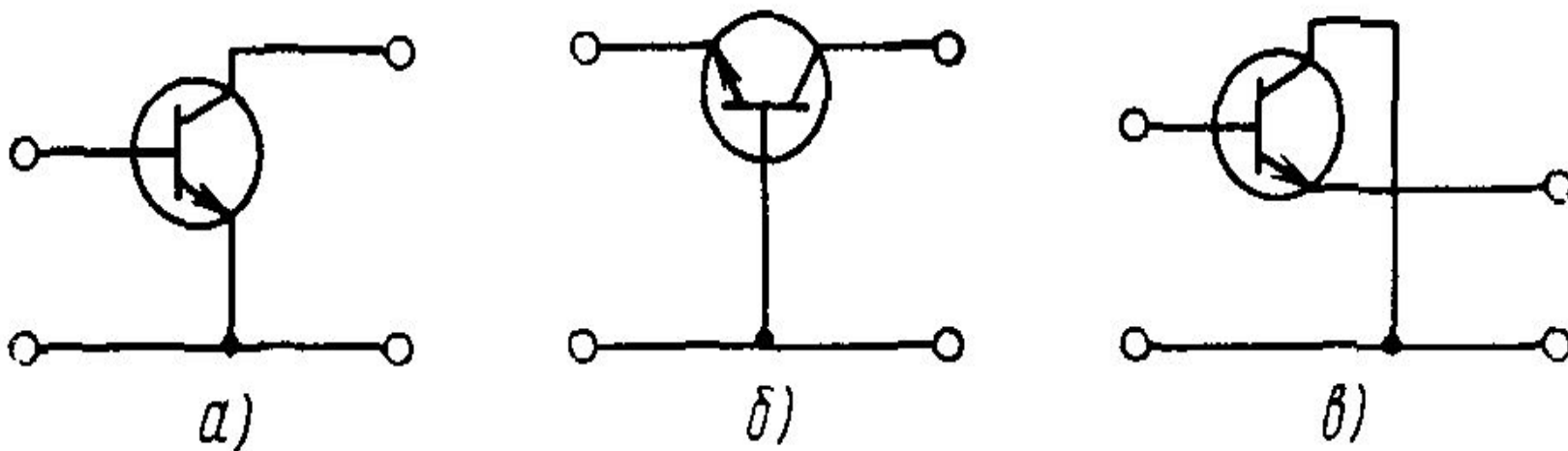
Параллельная по входу и последовательная по выходу ОС.



Эквивалентная схема устройства с параллельной ОС по току.

# РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

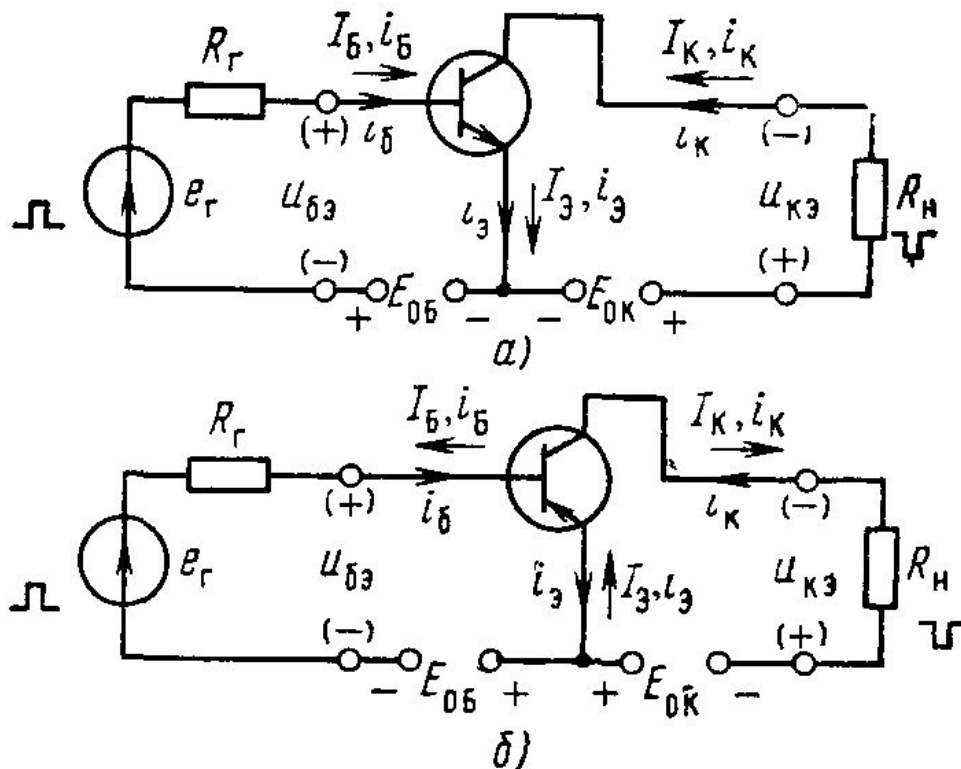
Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.



Схемы включения транзистора с общим эмиттером (а), с общей базой (б) и с общим коллектором (в).

# РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.

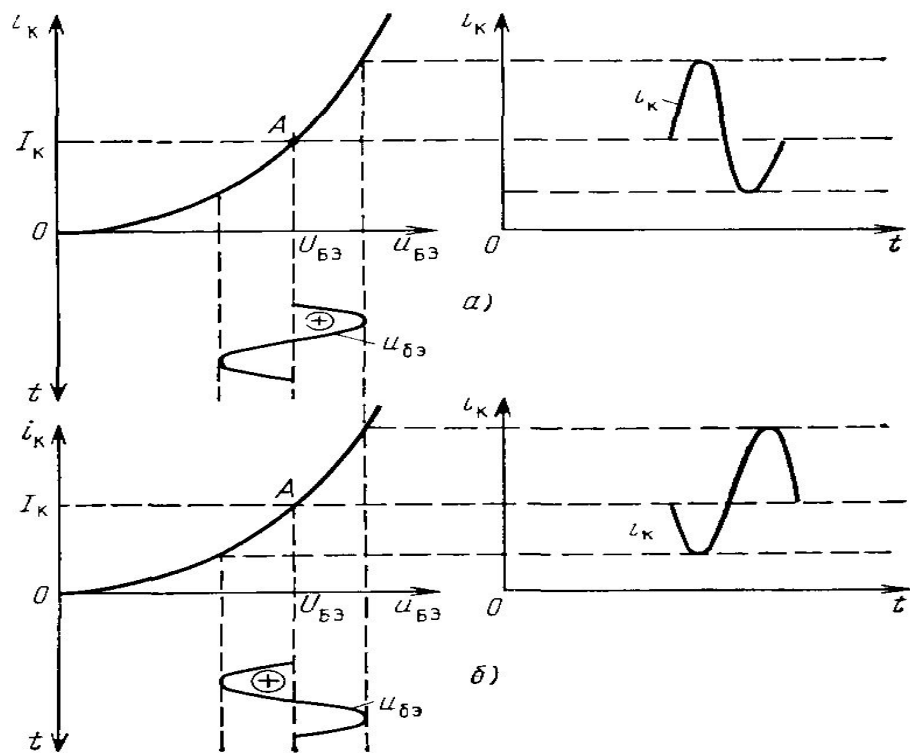


Каскад с общим эмиттером на транзисторах *n-p-n* типа(*а*) и *p-n-p* типа(*б*).



# РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.



Диаграммы коллекторного тока для схемы с общим эмиттером .  
 $n-p-n$  структура(а) и  $p-n-p$  структура(б)

# РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

## Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.

**Нелинейные искажения** — это изменения формы колебания, обусловленные нелинейностью характеристик транзисторов, диодов, магнитопроводов, полупроводниковых конденсаторов, микросхем и других элементов. Параметры нелинейных элементов зависят от воздействующего на них тока или напряжения. Отличительным признаком нелинейных искажений является то, что им подвержено даже гармоническое (синусоидальное) колебание. На этом и основана их простейшая количественная оценка с помощью коэффициента гармоник. Если на вход усилителя подать чисто гармоническое напряжение, то на выходе получим не только его первую гармонику, но и высшие. Для оценки нелинейных искажений можно использовать коэффициент гармоник:  $K_r = \sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots} / U_1$

Малые нелинейные искажения оценивают **затуханием нелинейности**.

$$a_r = 20 \lg \left( \frac{1}{K_r} \right)$$

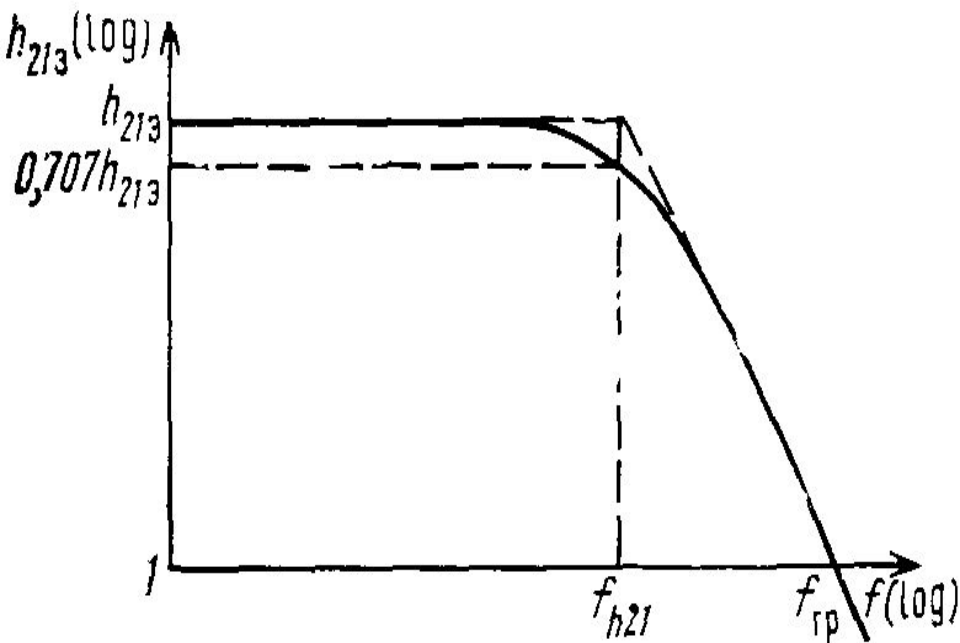
При этом вводится понятие номинального напряжения и номинальной выходной мощности.

$$P_{\text{вых ном}} = \frac{U_{\text{вых ном}}^2}{R_{\text{вых ном}}}$$

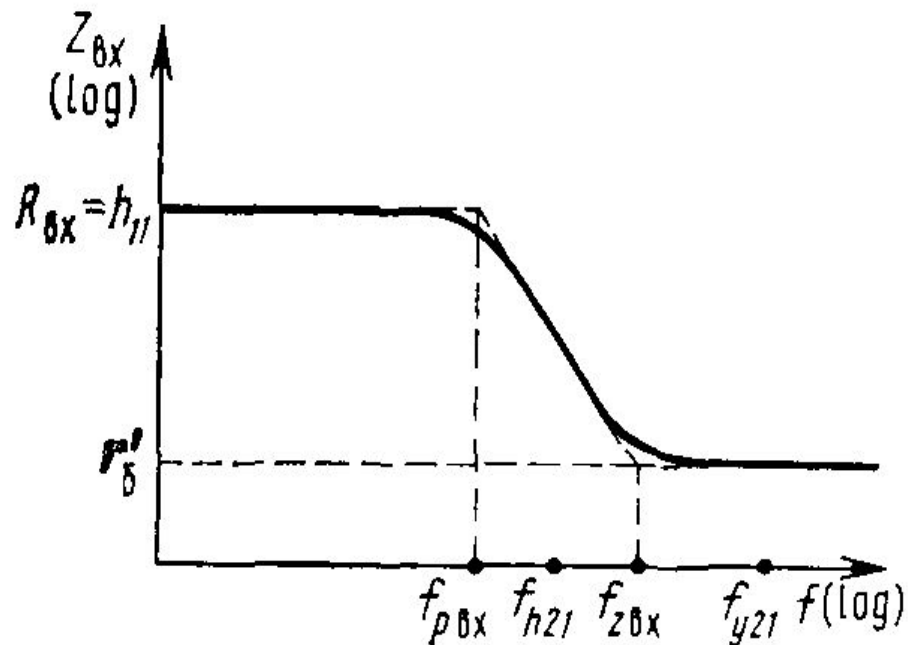
Коэффициенты усиления тока и напряжения в схеме с общим эмиттером

# РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.



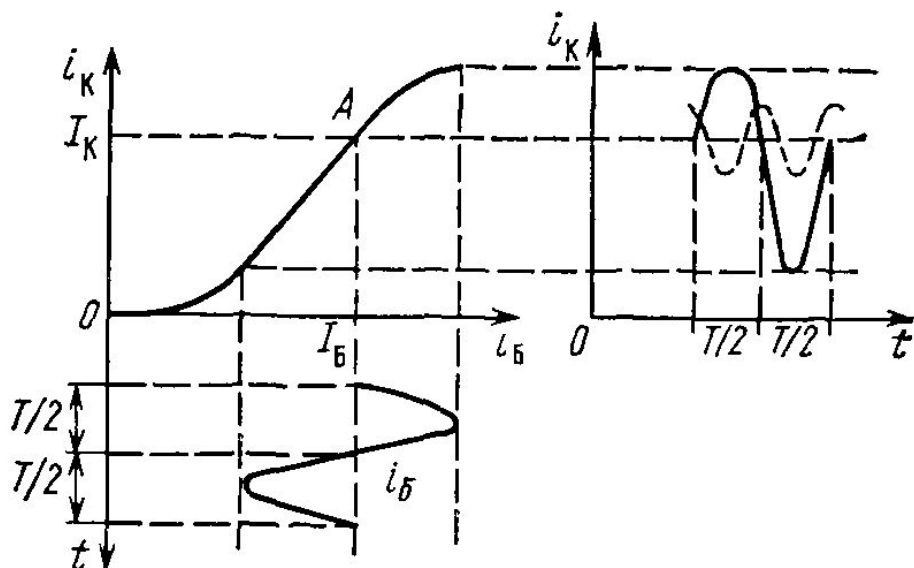
Зависимость коэффициента усиления тока от частоты



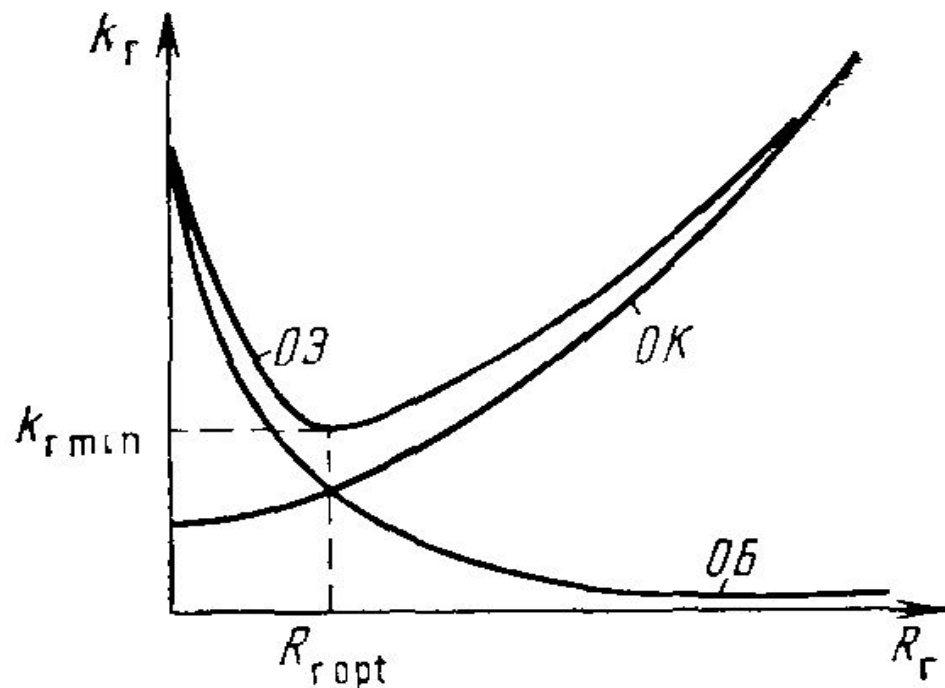
Зависимость входного сопротивления от частоты

# РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.



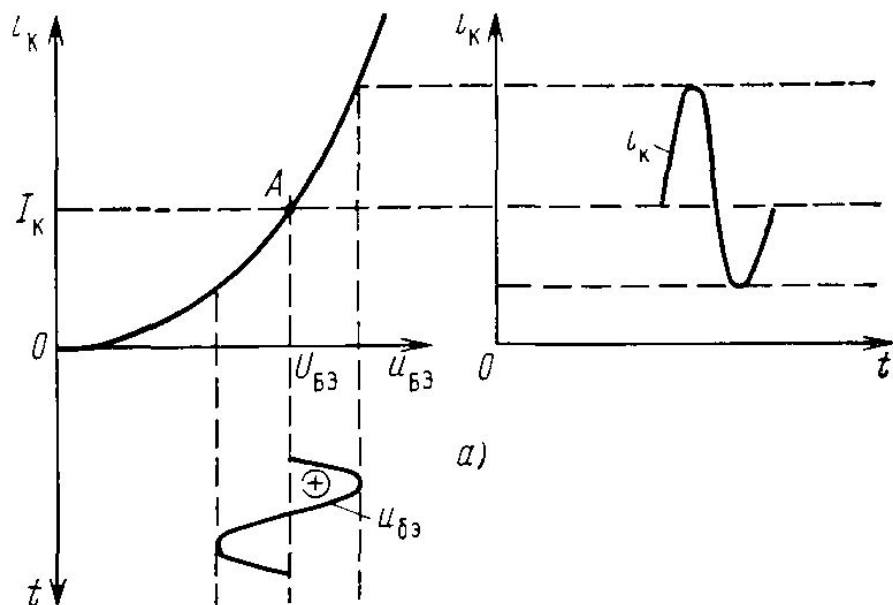
Характер нелинейных искажений при возбуждении каскада с общим эмиттером гармоническим током



Зависимость коэффициента гармоник от сопротивления источника сигнала

# РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

## Режим А.



ВАХ и временные зависимости выходного тока для режима А.

Коэффициент использования тока

$$\xi_i = I_{К m} / I_{К ср} < 1$$

КПД

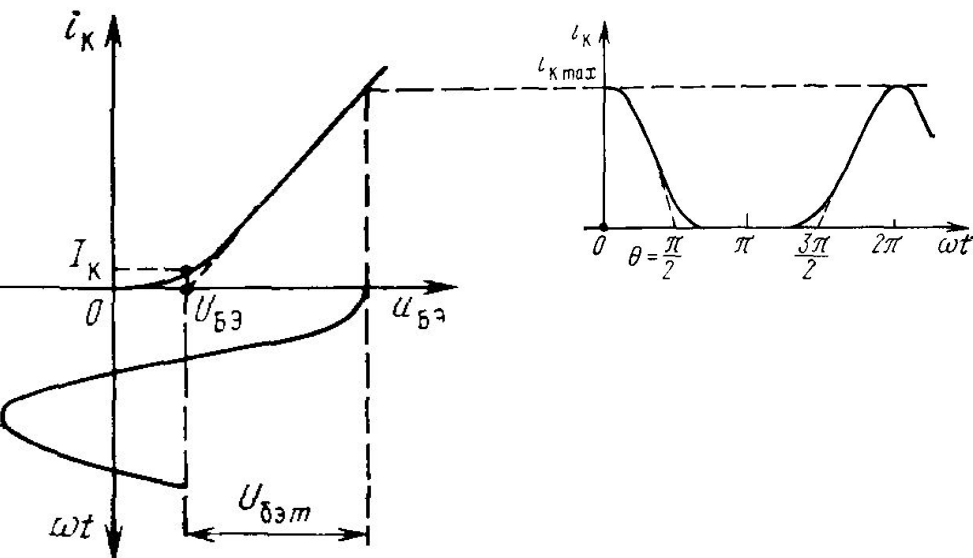
$$\eta = \frac{P_H}{P_{оК}} = \frac{0,5 U_{КЭ m} I_{К m}}{U_{КЭ} I_{К ср}} = \frac{U_{КЭ m} I_{К m}}{2 U_{КЭ} I_{К}}$$

Коэффициент использования напряжения

$$\xi_u = U_{КЭ m} / U_{К} < 1$$

# РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

## Режим В.



ВАХ и временные зависимости выходного тока для режима Б.

Коэффициент использования тока

$$\xi_i = I_{км} / I_{К ср} < 1$$

КПД

$$\eta = \frac{P_H}{P_{оК}} = \frac{0,5 U_{кэ м} I_{к м}}{U_{кэ} I_{К ср}} = \frac{U_{кэ м} I_{к м}}{2 U_{кэ} I_{К}}$$

Коэффициент использования напряжения

$$\xi_u = U_{кэ м} / U_{К} < 1$$

# РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

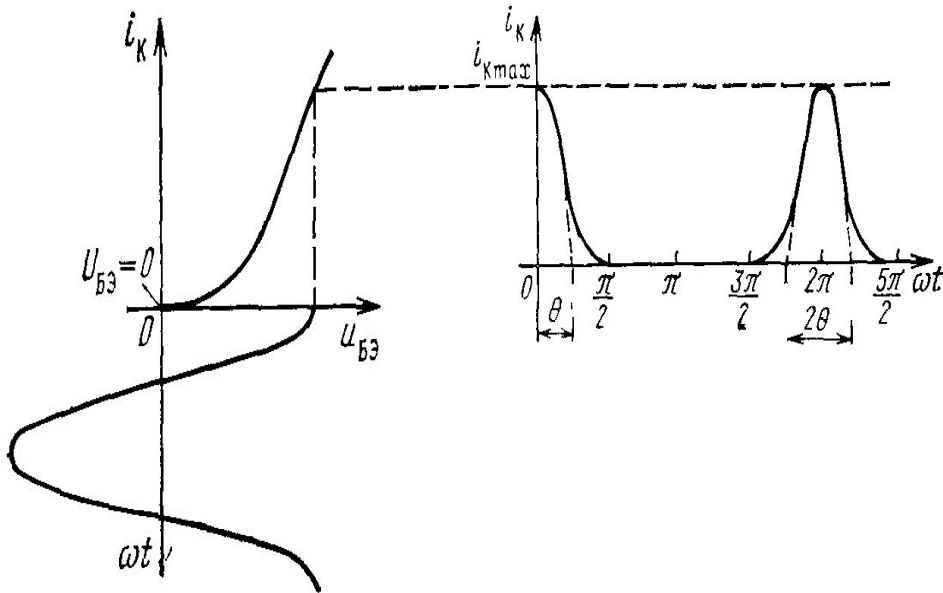
## Режим С.

Коэффициент использования тока

$$\xi_i \approx 2$$

КПД

$$\eta \approx 100\%$$



ВАХ и временные зависимости выходного тока для режима Б.

# РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

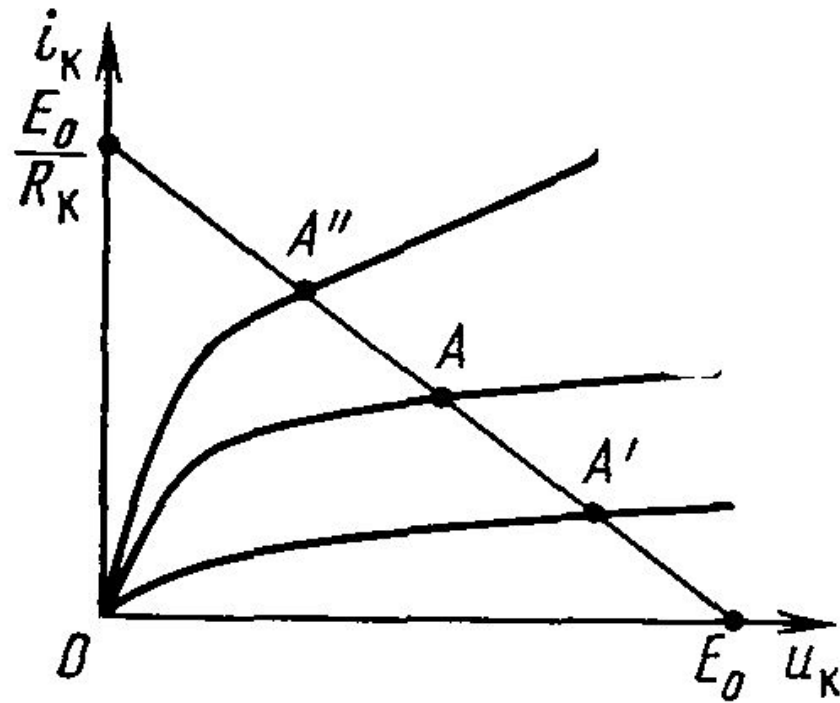
## Режим D.

Для режима D характерной является работа усилителя в ключевом режиме, при котором усилительный элемент либо открыт, либо закрыт. Поэтому режим D можно использовать только для усиления прямоугольных импульсов. В этом режиме потери внутри усилительного элемента незначительны, КПД близок к 100%.

Для усиления гармонического сигнала необходимо его преобразовать в прямоугольные импульсы неизменного размаха, длительность которых пропорциональна мгновенному значению напряжения сигнала при постоянной частоте следования импульсов. После усиления осуществляется демодуляция, т.е. обратное преобразование сигнала.



# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ



Нагрузочная прямая.

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Пределы изменения температуры перехода.

$$t_{\Pi} = t_c + R_{Tc} P_K$$

Предельные значения коэффициента усиления по току.

$$h'_{21 \text{ э}} = (0,8 h_{21 \text{ э min}} + 0,2 h_{21 \text{ э max}}) \left[ 1 - \frac{25^{\circ} - t_{\Pi \text{ min}}}{(600 \dots 400)^{\circ}} \right],$$

$$h''_{21 \text{ э}} = (0,2 h_{21 \text{ э min}} + 0,8 h_{21 \text{ э max}}) \left[ 1 + \frac{t_{\Pi \text{ max}} - 25^{\circ}}{(250 \dots 300)^{\circ}} \right],$$

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с фиксацией тока базы и напряжения на базе.

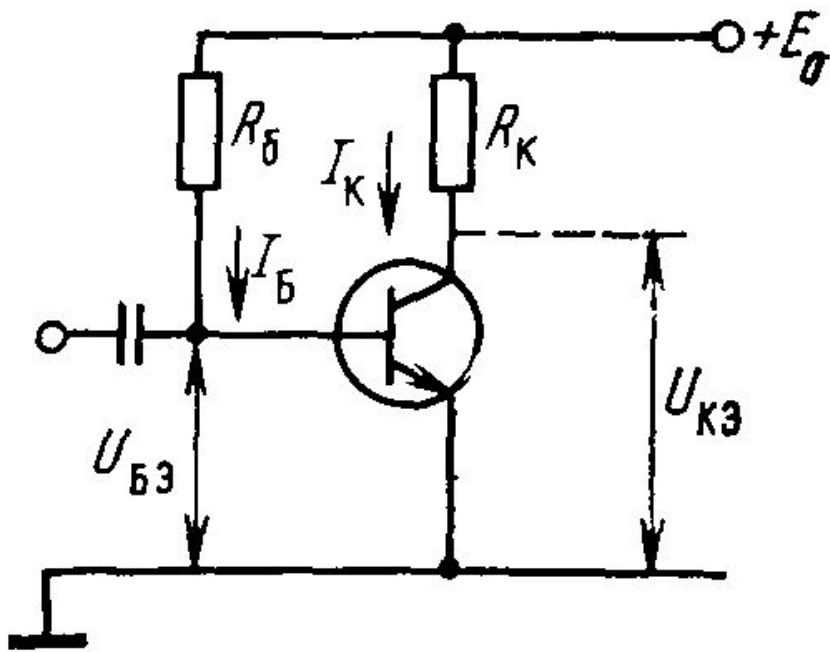


Схема смещения с фиксацией тока базы.

Выражения для тока базы:

$$I_Б = (E_0 - U_Б) / R_Б$$

Известно, что для транзистора:

$$I_Э = I_Б + I_К, \quad I_К = -h_{21Б} I_Э + I_{КБ0}$$

Из этого получим:

$$I_К = -\frac{h_{21Б} I_Б}{1 + h_{21Б}} + \frac{I_{КБ0}}{1 + h_{21Б}}$$

Из этого получим:

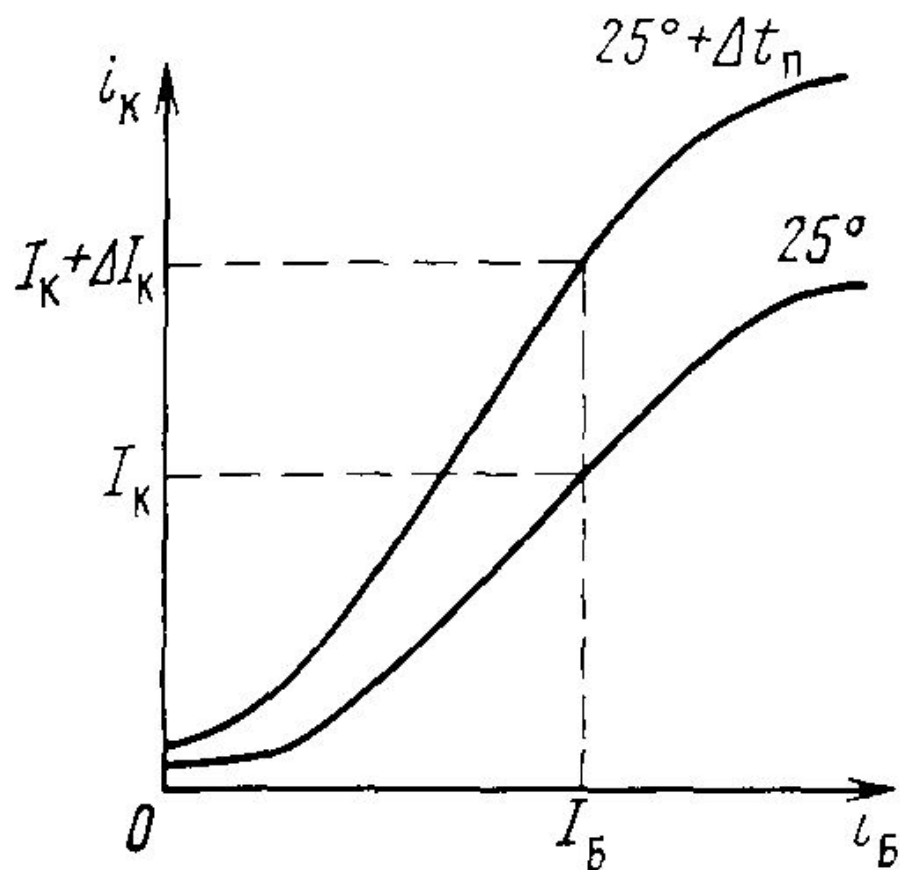
$$I_К = h_{21Э} I_Б + (1 + h_{21Э}) I_{КБ0}$$

Обратный ток коллектора зависит от температуры:

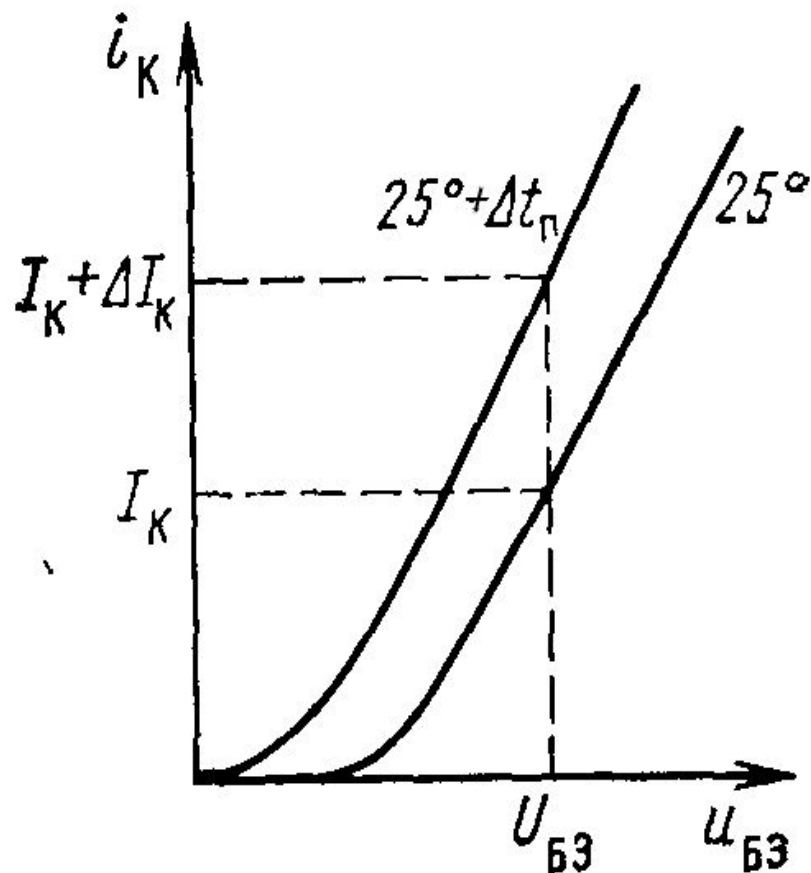
$$I_{КБ0}^t = I_{КБ0} \cdot 10^{\alpha(t_П - 25^\circ)}$$

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с фиксацией тока базы и напряжения на базе.



Влияние изменения температуры перехода при постоянном токе базы на ток коллектора.



Влияние изменения температуры перехода при постоянном напряжении базы на ток коллектора.

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с фиксацией тока базы и напряжения на базе.

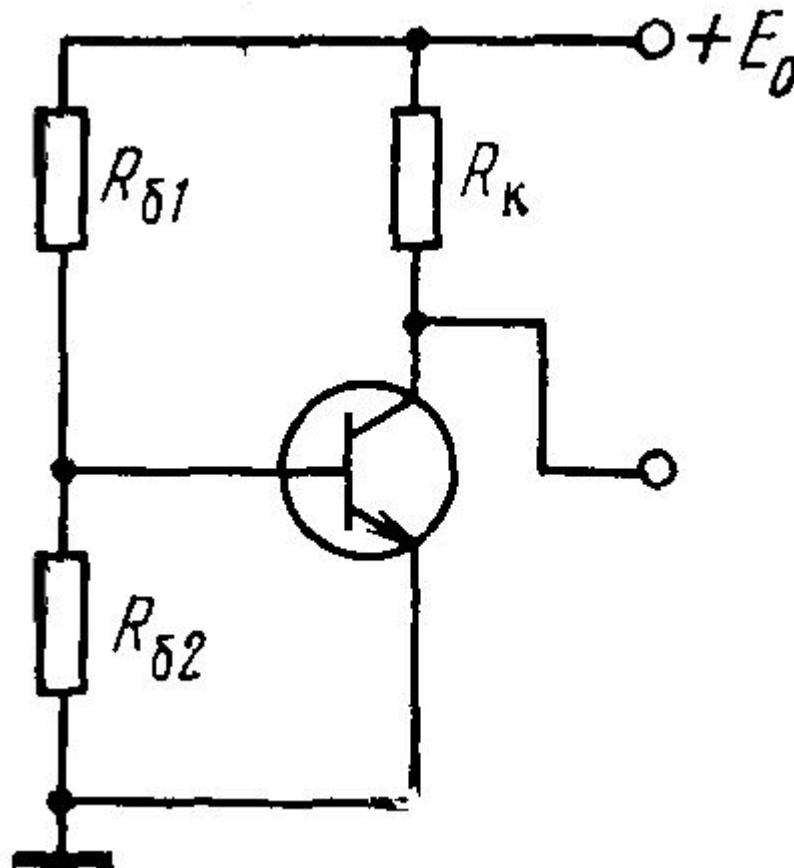
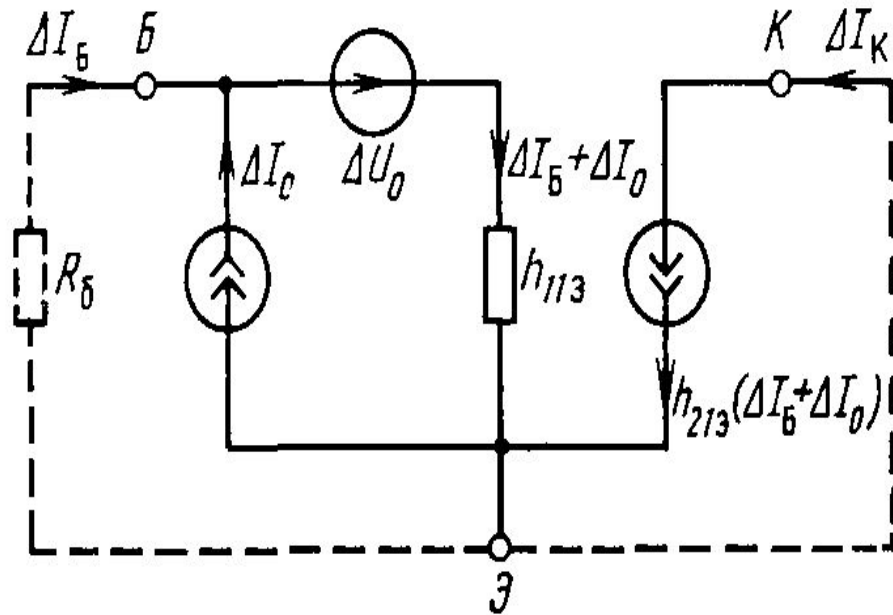


Схема подачи напряжения на базу с помощью делителя напряжения.

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с фиксацией тока базы и напряжения на базе.



Общая эквивалентная схема для определения нестабильности коллекторного тока.

Нестабильность тока базы:

$$\Delta I_B = \Delta U_0 / (h_{11\varepsilon} + R_б) - \Delta I_0 h_{11\varepsilon} / (h_{11\varepsilon} + R_б)$$

Нестабильность тока коллектора:

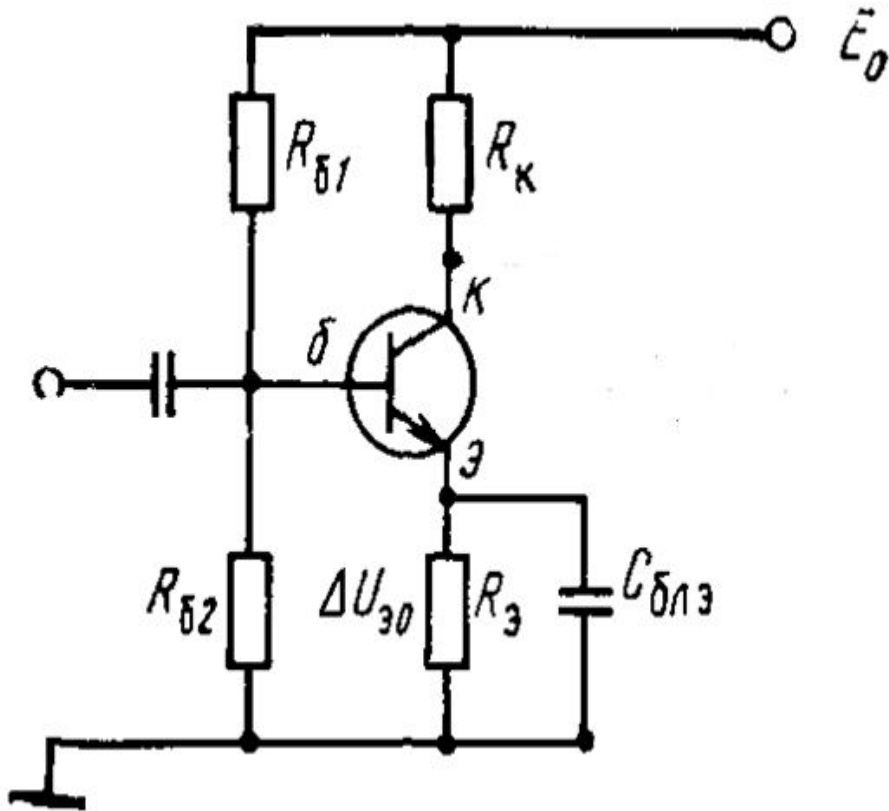
$$\Delta I_K = h_{21\varepsilon} (\Delta I_B + \Delta I_0) = h_{21\varepsilon} (\Delta U_0 + R_б \Delta I_0) / (h_{11\varepsilon} + R_б)$$

После преобразований получим:

$$\Delta I_K = \frac{h_{21\varepsilon} (\Delta U_0 / \Delta I_0 + R_б) \Delta I_0}{h_{11\varepsilon} + R_б}$$

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с эмиттерной стабилизацией.



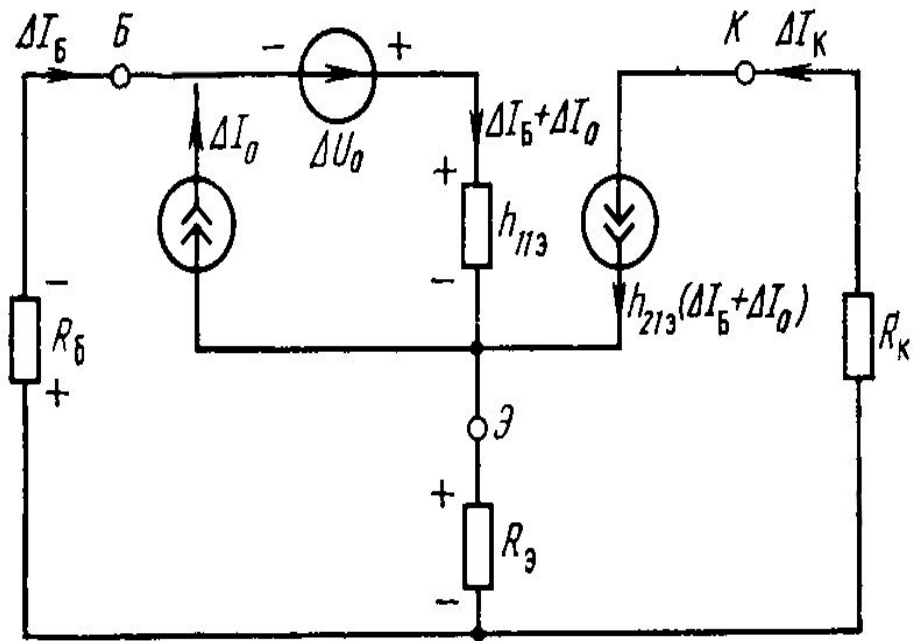
Часть напряжения, передаваемого на базу, стремится уменьшить коллекторный ток.

$$\Delta U_{B0} = h_{11Э} \Delta U_{Э0} / (R_{B1} + R_{B2})$$

Цепь с эмиттерной стабилизацией.

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с эмиттерной стабилизацией.



Эквивалентная схема цепи питания с эмиттерной стабилизацией.

Контурное уравнение.

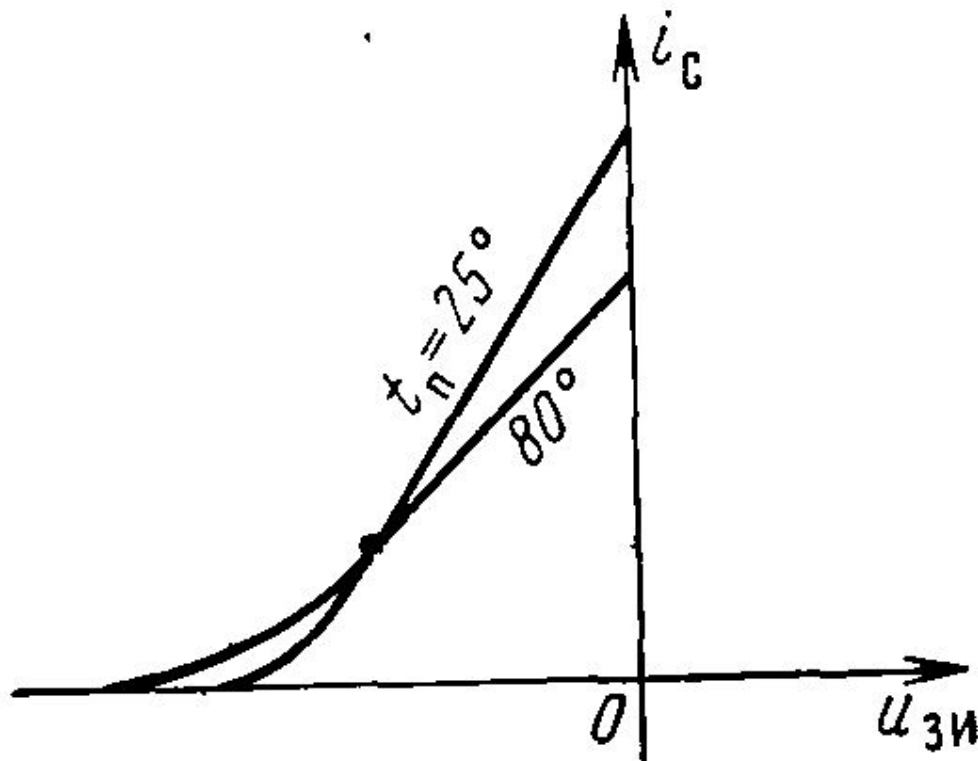
$$R_б \Delta I_б - \Delta U_0 + h_{11э} (\Delta I_б + \Delta I_0) + R_э [\Delta I_б + h_{21э} (\Delta I_б + \Delta I_0)] = 0$$

$$\Delta I_к = \frac{h_{21э} [\Delta U_0 + (R_б + R_э) \Delta I_0]}{h_{11э} + R_б + (1 + h_{21э}) R_э}$$

Нестабильность коллекторного тока.



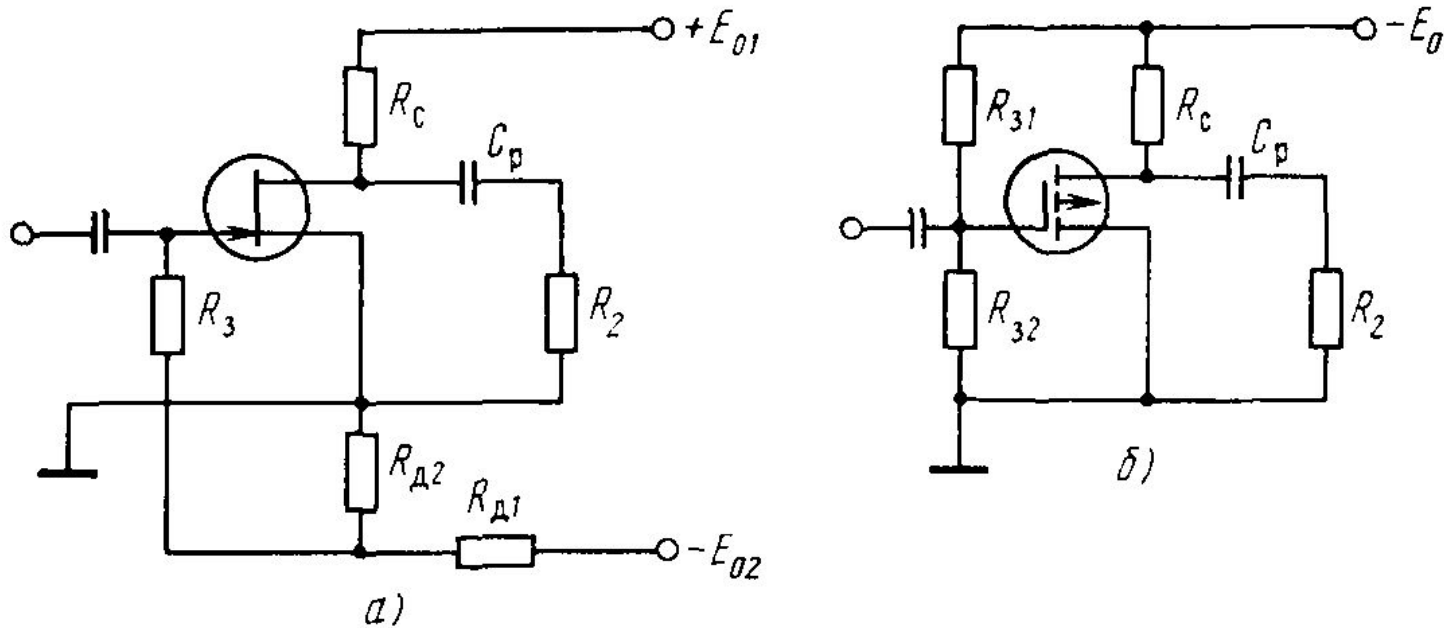
# ЦЕПИ ПИТАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ



Влияние температуры на характеристики прямой передачи.

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с фиксацией напряжения на затворе.



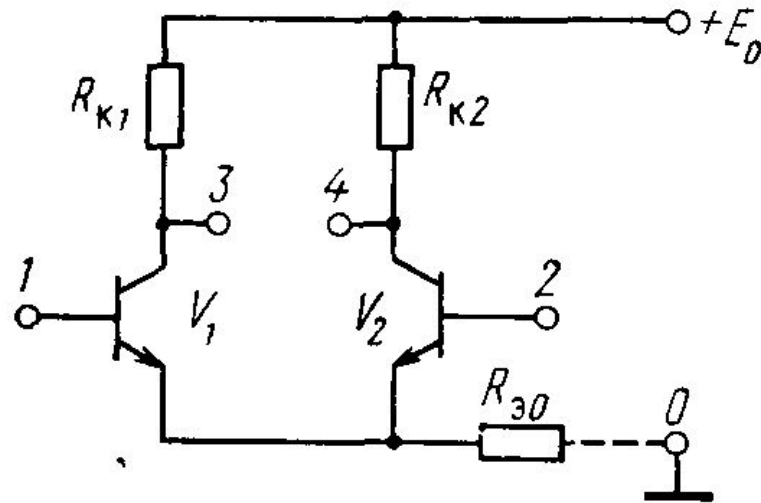
Схемы цепей питания с фиксацией напряжения на затворе. а-полевой транзистор с управляющим  $p-n$  переходом. б-полевой транзистор с индуцированным каналом.

Для задания нужного напряжения применяется делитель

$$U_{ЗИ} \approx R_{д2} E_{01} / (R_{д1} + R_{д2})$$

$$U_{ЗИ} \approx R_{32} E_0 / (R_{31} + R_{32})$$

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ



Дифференциальный каскад предварительного усиления.

Для задания нужного напряжения применяется делитель

$$U_{ЗИ} \approx R_{д2} E_{01} / (R_{д1} + R_{д2})$$

$$U_{ЗИ} \approx R_{з2} E_0 / (R_{з1} + R_{з2})$$

# ЦЕПИ ПИТАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Нестабильности параметров.

$$h'_{21 \text{ э}} = h_{21 \text{ э}} \left[ 1 - \frac{25^\circ - t_{\text{п min}}}{600 \dots 400^\circ} \right],$$

$$h''_{21 \text{ э}} = h_{21 \text{ э}} \left[ 1 + \frac{t_{\text{пр max}} - 25^\circ}{250 \dots 350^\circ} \right],$$

$$\Delta U_0 = 2,2 \cdot 10^{-3} (t_{\text{с max}} - t_{\text{с min}}).$$

Влияние обратной связи на коэффициент усиления при каскадном соединении.

$$K_E = K_{1E} K_2 \dots K_N$$

$$T = BK_E$$

$$F = 1 + T = 1 + BK_E$$

# ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЦЕПИ

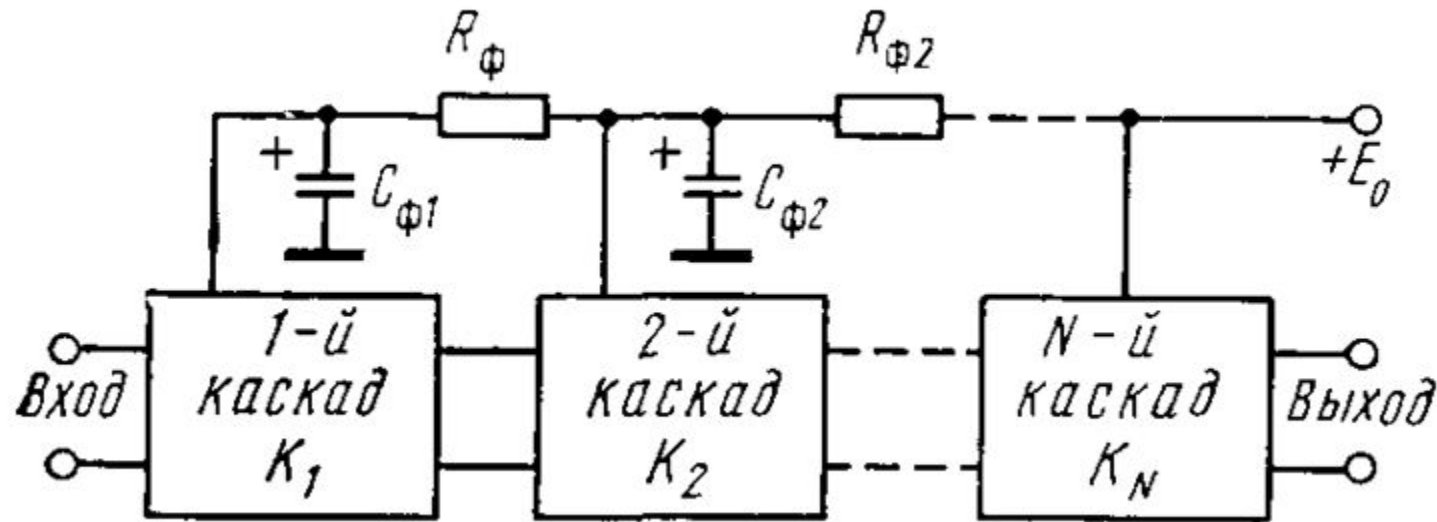


Схема цепи питания с фильтрующими звеньями.

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1/j\omega C_\phi}{R_\phi + 1/j\omega C_\phi} = \frac{1}{1 + j\omega C_\phi R_\phi} \quad \text{Коэффициент передачи напряжения через фильтр.}$$

$$U_1/U_2 = \sqrt{1 + (\omega C_\phi R_\phi)^2} \quad \text{Коэффициент фильтрации.}$$