

СХЕМОТЕХНИКА
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
УСТРОЙСТВ.

АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

СИГНАЛЫ

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

АНАЛОГОВЫЕ

Значения могут быть
измерены в любой
момент

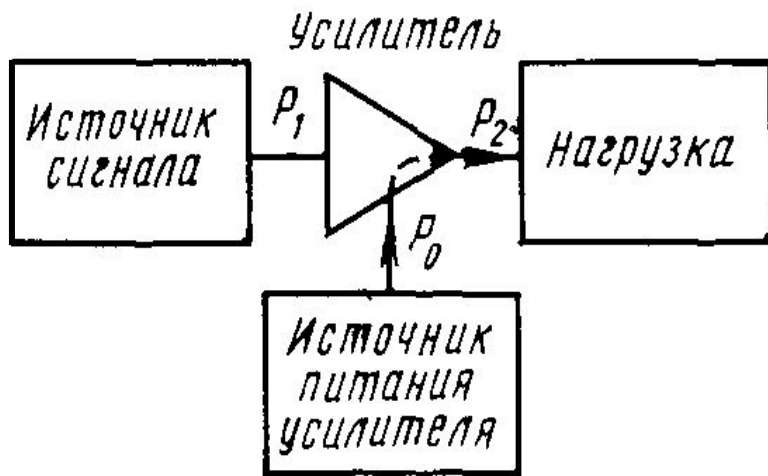
ЦИФРОВЫЕ

Значения могут быть
измерены только в
определенный момент

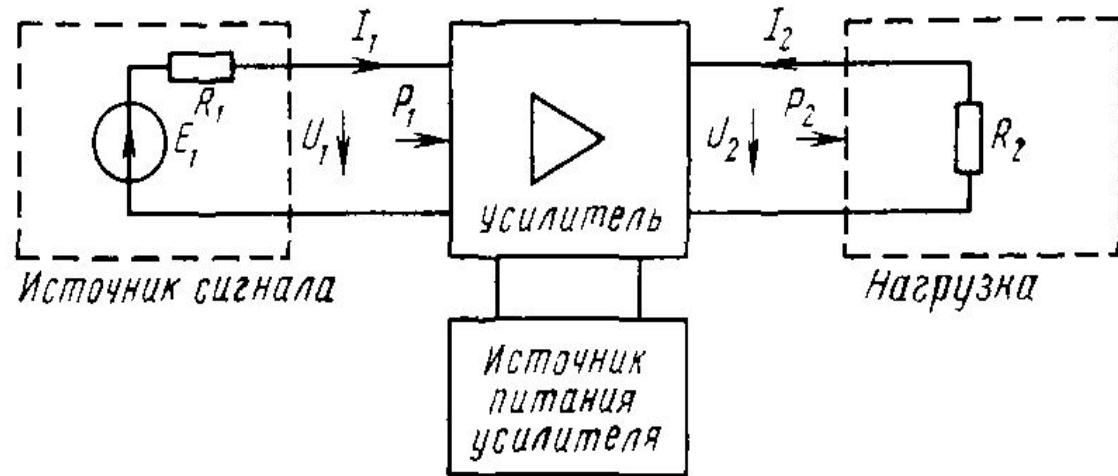
АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

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 характеризующие (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:

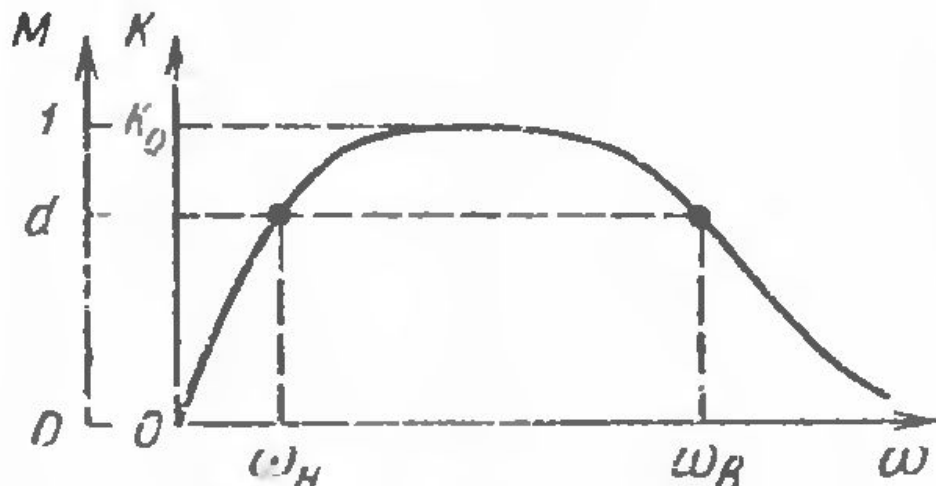
1. По форме усиливаемых сигналов.
2. По диапазону частот.
3. По типу усилительных элементов.
4. По области применения.

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

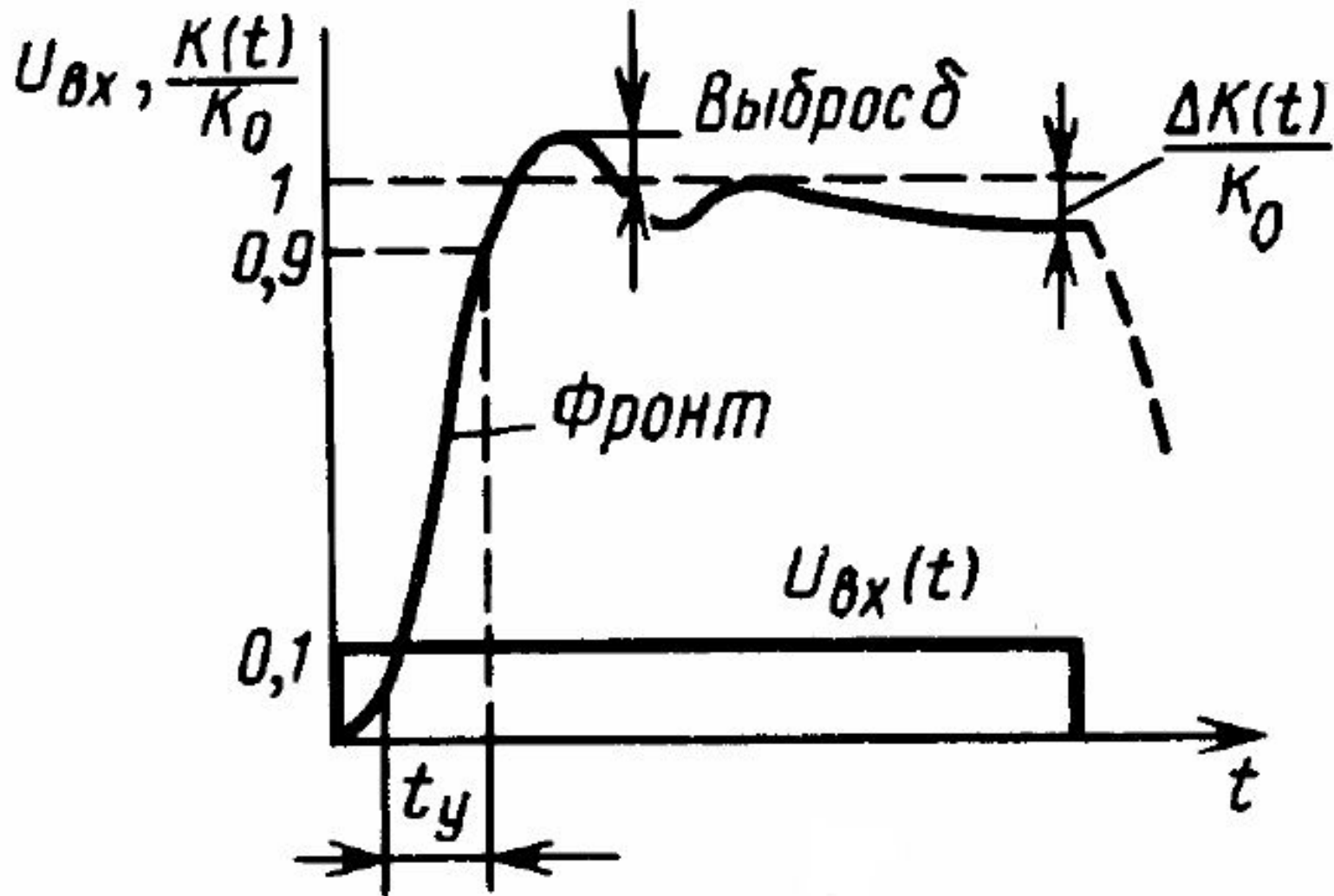


Амплитудно-частотная
характеристика



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:

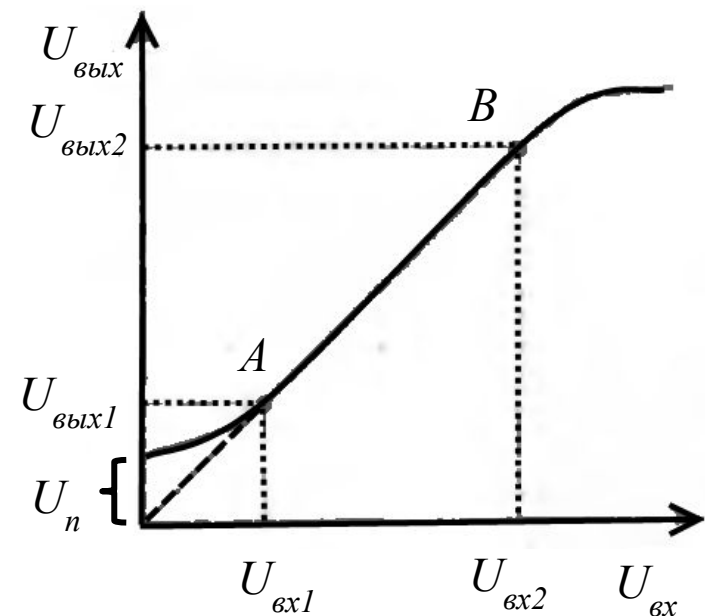
$$\eta_{\Sigma} = \frac{P_{\text{н}}}{P_{\Sigma}}$$

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.

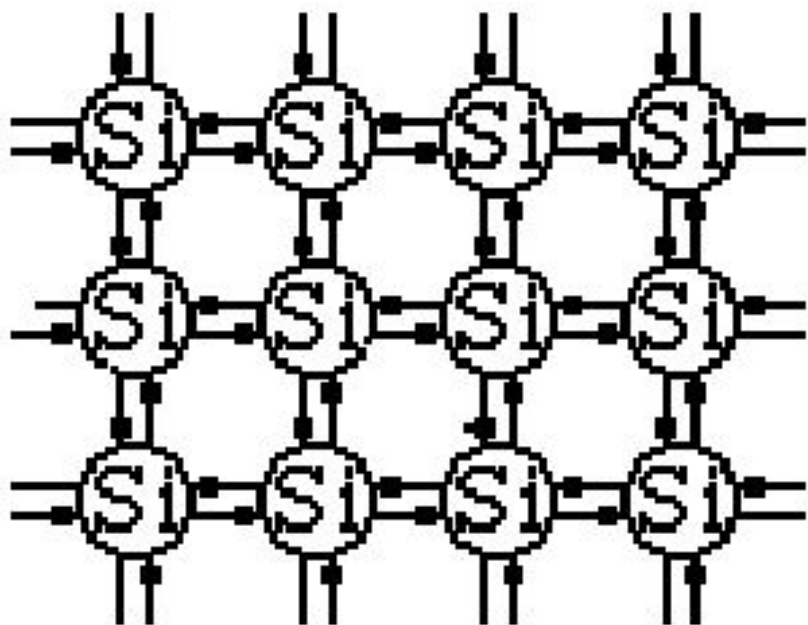


Динамический диапазон

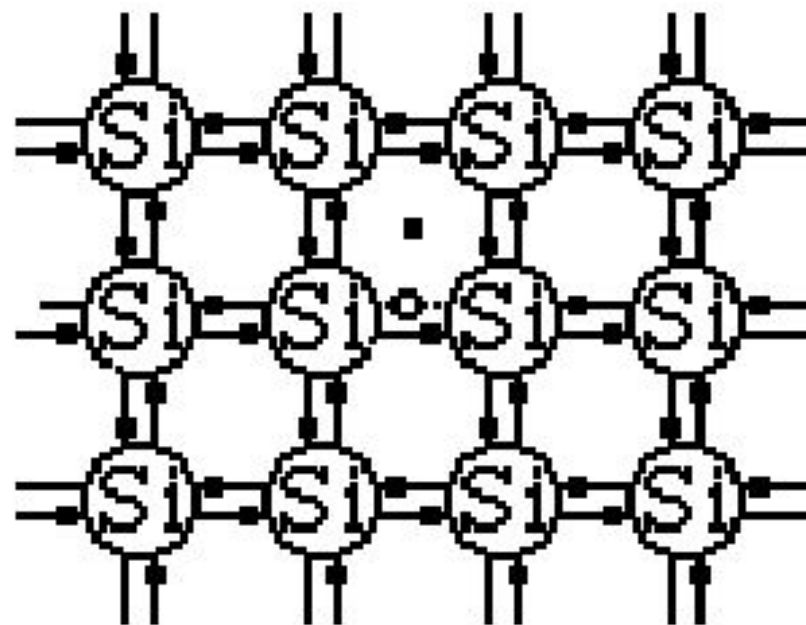
$$D = \frac{U_{\text{ВЫХ}2}}{U_{\text{ВЫХ}1}} = \frac{U_{\text{ВХ}2}}{U_{\text{ВХ}1}}$$

ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Структура кристалла кремния Si



$T = 0$



$T > 0$

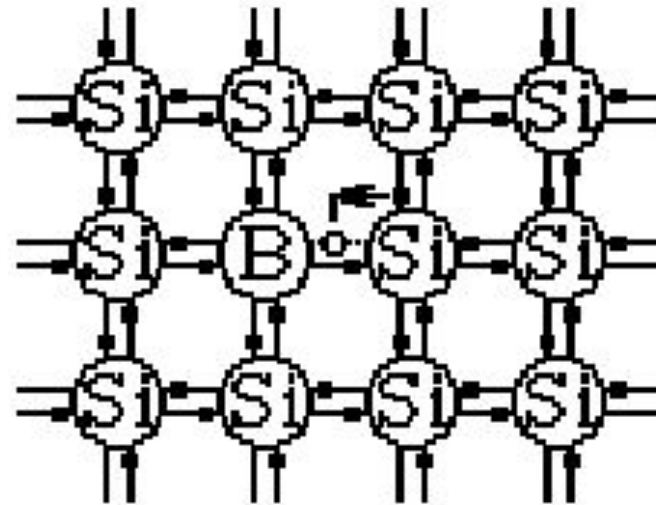
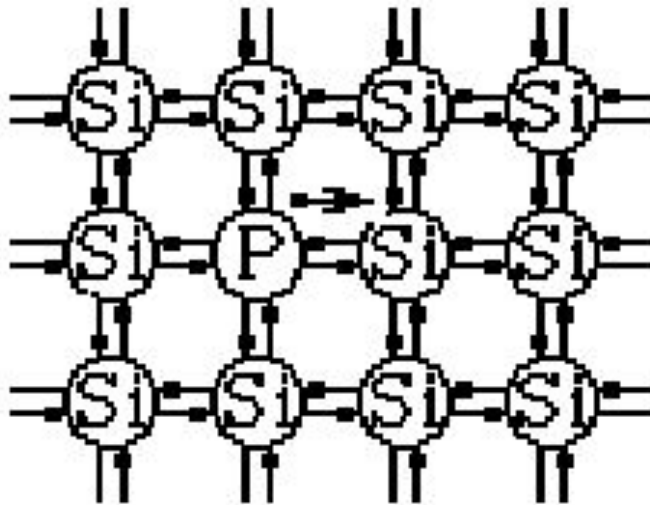
ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Распределение Ферми-Дирака

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

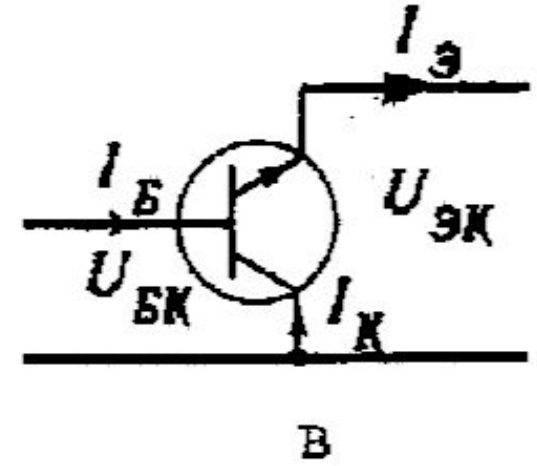
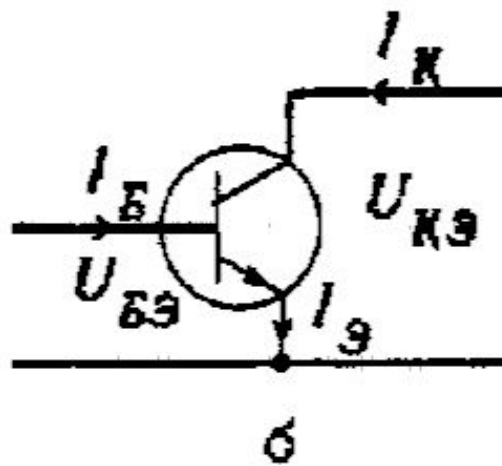
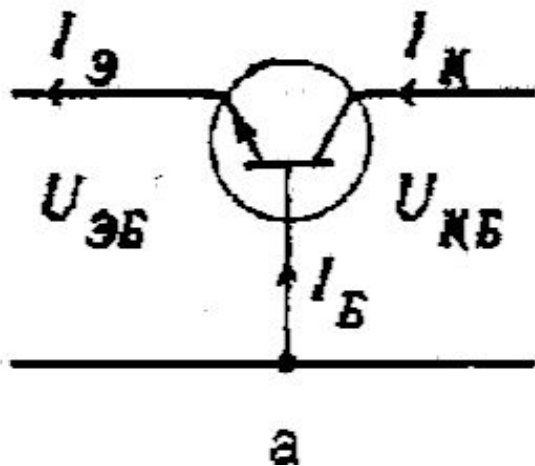
ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Примесные полупроводники



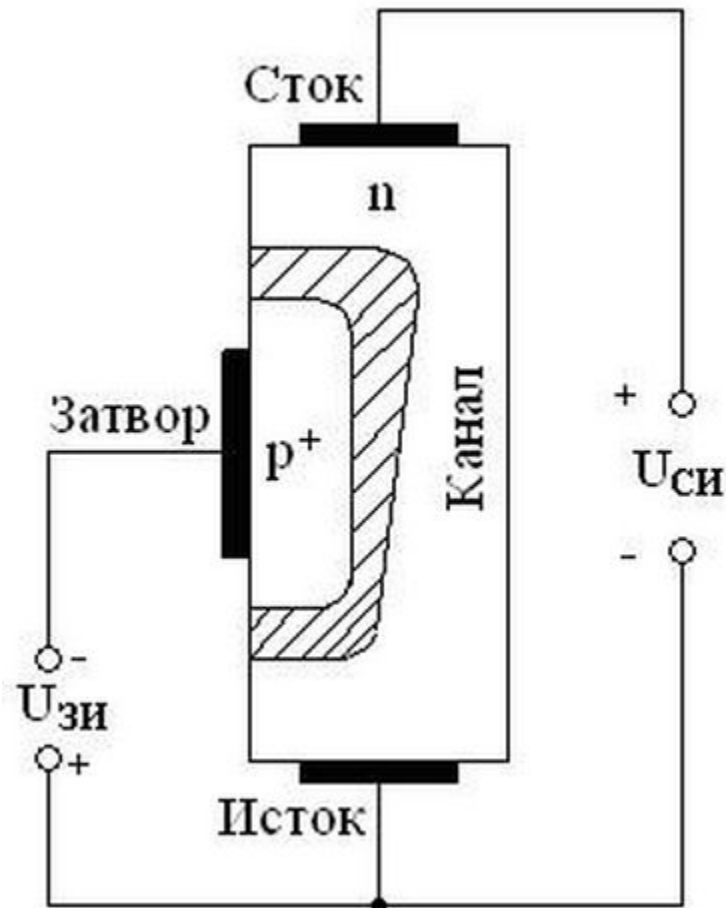
ТРАНЗИСТОРЫ – УПРАВЛЯЕМЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Принцип действия и режимы работы биполярного транзистора. Схемы включения.



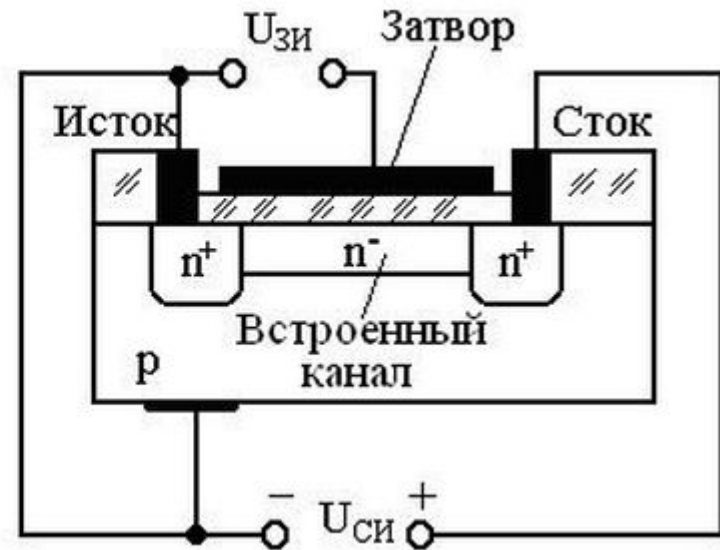
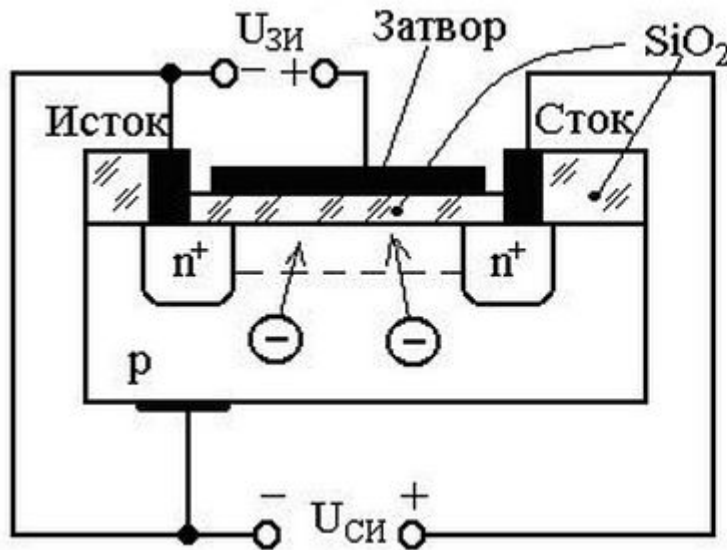
ТРАНЗИСТОРЫ – УПРАВЛЯЕМЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Принцип действия и режимы работы полевого транзистора.

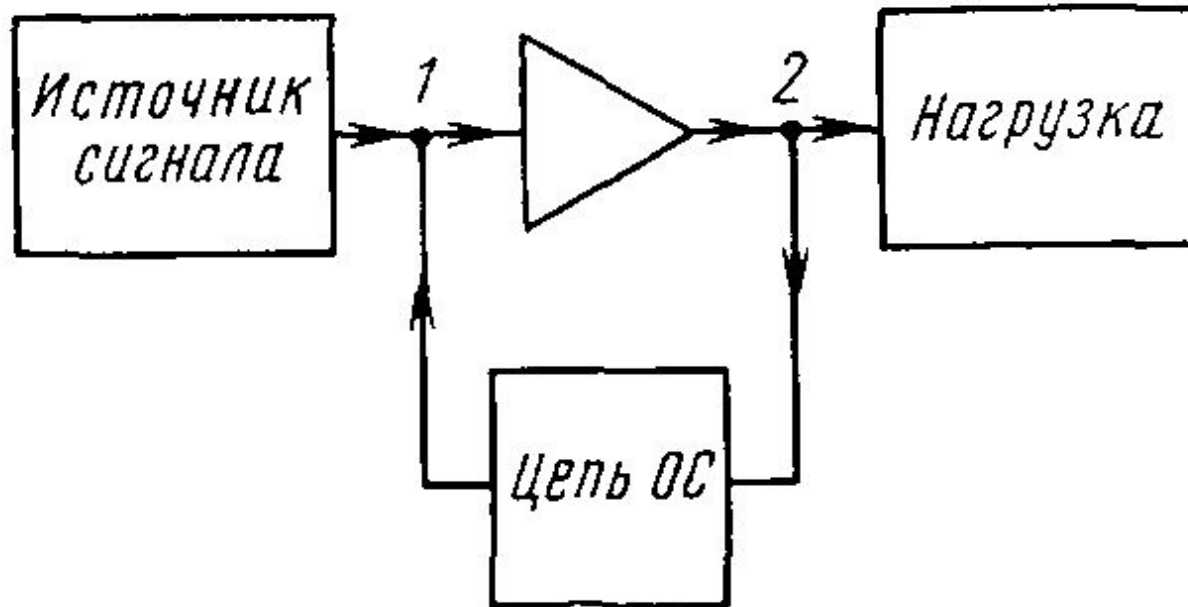


ТРАНЗИСТОРЫ – УПРАВЛЯЕМЫЕ НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

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

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

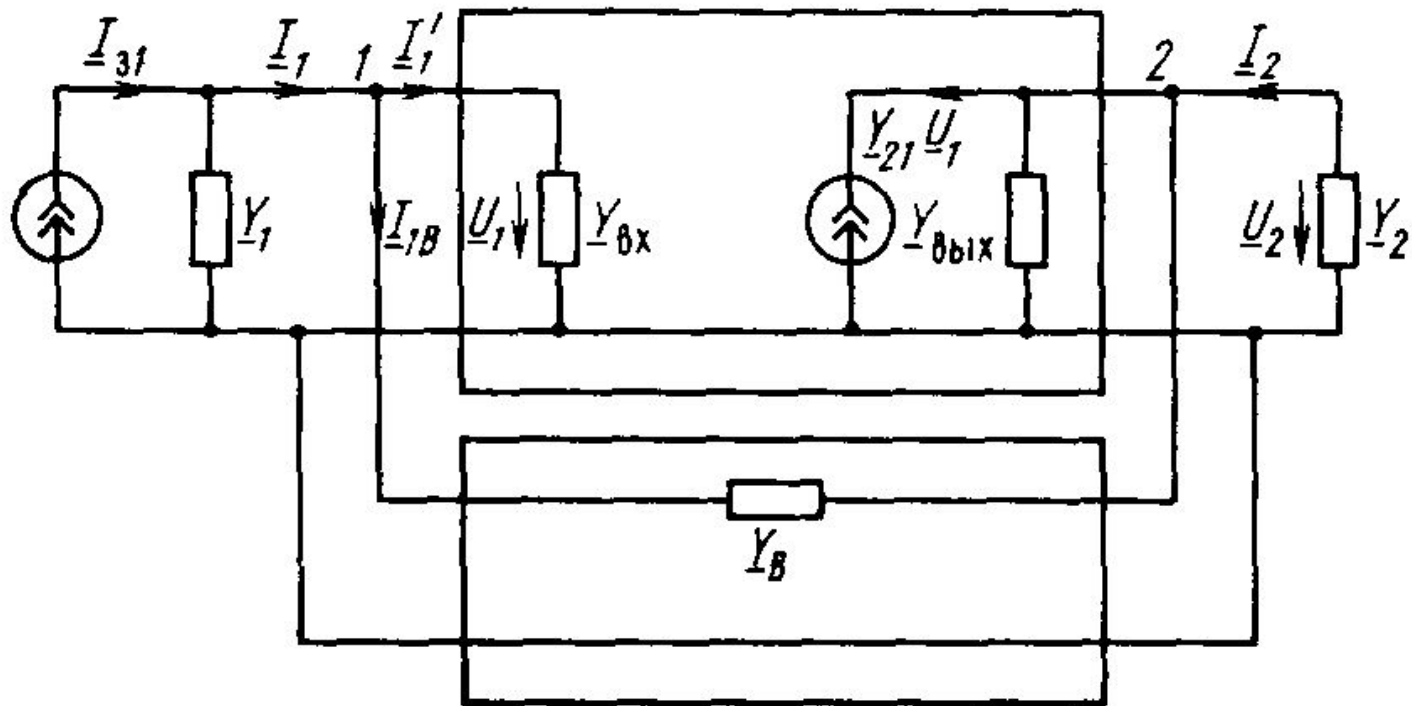
Коэффициент
ы усиления
на границах
полосы
пропускания

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

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

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.

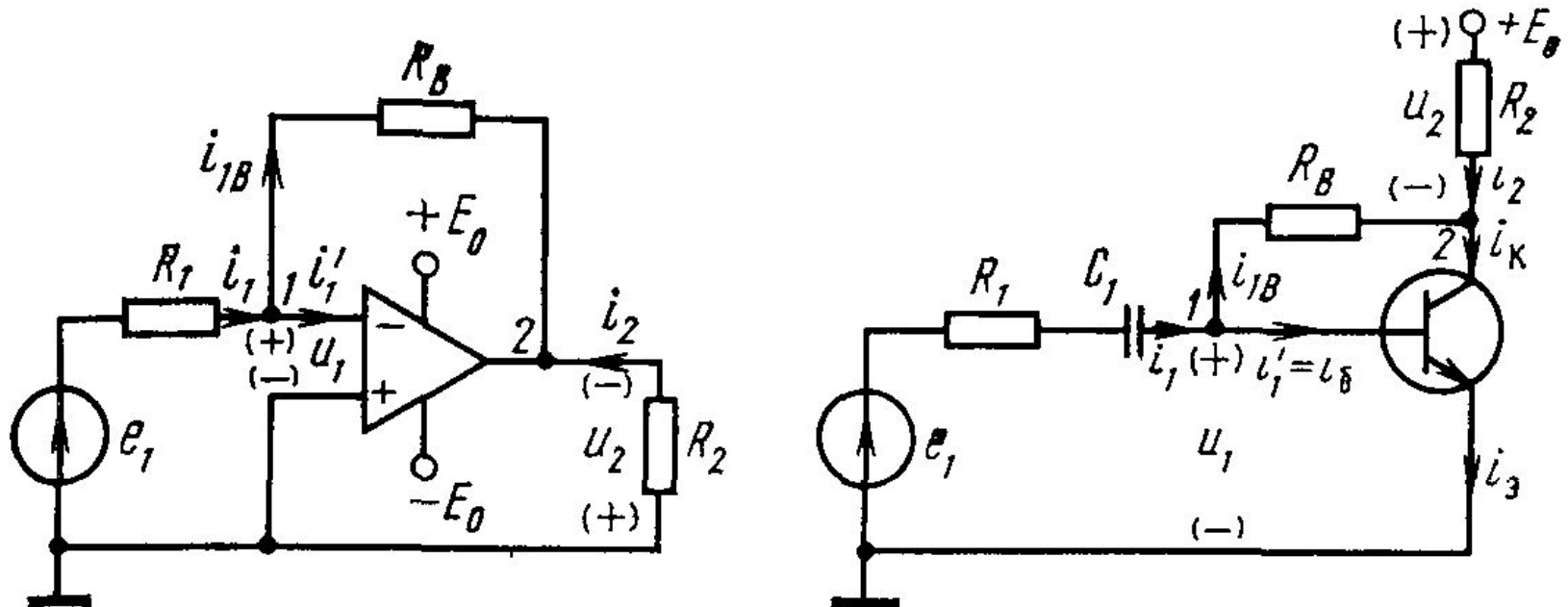
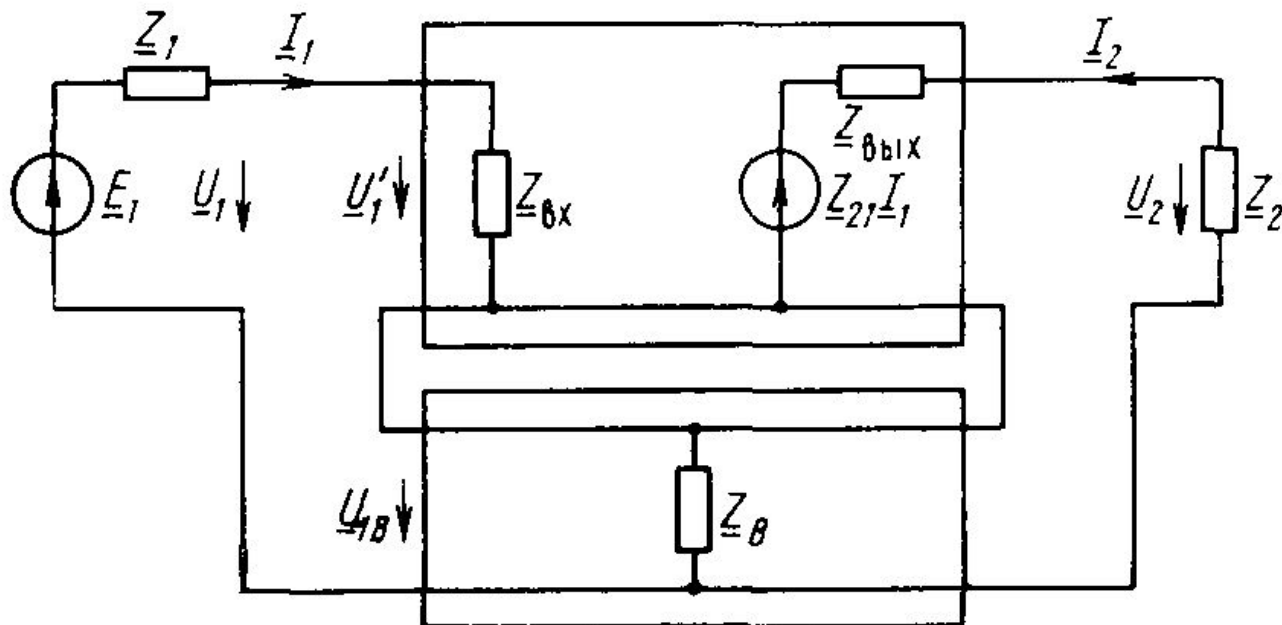


Схема каскада с параллельной ОС по напряжению.

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.

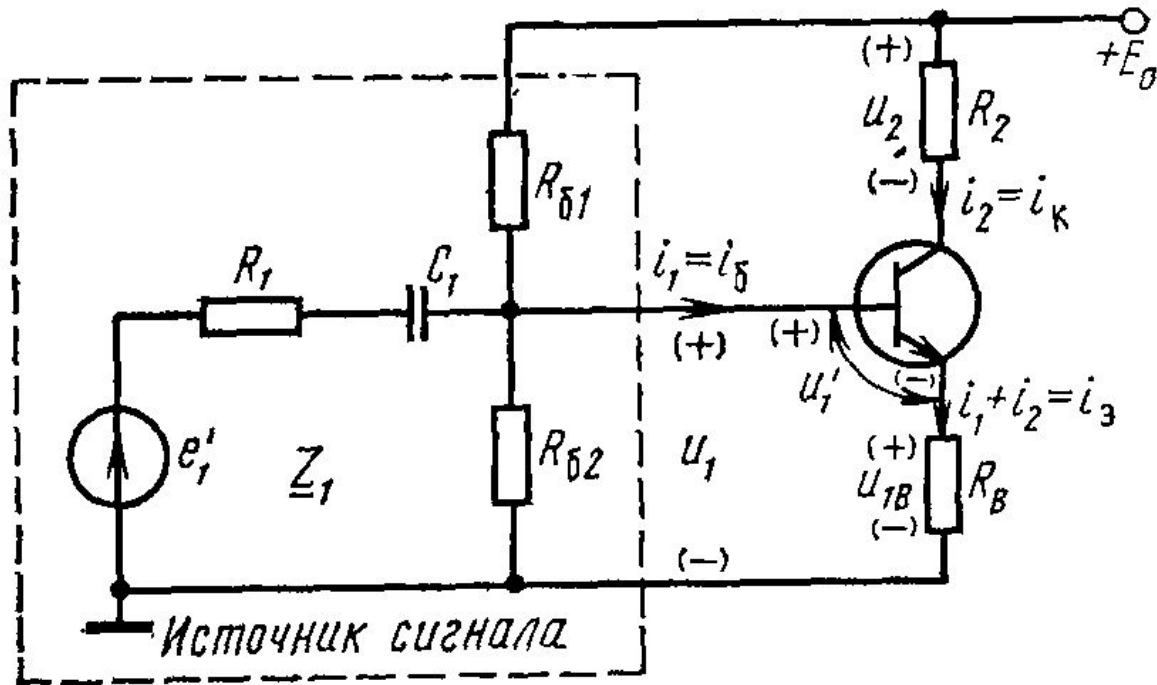
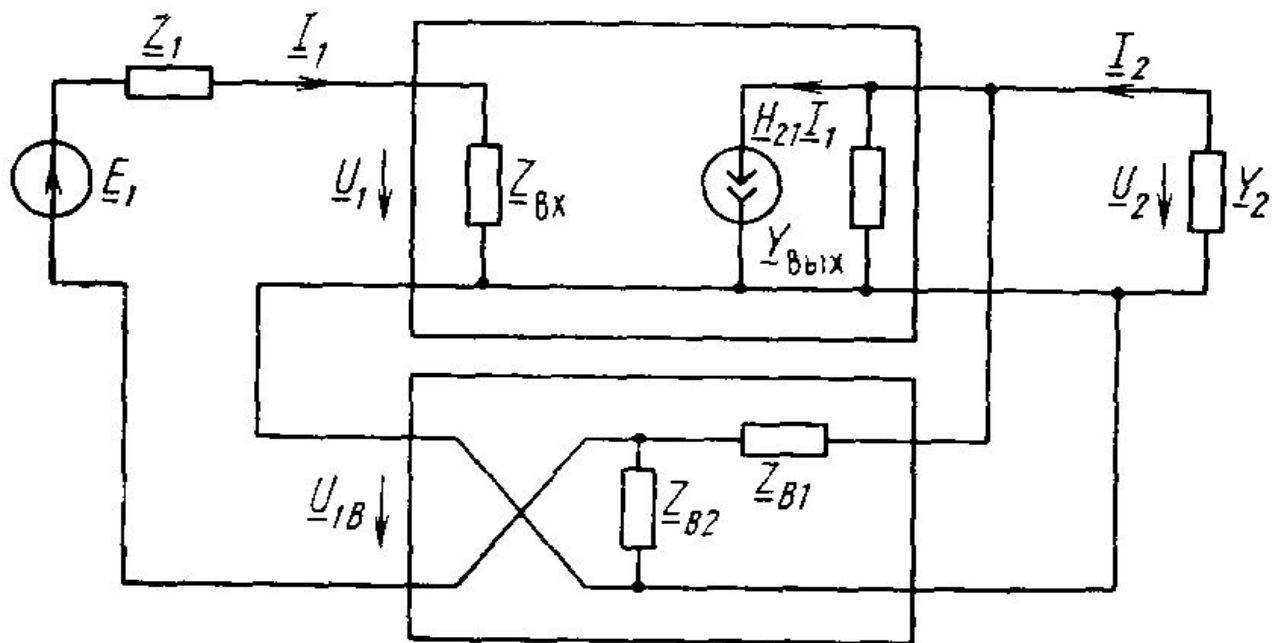


Схема каскада с параллельной ОС по току.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

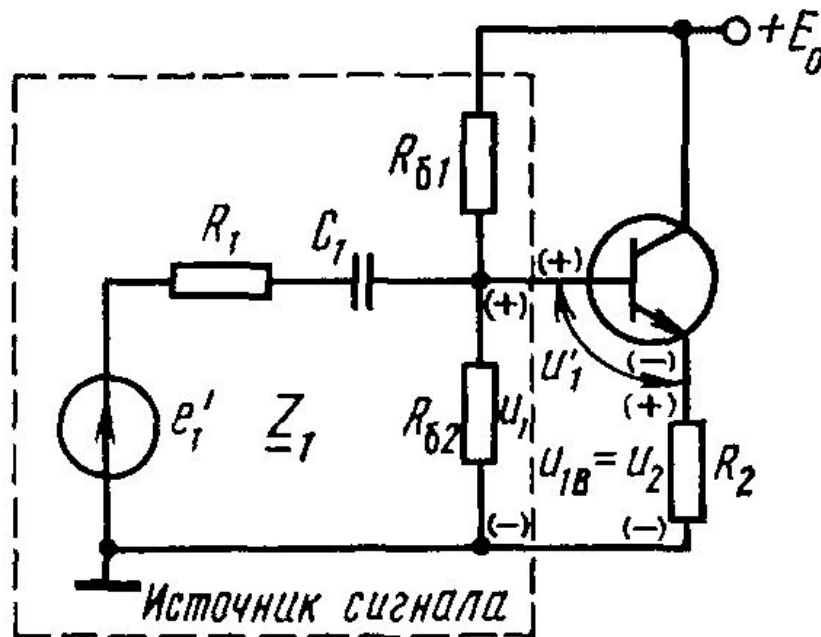
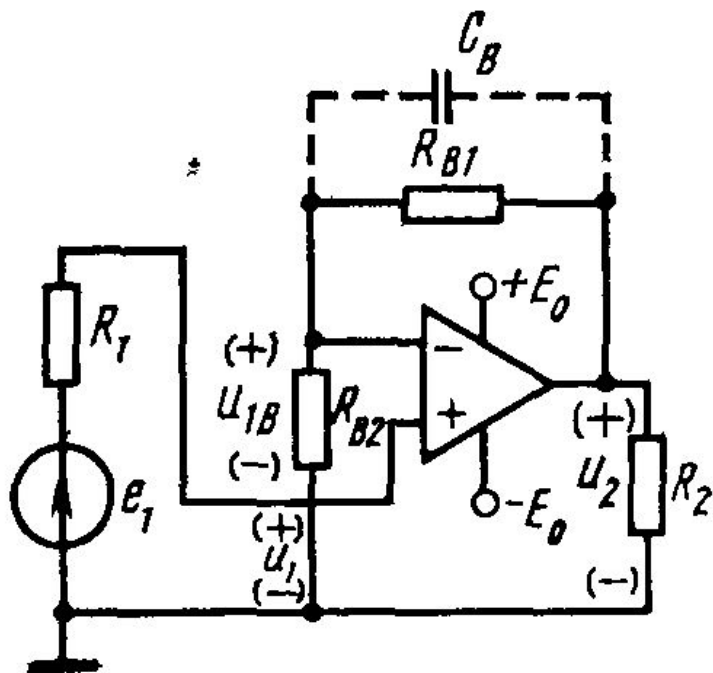
Последовательная по входу и параллельная по выходу ОС.



Эквивалентная схема устройства с последовательной ОС по напряжению.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

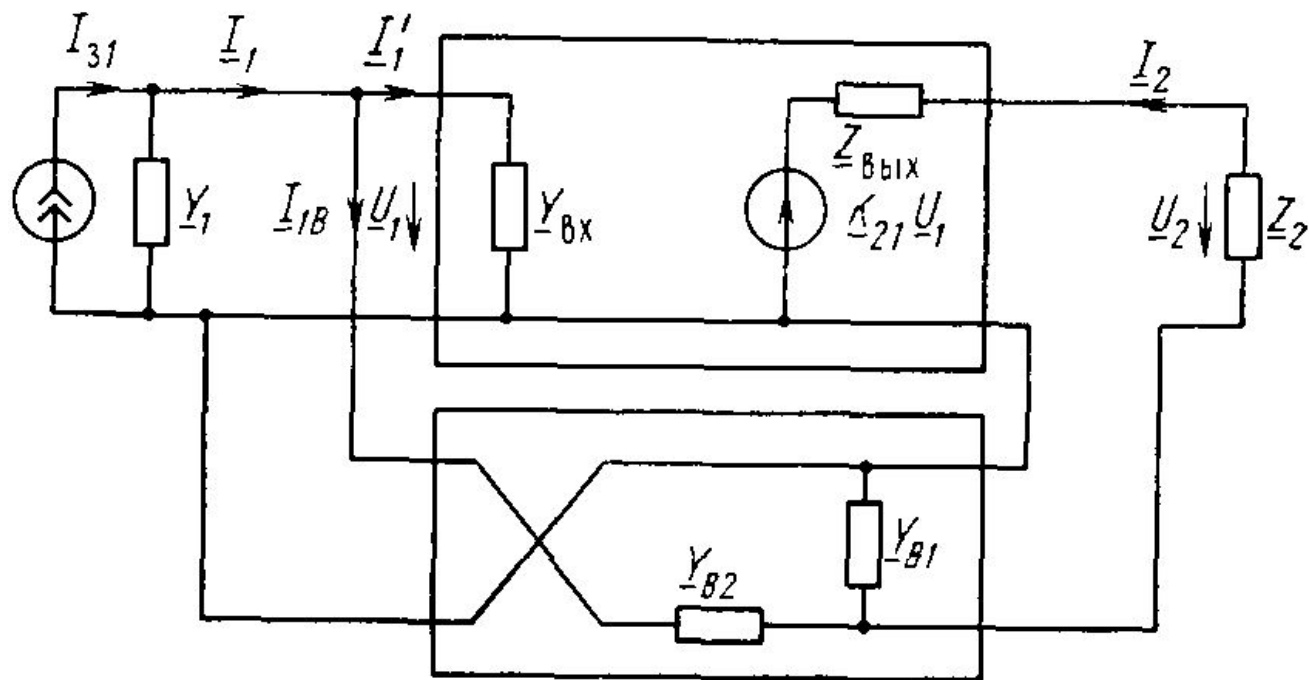
Последовательная по входу и параллельная по выходу ОС.



Схемы устройств с последовательной ОС по напряжению.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРЫ УСИЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

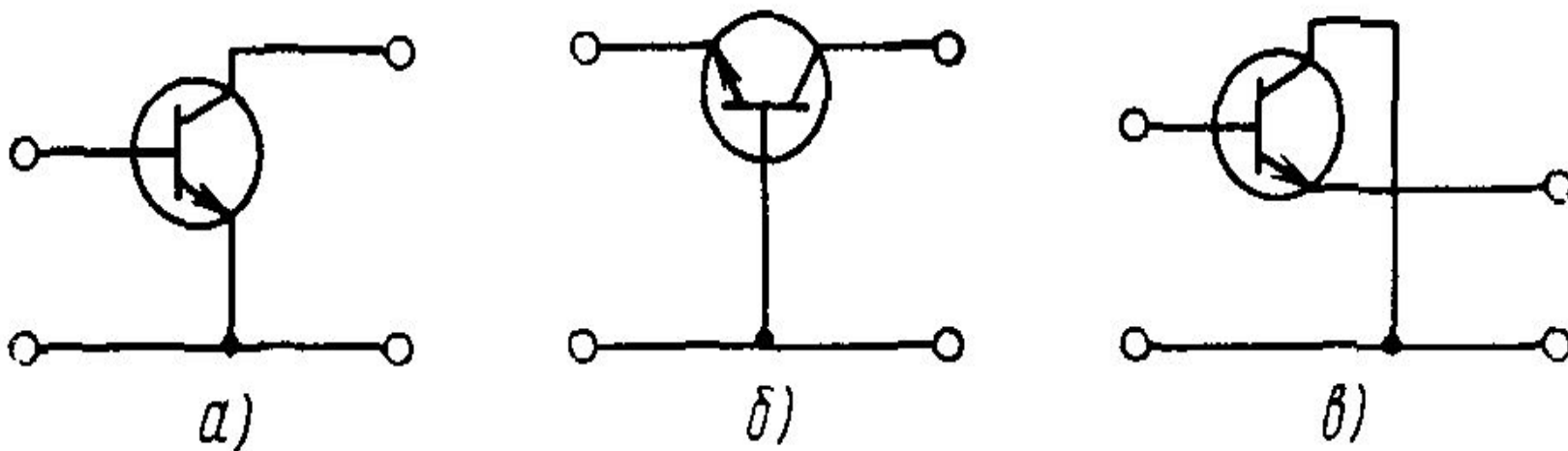
Параллельная по входу и последовательная по выходу ОС.



Эквивалентная схема устройства с параллельной ОС по току.

РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

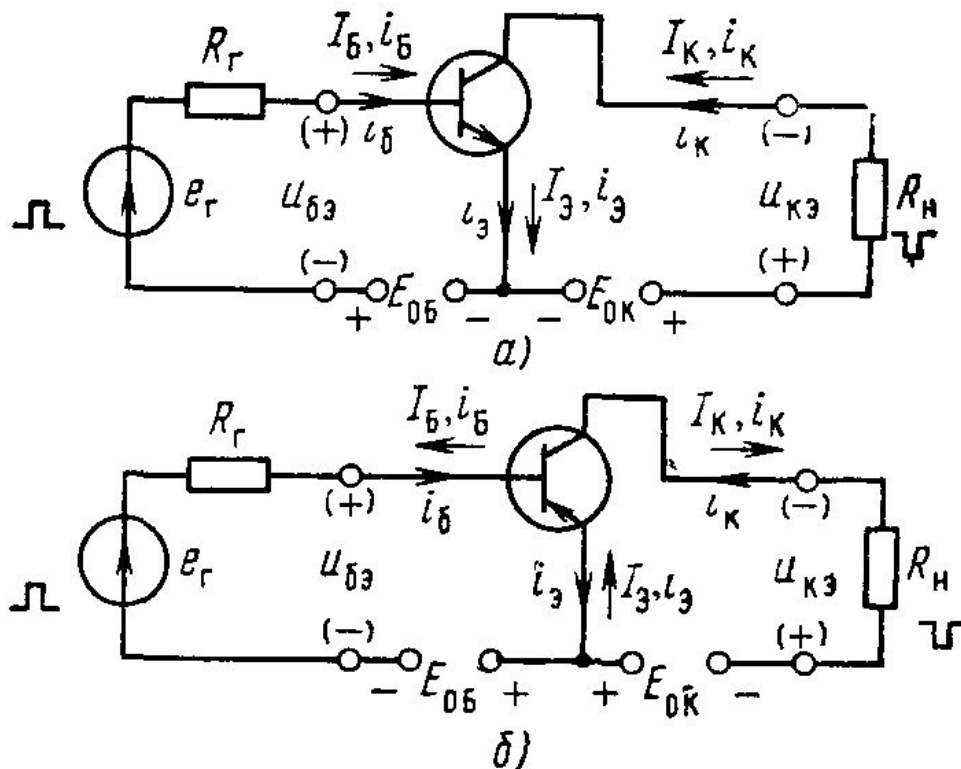
Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.



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

РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

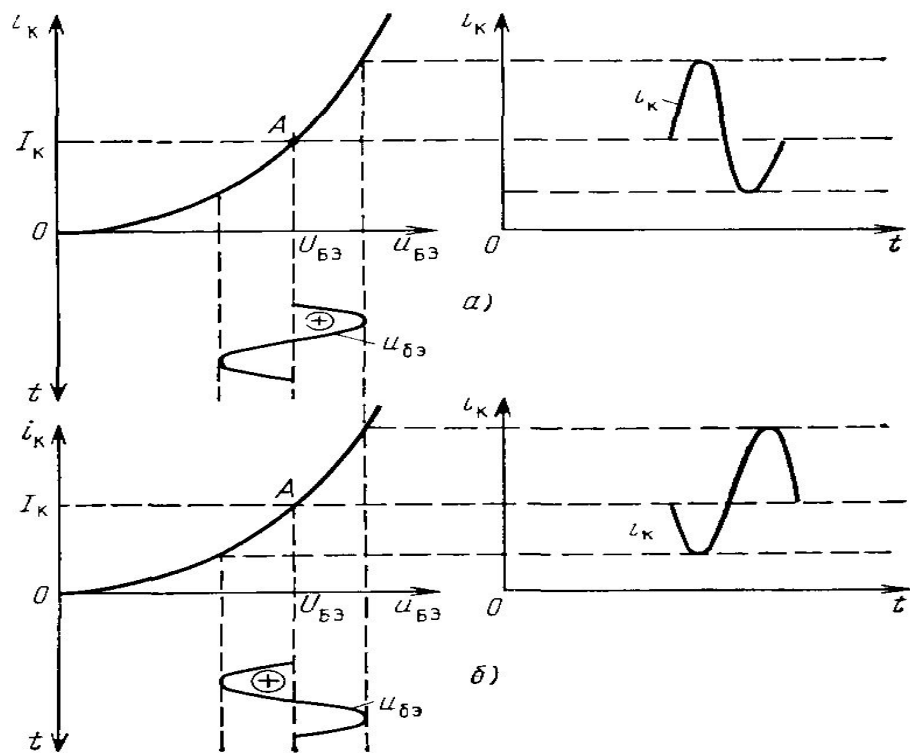
Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.



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**.

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

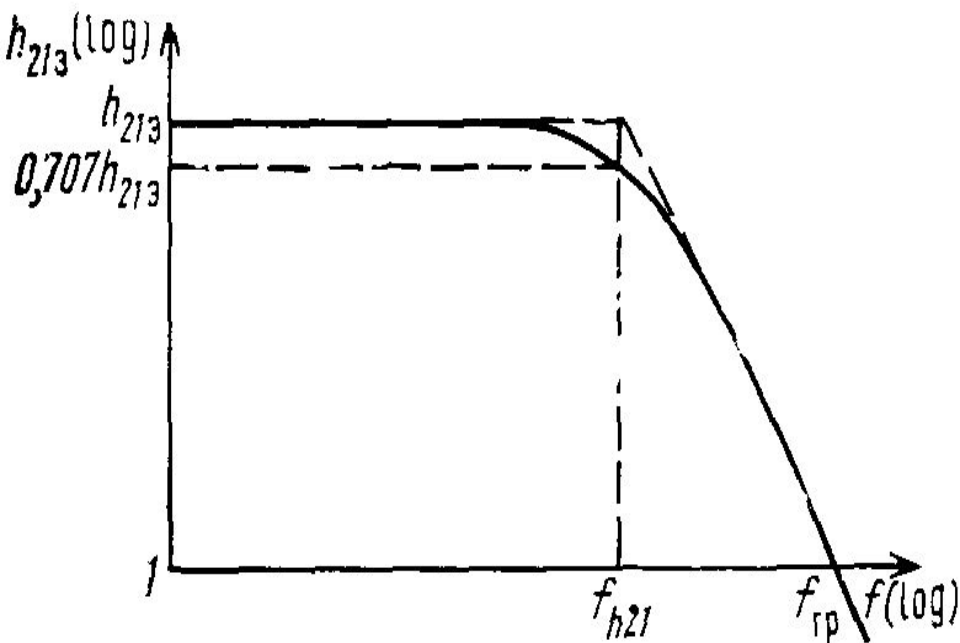
При этом вводится понятие номинального напряжения и номинальной выходной мощности.

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

Коэффициенты усиления тока и напряжения в схеме с общим эмиттером

РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.

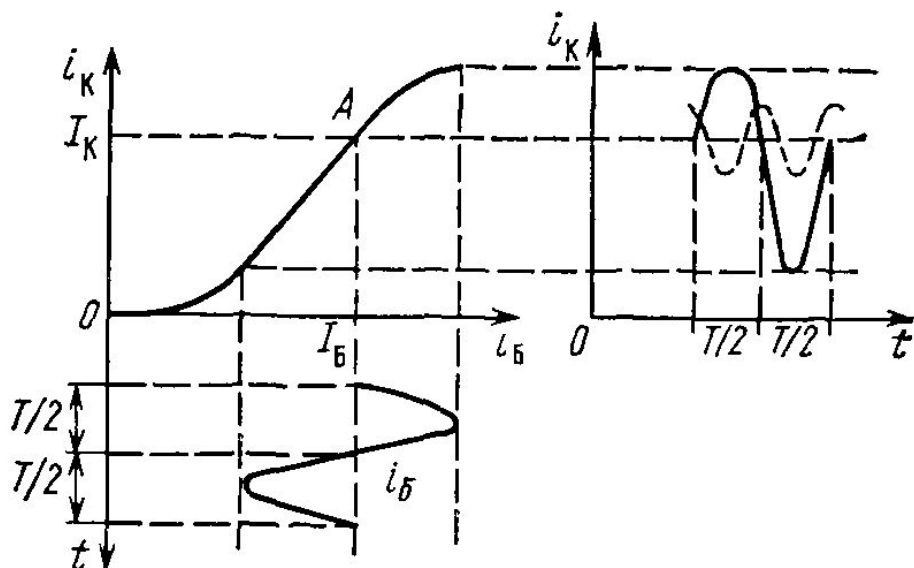


Зависимость коэффициента усиления тока от частоты

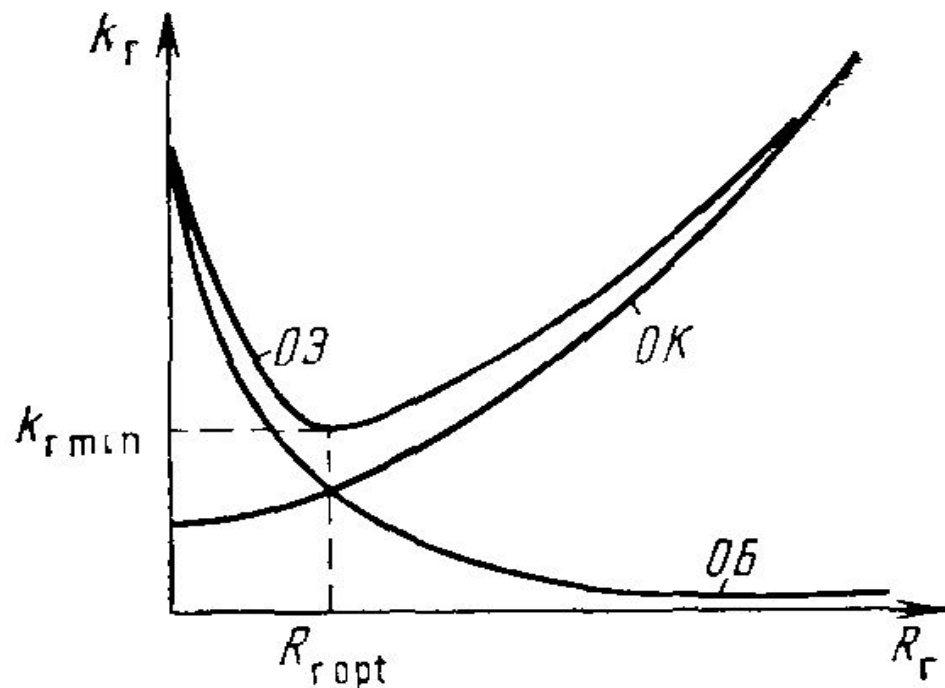
Зависимость входного сопротивления от частоты

РАБОТА УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАСКАДЕ

Схемы включения биполярного транзистора и их свойства.



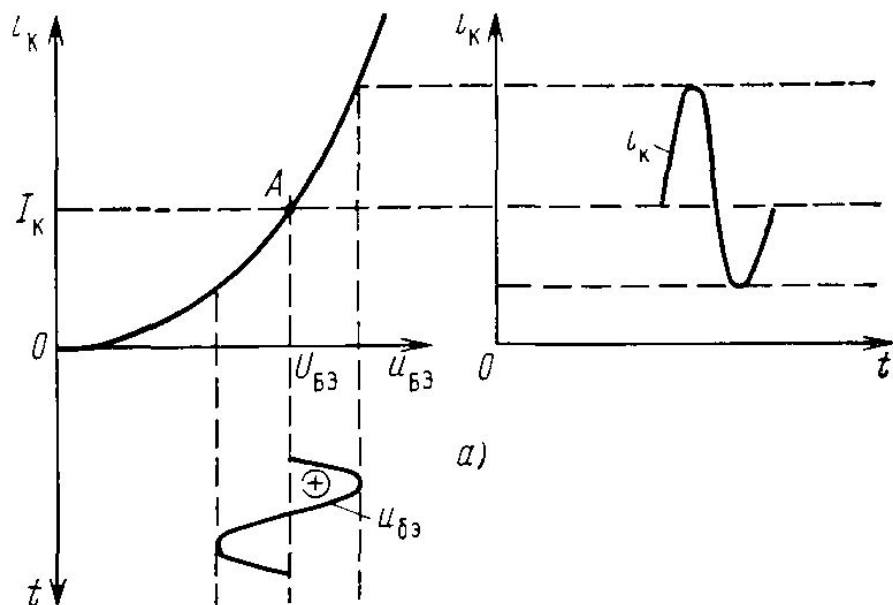
Характер нелинейных искажений при возбуждении каскада с общим эмиттером гармоническим током



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

$$\xi_i = I_{Км} / I_{К ср} < 1$$

КПД

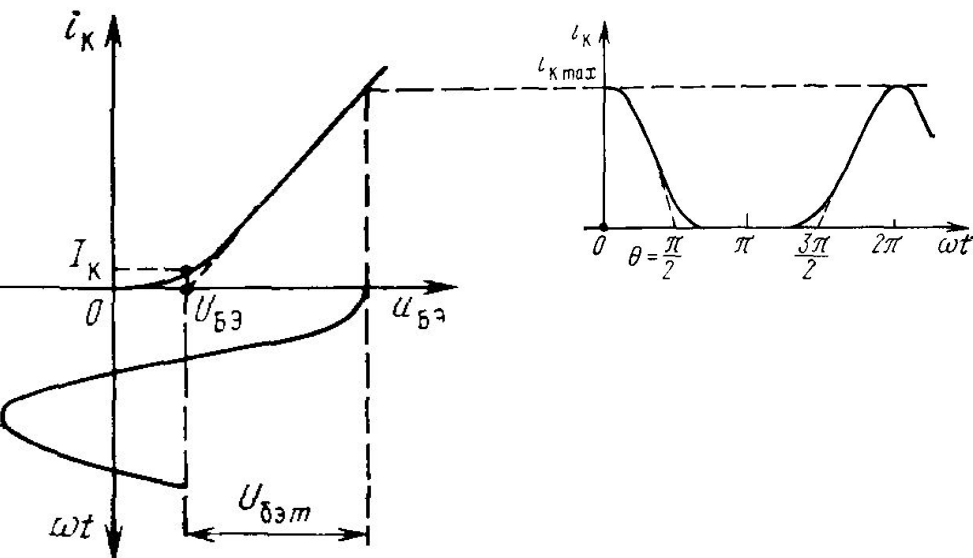
$$\eta = \frac{P_H}{P_{оК}} = \frac{0,5 U_{КЭ м} I_{К м}}{U_{КЭ} I_{К ср}} = \frac{U_{КЭ м} I_{К м}}{2 U_{КЭ} I_{К}}$$

Коэффициент использования напряжения

$$\xi_U = U_{КЭ м} / U_{К} < 1$$

РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Режим В.



ВАХ и временные зависимости выходного тока для режима Б.

Коэффициент использования тока

$$\xi_i = I_{Kм} / I_{K\text{ ср}} < 1$$

КПД

$$\eta = \frac{P_H}{P_{oK}} = \frac{0,5 U_{KЭ м} I_{K м}}{U_{KЭ} I_{K\text{ ср}}} = \frac{U_{KЭ м} I_{K м}}{2 U_{KЭ} I_K}$$

Коэффициент использования напряжения

$$\xi_U = U_{KЭ м} / U_K < 1$$

РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

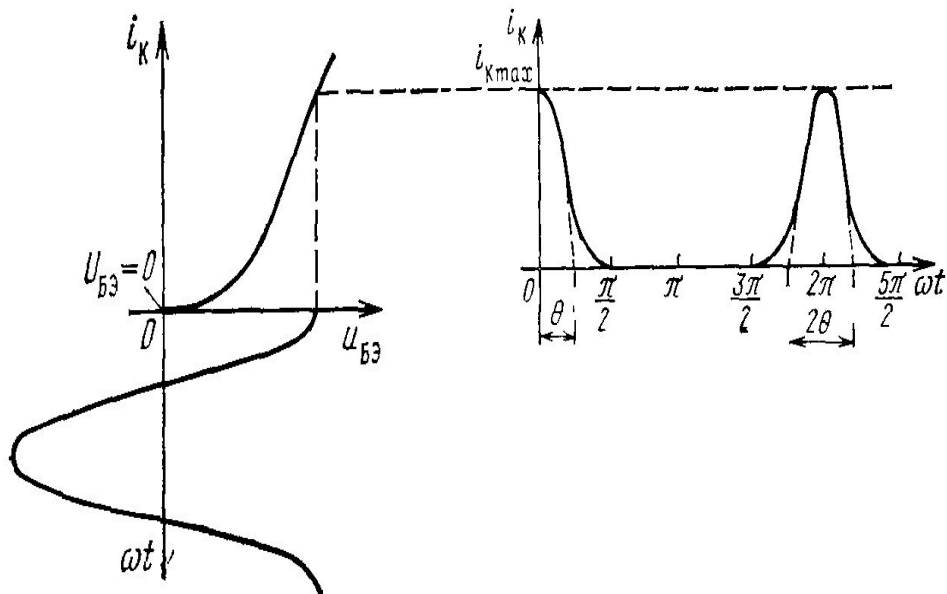
Режим С.

Коэффициент использования тока

$$\xi_i \approx 2$$

КПД

$$\eta \approx 100\%$$



ВАХ и временные зависимости выходного тока для режима Б.

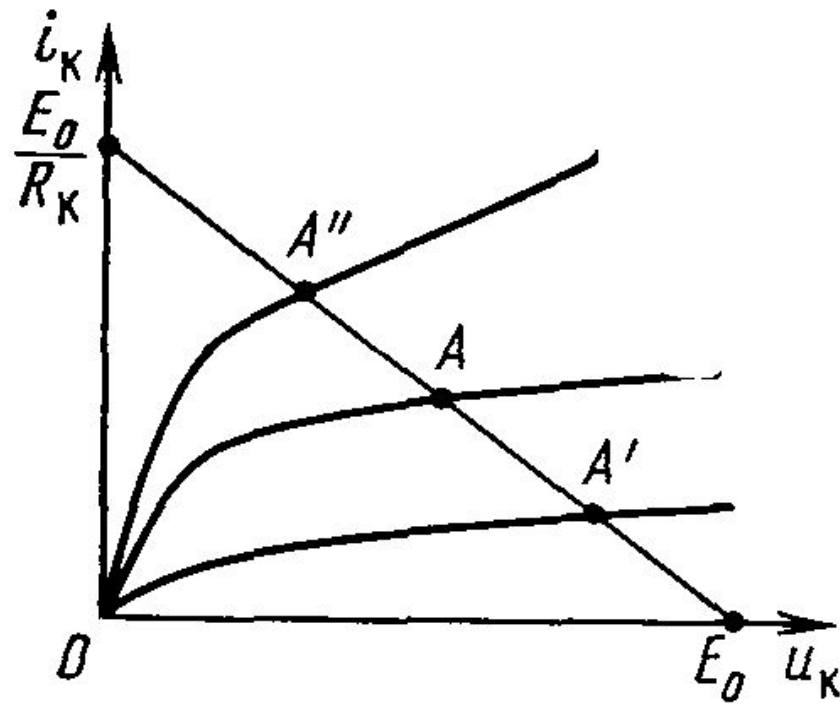
РЕЖИМЫ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

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.

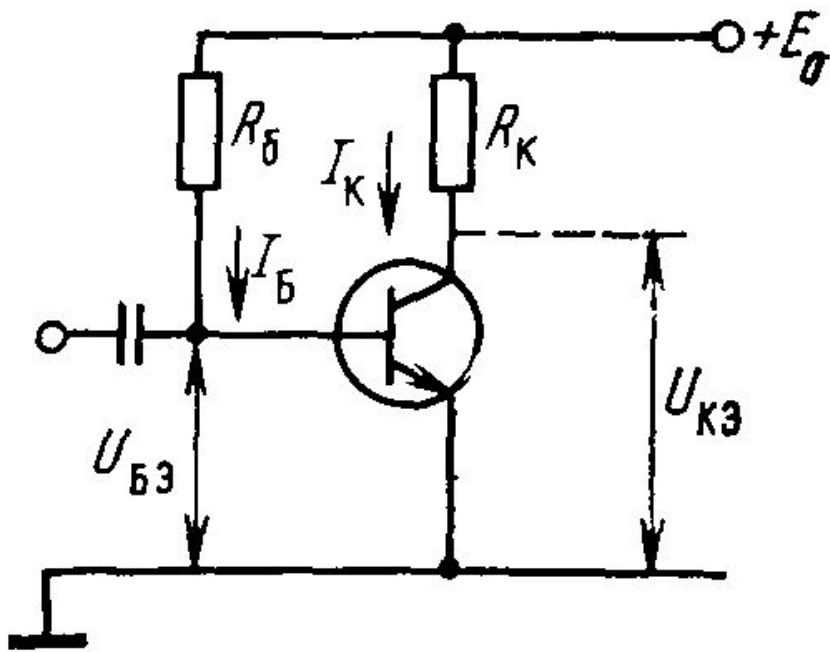


Схема смещения с фиксацией тока базы.

Выражения для тока базы:

$$I_B = (E_0 - U_B) / R_B$$

Известно, что для транзистора:

$$I_{\text{Э}} = I_B + I_{\text{К}}, \quad I_{\text{К}} = -h_{21\text{Б}} I_{\text{Э}} + I_{\text{КБ0}}$$

Из этого получим:

$$I_{\text{К}} = -\frac{h_{21\text{Б}} I_B}{1 + h_{21\text{Б}}} + \frac{I_{\text{КБ0}}}{1 + h_{21\text{Б}}}$$

Из этого получим:

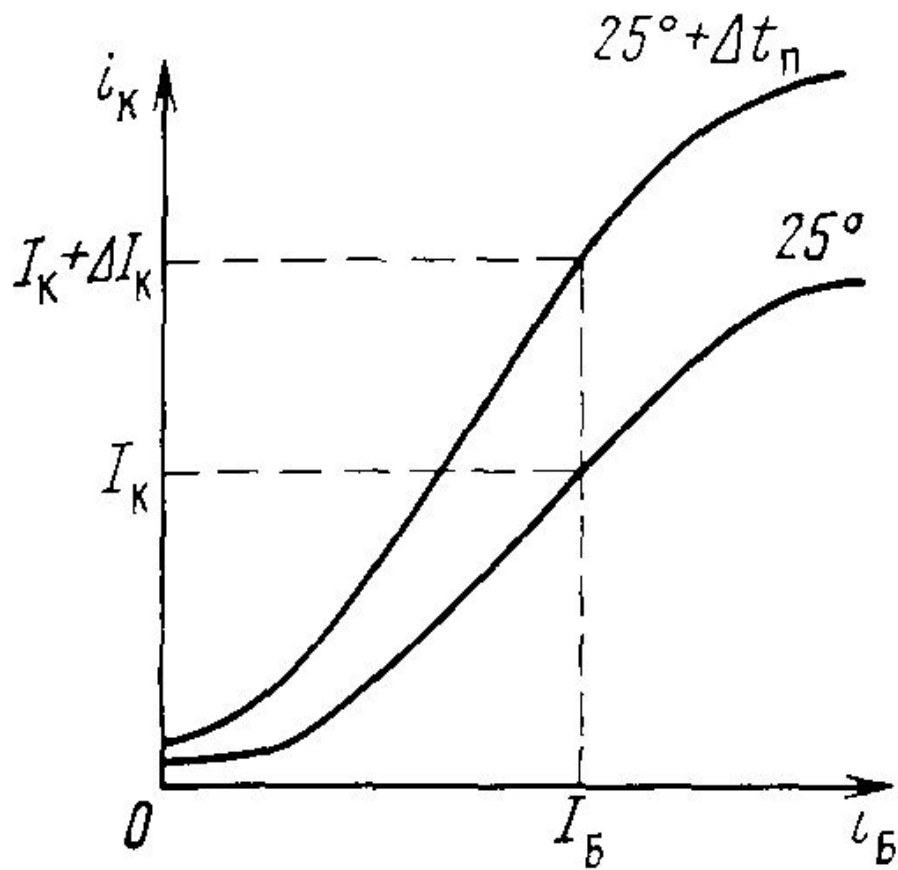
$$I_{\text{К}} = h_{21\text{Э}} I_B + (1 + h_{21\text{Э}}) I_{\text{КБ0}}$$

Обратный ток коллектора зависит от температуры:

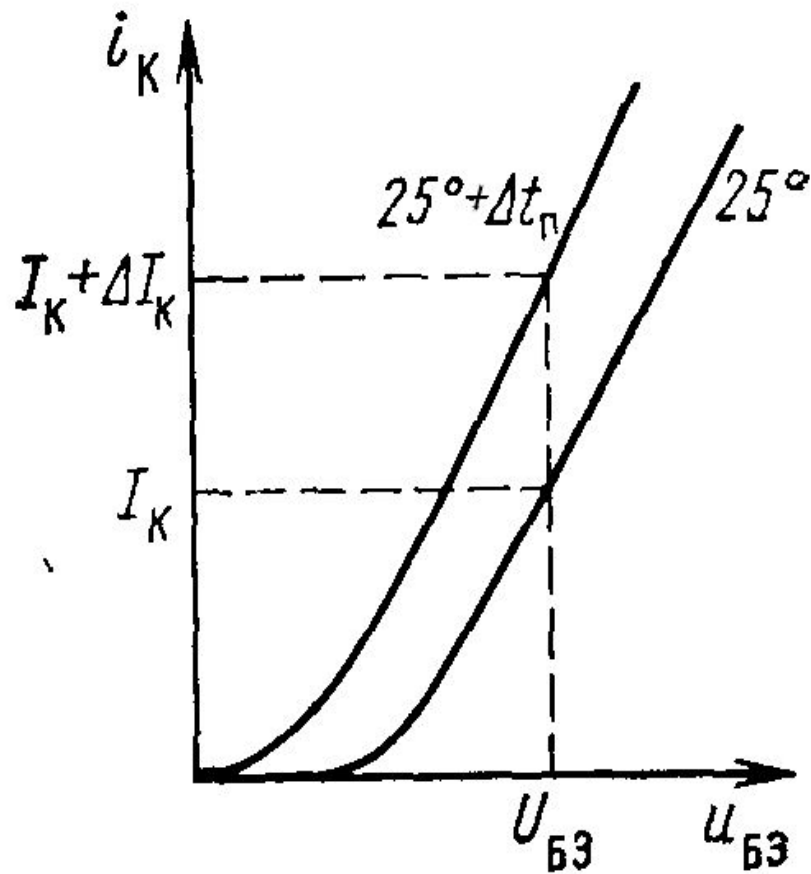
$$I_{\text{КБ0}}^t = I_{\text{КБ0}} \cdot 10^{\alpha(t_{\text{П}} - 25^\circ)}$$

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.

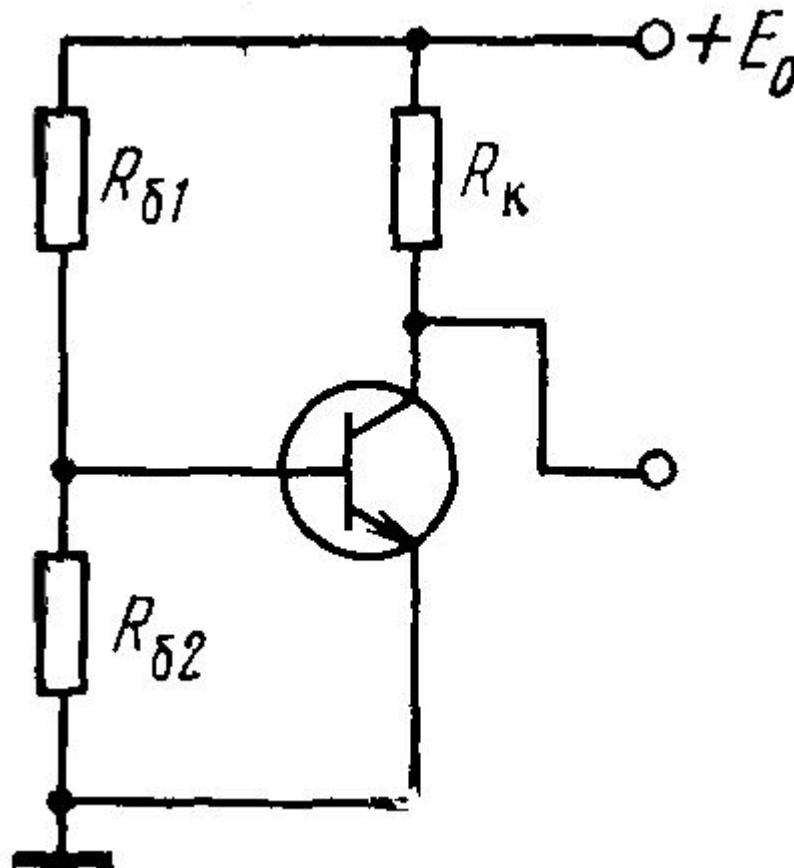
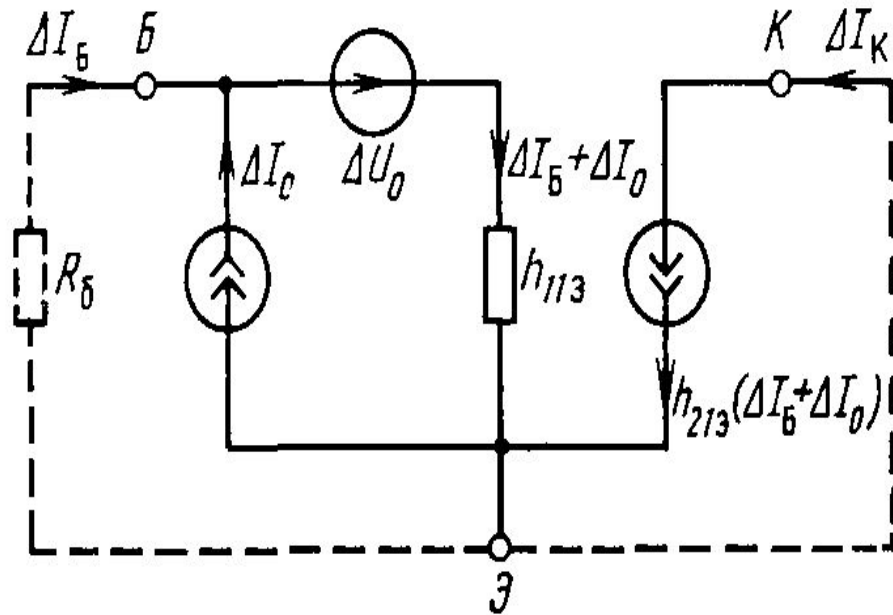


Схема подачи напряжения на базу с помощью делителя напряжения.

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:

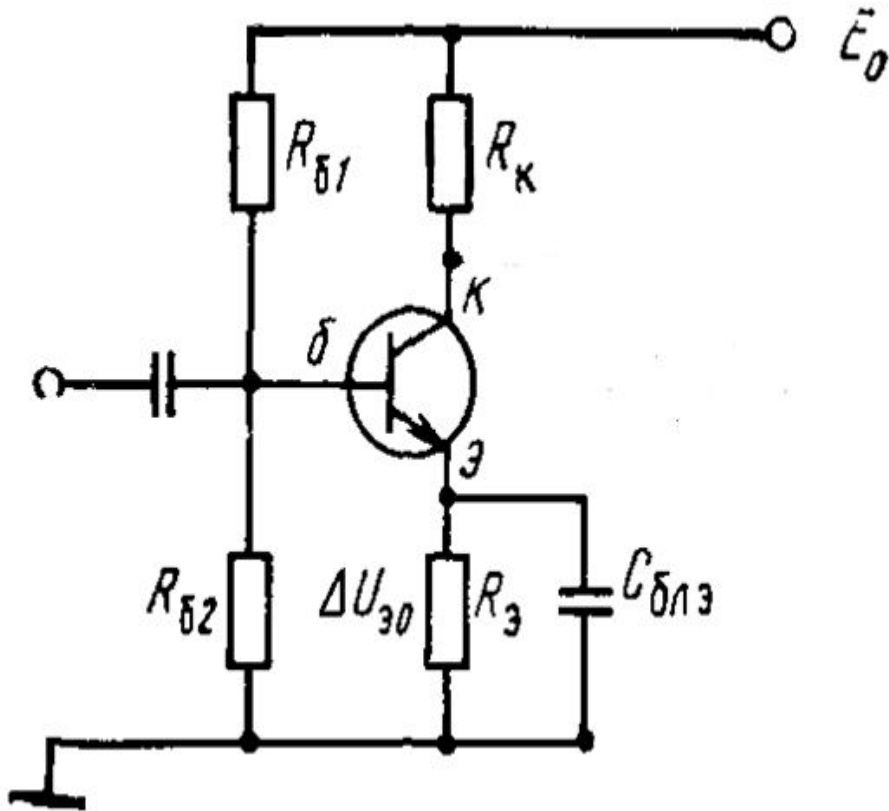
$$\Delta I_K = h_{21\varepsilon} (\Delta I_B + \Delta I_0) = h_{21\varepsilon} (\Delta U_0 + R_б \Delta I_0) / (h_{11\varepsilon} + R_б)$$

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.



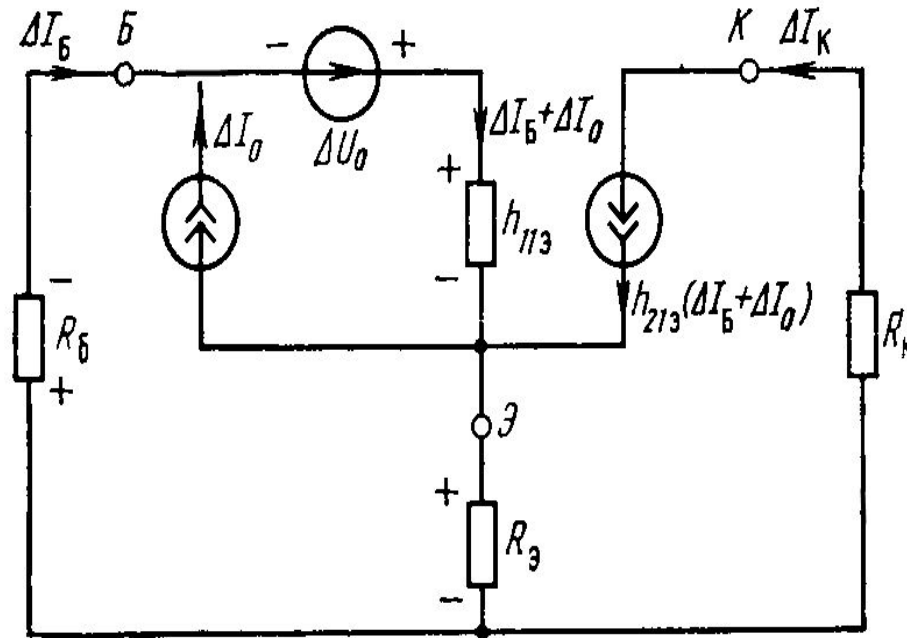
Часть напряжения, передаваемого на базу, стремится уменьшить коллекторный ток.

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

Цепь с эмиттерной стабилизацией.

ЦЕПИ ПИТАНИЯ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с эмиттерной стабилизацией.



Эквивалентная схема цепи питания с эмиттерной стабилизацией.

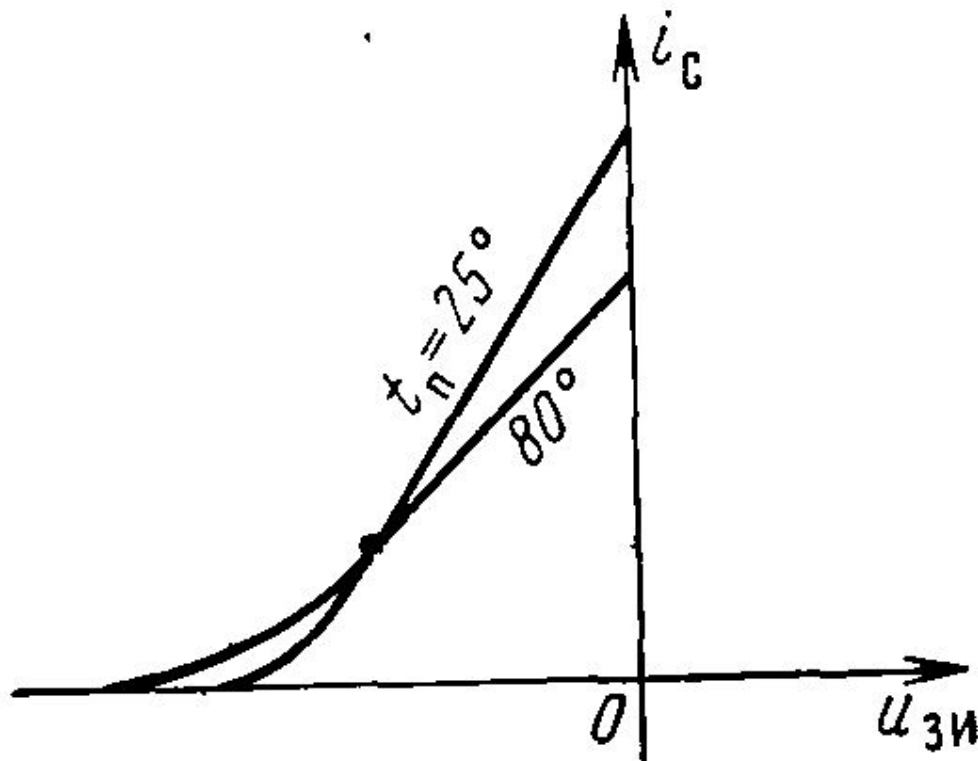
Контурное уравнение.

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

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

Нестабильность коллекторного тока.

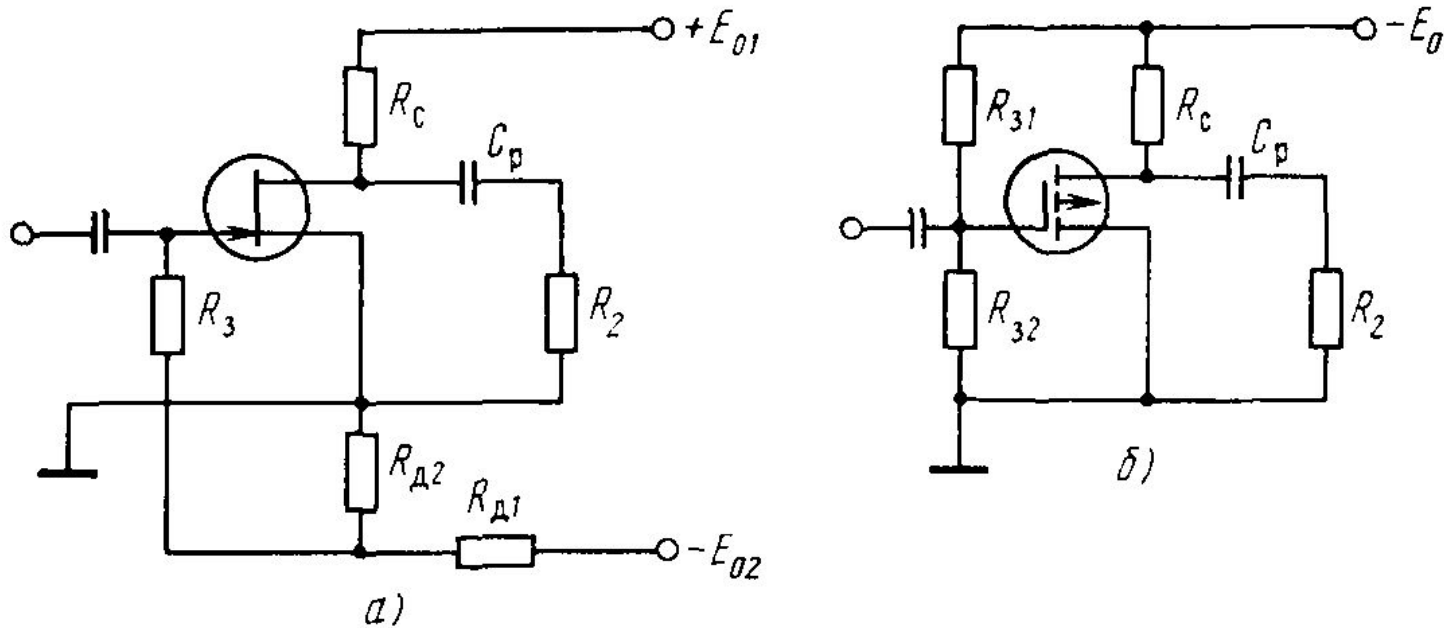
ЦЕПИ ПИТАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ



Влияние температуры на характеристики прямой передачи.

ЦЕПИ ПИТАНИЯ ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Цепи смещения с фиксацией напряжения на затворе.



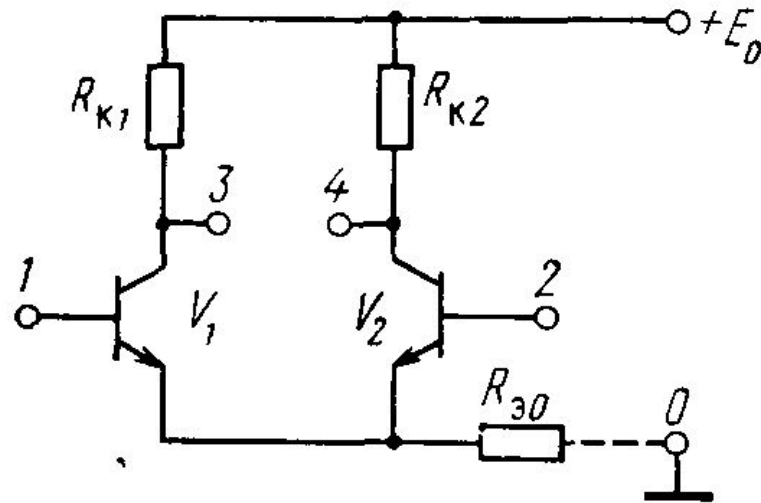
Схемы цепей питания с фиксацией напряжения на затворе. а-полевой транзистор с управляющим $p-n$ переходом. б-полевой транзистор с индуцированным каналом.

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

$$U_{3И} \approx R_{д2} E_{0И} / (R_{д1} + R_{д2})$$

$$U_{3И} \approx R_{32} E_0 / (R_{31} + R_{32})$$

ЦЕПИ ПИТАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Нестабильности параметров.

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

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

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

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

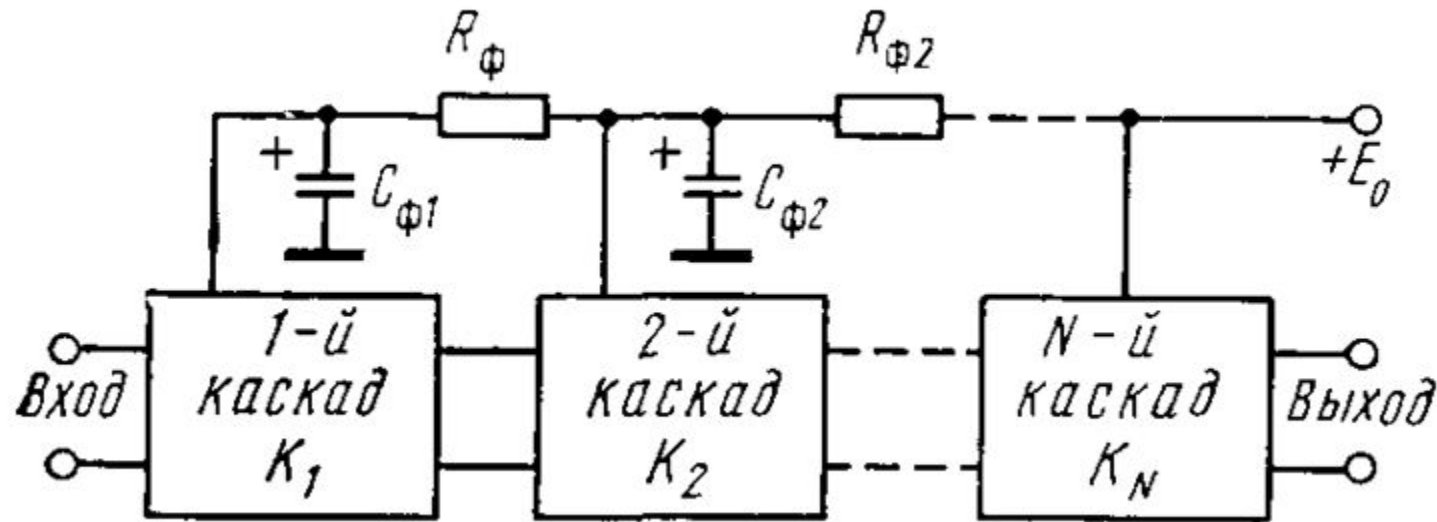


Схема цепи питания с фильтрующими звеньями.

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

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