

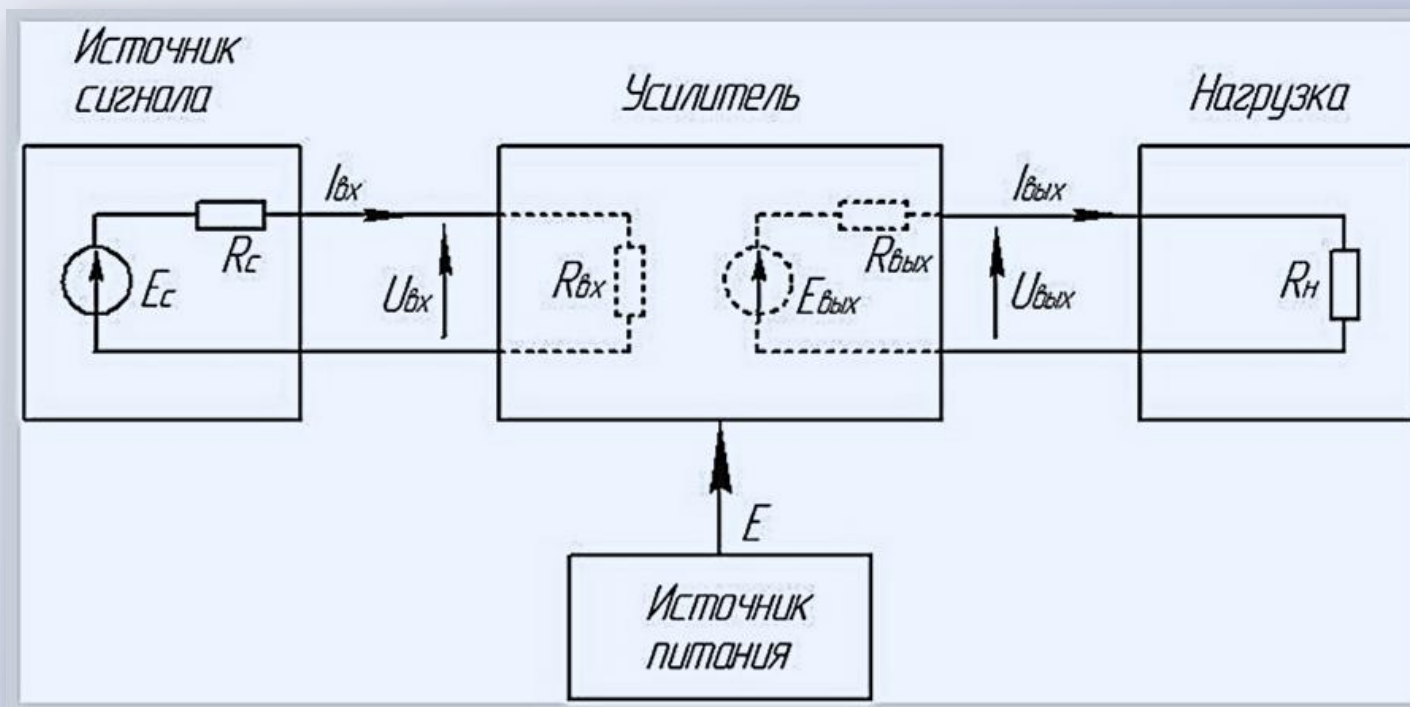
ЭЛЕКТРОНИКА

Лектор:

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

УСИЛИТЕЛИ

Усилителем электрических сигналов называется устройство, предназначенное для усиления мощности сигнала, поданного на его вход.

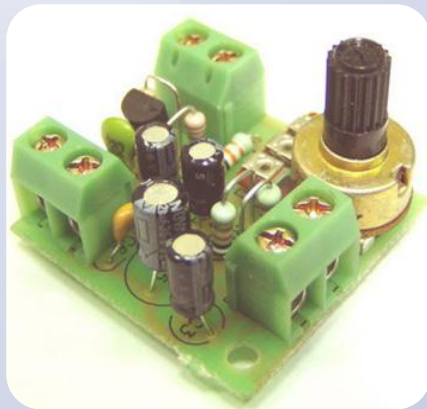


Процесс усиления основан на преобразовании активным элементом (биполярным, полевым транзистором, лампой) **энергии источника постоянного напряжения в энергию переменного напряжения на нагрузке** при изменении сопротивления активного элемента под действием входного сигнала.

Классификация усилителей



Усилитель
НЧ
12Вт



Микрофонный
усилитель



Усилитель
видеосигнала

Усилители

По характеру усиливаемого сигнала

По электрическому параметру
усиливаемого сигнала

По типу усилительного элемента

По ширине полосы усиливаемых
частот

По назначению

По числу каскадов

По конструктивному выполнению

**ПО ХАРАКТЕРУ
УСИЛИВАЕМОГО
СИГНАЛА**

**Усилители
гармонических сигналов**
(гармонические
усилители)

*предназначены для усиления
непрерывных во времени сигналов,
которые можно представить суммой
гармонических колебаний*

**Усилители импульсных
сигналов**
(импульсные усилители)

*предназначены для сигналов, уровень
которых меняется настолько **быстро**,
что переходный процесс является
определяющим для усиленного сигнала*



**ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ
ПАРАМЕТРУ
УСИЛИВАЕМОГО
СИГНАЛА**



усилители напряжения

усилители тока

усилители мощности



**ПО ТИПУ УСИЛИТЕЛЬНОГО
ЭЛЕМЕНТА**

транзисторные усилители

ламповые усилители

параметрические усилители

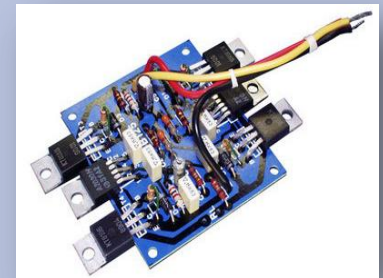
квантовые усилители

магнитные усилители

**ПО ЧИСЛУ
УСИЛИТЕЛЬНЫХ
КАСКАДОВ**

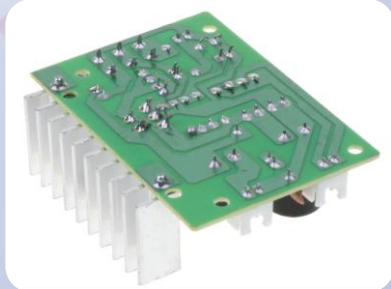
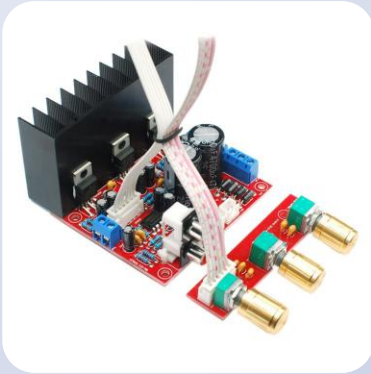
однокаскадные усилители

многокаскадные усилители



ПО ШИРИНЕ ПОЛОСЫ И АБСОЛЮТНЫМ ЗНАЧЕНИЯМ УСИЛИВАЕМЫХ ЧАСТОТ

Усилители постоянного тока,
усиливающие как переменную, так
и постоянную составляющие
сигнала (в УПТ низшая пропускная
частота равна нулю)



Усилители переменного тока, усиливающие
только переменную составляющую сигнала.
Эти усилители в зависимости от абсолютных
значений частот $f_{НЧ}$ и $f_{ВЧ}$ делятся на:

**Усилители звуковых
частот (УЗЧ),**
пропускающие полосу
частот от 16Гц до 20кГц

**Усилители высокой
частоты (УВЧ) –**
избирательные усилители,
характерным для них
является отношение

$$f_{ВЧ} / f_{НЧ} \approx 1$$

Также значения
усиливаемых частот выше
диапазона звуковых частот

**Усилители
инфранизких частот,**
обеспечивающие
усиление колебаний с
частотами доли герца

**Усилители
видеочастот,**
работающие в полосе
частот от 50Гц до 60МГц

**ПО НАЗНАЧЕНИЮ
УСИЛИТЕЛИ:**

- трансляционные
- микрофонные
- магнитофонные
- телевизионные
- измерительные
- проводного вещания
- линейные
- логарифмические
- дифференциальные и т.д.



ПО КОНСТРУКТИВНОМУ ВЫПОЛНЕНИЮ:

усилители, выполненные с помощью **дискретной технологии**, т.е. способом навесного или печатного монтажа

усилители, выполненные с помощью **интегральной микросхемотехники**

Основные показатели усилителей

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ УСИЛИТЕЛЕЙ

коэффициенты усиления (по напряжению, току и мощности)

входное и выходное сопротивления

выходная мощность

коэффициент полезного действия

номинальное входное напряжение (чувствительность)

диапазон усиливаемых частот

динамический диапазон амплитуд и уровень собственных помех

показатели, характеризующие нелинейные, частотные и фазовые искажения усиленного сигнала

Коэффициенты усиления

Коэффициентом усиления усилителя (K) называется величина, показывающая во сколько раз напряжение (ток, мощность) сигнала на выходе усилителя больше, чем на его входе.

- коэффициент усиления напряжения

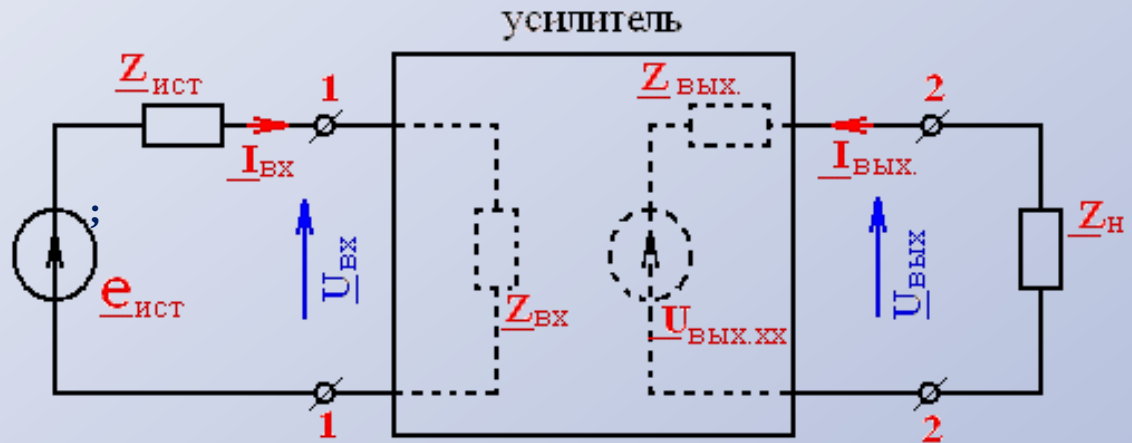
$$\dot{K}_U = \frac{\dot{U}_{вых}}{\dot{U}_{вх}}$$

- коэффициент усиления тока

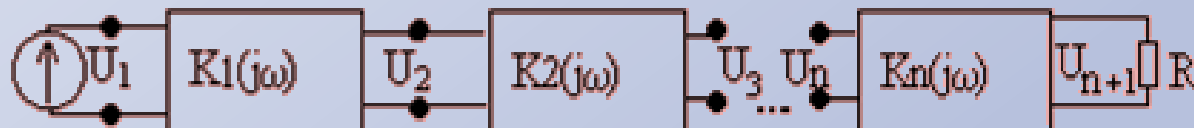
$$\dot{K}_I = \frac{\dot{I}_{вых}}{\dot{I}_{вх}}$$

- коэффициент усиления мощности

$$K_p = \frac{P_{вых}}{P_{вх}}$$



Для многокаскадных усилителей



$$K_{общ} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n$$

или

$$K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = \frac{U_{вых1}}{U_{вх1}} \cdot \frac{U_{вых2}}{U_{вх2}} \cdot \frac{U_{вых3}}{U_{вх3}} = \frac{U_{вых3}}{U_{вх1}}$$

Коэффициент усиления, выраженный в децибелах

$$K_u, \text{дб} = 20 \lg \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = 20 \lg K_u;$$

$$K_i, \text{дб} = 20 \lg \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = 20 \lg K_i;$$

$$K_p, \text{дб} = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = 10 \lg K_p.$$

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя

$$K_{\text{общ, дб}} = K_{1, \text{дб}} + K_{2, \text{дб}} + K_{3, \text{дб}} + \dots + K_{n, \text{дб}}$$

Обратный переход от децибел:

$$\text{для } K_u \text{ и } K_i: \quad K = 10^{\frac{K, \text{дб}}{20}}$$

$$\text{для } K_p: \quad K = 10^{\frac{K, \text{дб}}{10}}$$



Входное и выходное сопротивления

Входное сопротивление усилителя - сопротивление между входными зажимами усилителя

$$R_{ВХ} = \frac{U_{ВХ}}{I_{ВХ}}$$

Выходное сопротивление $R_{вых}$ определяют между выходными зажимами усилителя при отключенном сопротивлении нагрузки R_n .

Выходная мощность

$$P_{ВЫХ} = \frac{U_{ВЫХ}^2}{R_n} = U_{ВЫХ} * I_{ВЫХ} = I_{ВЫХ}^2 * R_n$$

Выходная мощность – это полезная мощность, развиваемая усилителем в нагрузочном сопротивлении.

Усилитель характеризуют максимальной мощностью, которую можно получить на выходе при условии, что искажения не превышают заданной (допустимой) величины. Эта мощность называется номинальной выходной мощностью усилителя.



Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_0} * 100\%$$

где P_0 - мощность, потребляемая усилителем от всех источников питания.

Номинальное входное напряжение (чувствительность)

Чувствительностью называется напряжение, которое нужно подвести к входу усилителя, чтобы получить на выходе заданную мощность.

Входное напряжение зависит от типа источника усиливаемых колебаний. Чем меньше величина входного напряжения, обеспечивающего требуемую выходную мощность, тем выше чувствительность усилителя.

Подача на вход усилителя напряжения, превышающего номинальное, приводит к значительным искажениям сигнала и называется **перегрузкой** со стороны входа.

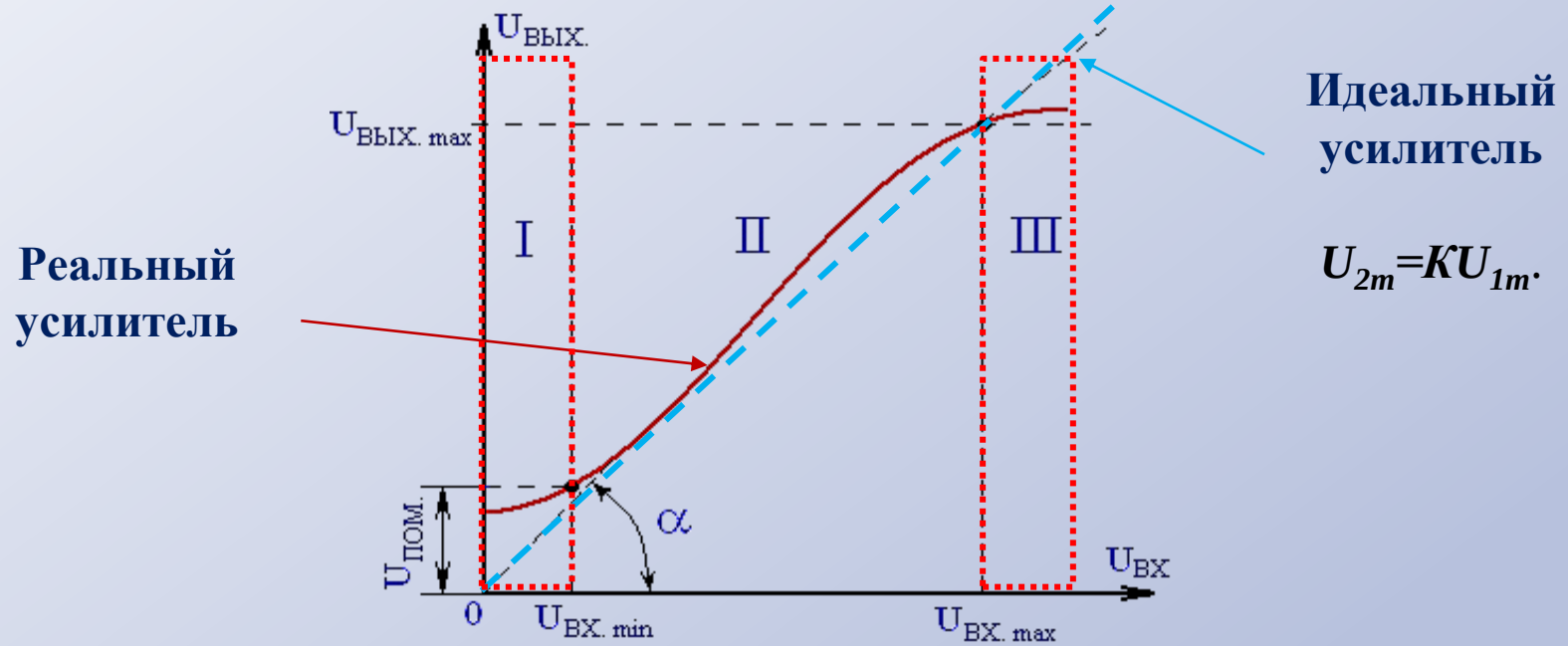
Диапазон усиливаемых частот

Диапазоном усиливаемых частот, или **полосой пропускания усилителя**, называется та область частот, в которой коэффициент усиления изменяется не больше, чем это допустимо по техническим условиям.

Допустимые изменения коэффициента усиления в пределах полосы пропускания зависят от назначения и условий работы усилителя.

Динамический диапазон

Амплитудная характеристика усилителя – это зависимость амплитуды выходного сигнала от амплитуды сигнала гармонического сигнала на входе, когда частота входного сигнала находится в рабочем диапазоне (область II).



Область I - область малых амплитуд входного сигнала.

Отличие состоит в том, что при $U_{1m}=0$ выходной сигнал $U_{2m} > 0$. Это связано с усилением собственных внутренних шумов и внешних электромагнитных наводок на элементах усилителя.

Область III – это область больших амплитуд входного сигнала.

Отличия связаны с нелинейностью вольт – амперных характеристик активных элементов. Их выходной сигнал не может превысить напряжения питания.

Динамический диапазон

Из АХ вытекает два параметра усилителя:

1. Динамический диапазон усилителя:

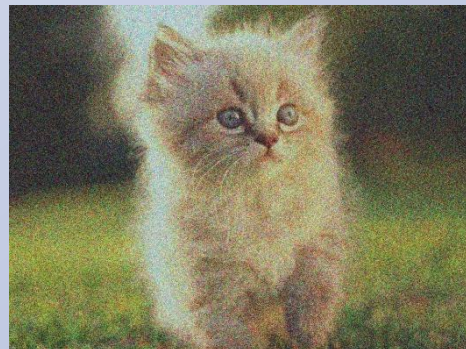
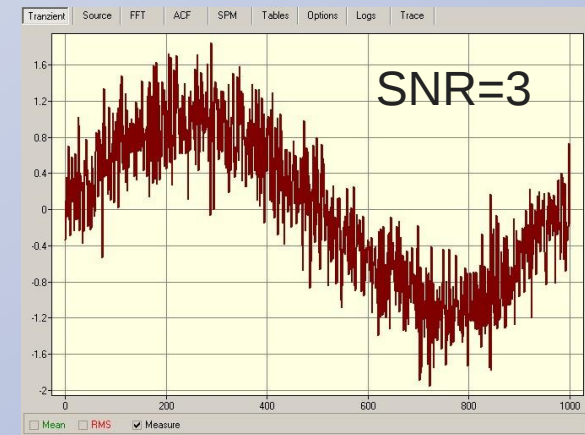
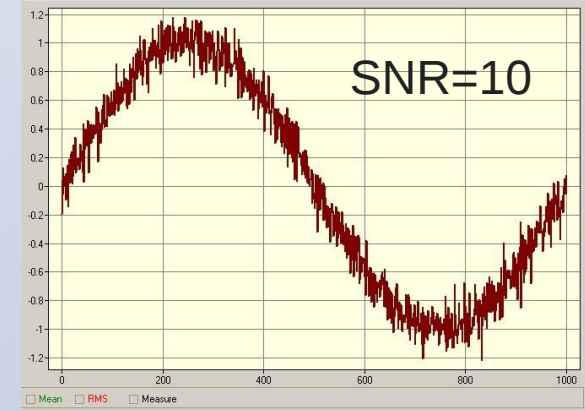
$$D = U_{\text{вх max}} / U_{\text{вх min}}$$

Чем больше D, тем качественнее усилитель.

2. Чувствительность:

1) **Номинальная** – величина входного сигнала, при котором на выходе обеспечивается номинальная мощность.

2) **Пороговая** – минимальный входной сигнал, при котором выходной сигнал однозначно определяется над уровнем шумов усилителя. **Пороговую чувствительность** определяют, когда отношение сигнал/шум (SNR) равно 1 - ее называют **предельная чувствительность усилителя**.



Уровень собственных помех усилителей

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОМЕХ

Тепловые шумы

В проводниках и полупроводниках электроны движутся хаотически в разных направлениях. Преимущественное движение электронов в любом направлении является электрическим током и, следовательно, при этом создается напряжение, не подчиняющееся какому-либо определенному закону, его назвали напряжением шумов. Оно имеет самые различные частоты и фазы, поэтому охватывает всю полосу частот усилителя. Шум тем больше, чем выше температура и больше величина сопротивления цепи, которая создает напряжение тепловых шумов. Вычисления показывают, что величина напряжения тепловых шумов очень мала, они сказываются лишь при больших коэффициентах усиления.

Шумы усилительных элементов

Напряжение шумов может возникать из-за неравномерности движения носителей электрических зарядов через усилительный элемент. Это явление называют дробовым эффектом.

Помехи из-за пульсаций напряжения питания и наводок со стороны внешних электрических и магнитных полей

Уменьшение этих помех может быть достигнуто применением дополнительных сглаживающих фильтров на выходе источников питания и тщательной экранировкой наиболее ответственных цепей усилителя (главным образом входных)

Искажения в усилителях



Основной причиной появления нелинейных искажений в усилителе является нелинейность характеристик усилительных элементов (ламп, транзисторов), а также характеристик намагничивания транзисторов и дросселей с сердечниками.

Частотные искажения возникают из-за непостоянства коэффициента усиления. Идеальный неискажающий усилитель должен иметь постоянный коэффициент усиления.

Нелинейные искажения в усилителях

Степень нелинейных искажений усилителя обычно оценивают величиной коэффициента нелинейных искажений (коэффициента гармоник)

$$\gamma\% = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \cdot 100\%,$$

где $I_1(U_1)$, $I_2(U_2)$, $I_3(U_3)$ и т.д. – действующие (или амплитудные) значения первой, второй, третьей и т.д. гармоник тока (напряжения) на выходе усилителя.

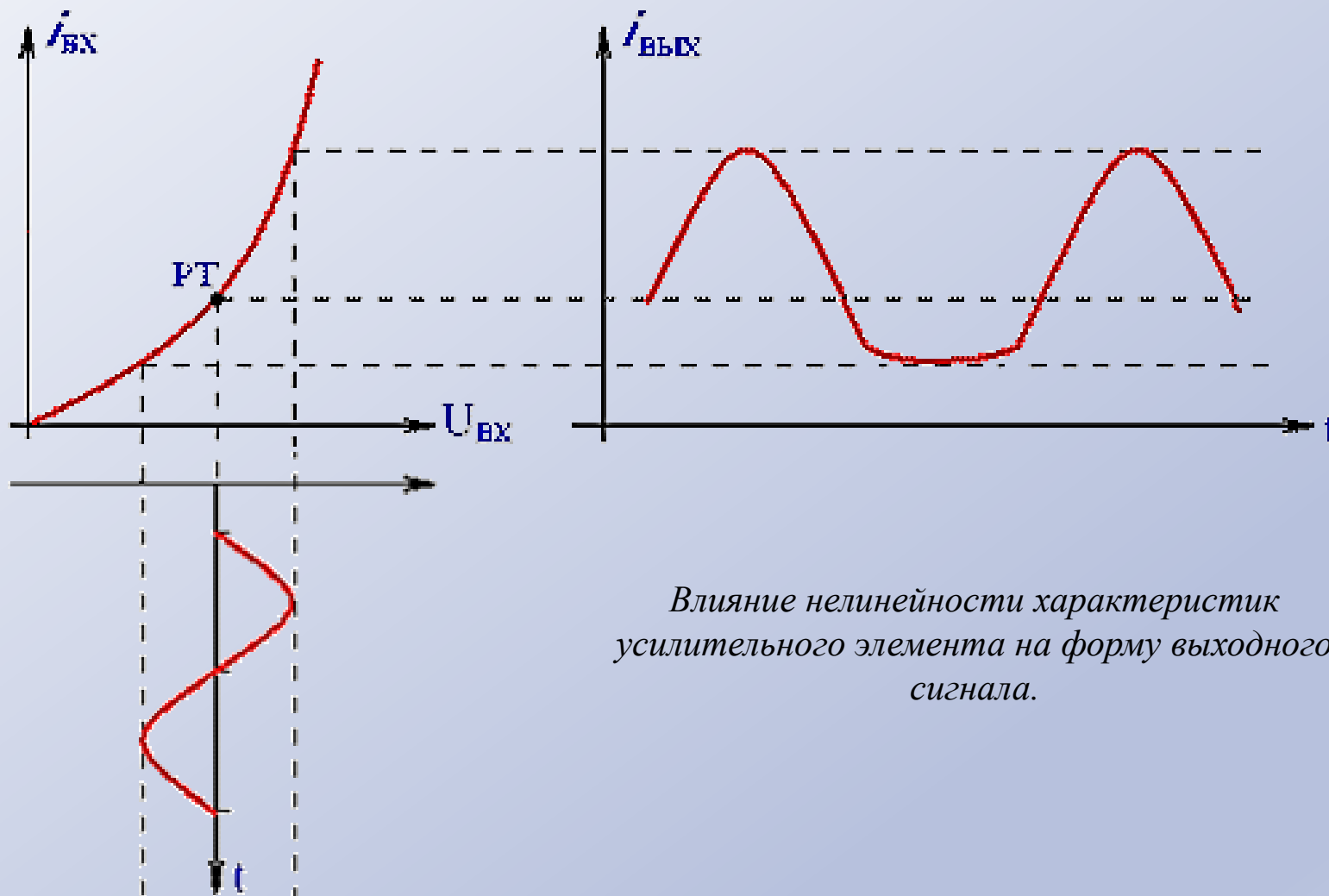
Если усилитель – многокаскадный, то

$$\gamma\%_{\text{общ}} = \gamma_1\% + \gamma_2\% + \dots + \gamma_n\%,$$

$\gamma_1\%$, $\gamma_2\%$, ..., $\gamma_n\%$ — нелинейные искажения, вносимые каждым каскадом усилителя.

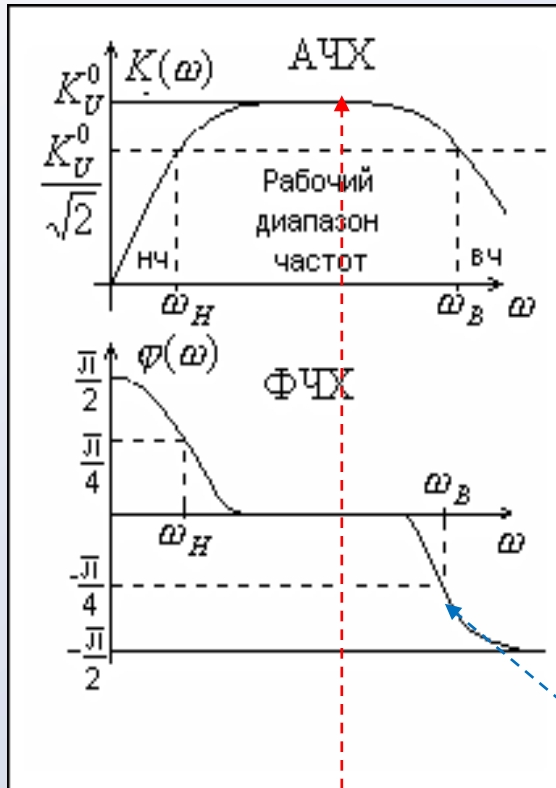
Допустимая величина коэффициента нелинейных искажений полностью зависит от назначения усилителя!

Нелинейные искажения в усилителях



*Влияние нелинейности характеристик
усилительного элемента на форму выходного
сигнала.*

Линейные искажения в усилителях



Частотные искажения, вносимые усилителем, оценивают по его амплитудно-частотной характеристике, представляющей собой зависимость коэффициента усиления от частоты усиливаемого сигнала.

В зависимости от типа и назначения усилителя формы частотных характеристик могут быть различными.

Частотная характеристика коэффициента усиления по напряжению

При воздействии на усилитель гармонического сигнала коэффициент усиления оказывается зависящим от частоты.

$$\dot{K}_U(j\omega) = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \frac{U_{2m}e^{j\phi_2}}{U_{1m}e^{j\phi_1}} = \dot{K}(\omega)e^{j\phi(\omega)}$$

Частотной характеристикой коэффициента усиления является комплексной функцией от частоты и характеризуется:

АЧХ:

$$K(\omega) = \frac{U_{2m}}{U_{1m}}$$

ФЧХ:

$$\phi(\omega) = \phi_2 - \phi_1$$

Линейные искажения в усилителях

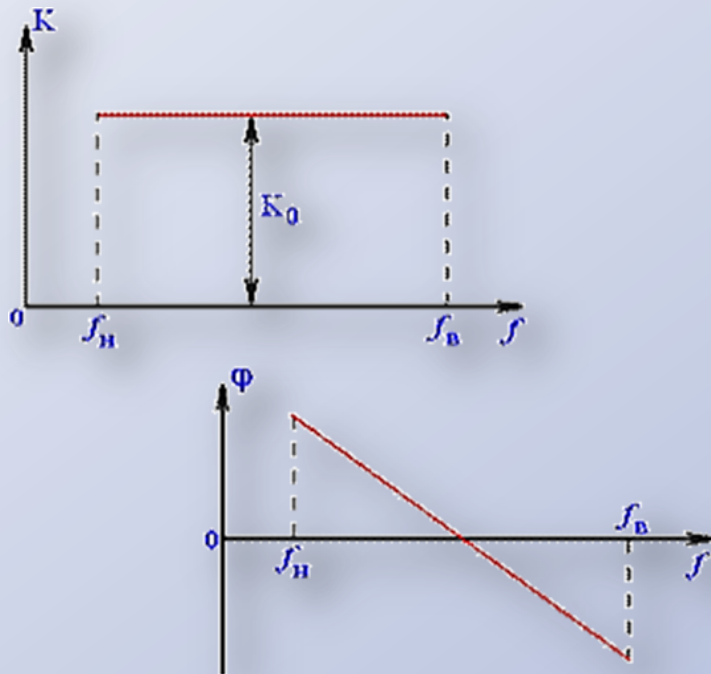
По частотной характеристике определяют:

1. K_u^0 - коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот.
2. $\omega_{\text{в}}$, $\omega_{\text{н}}$ - верхняя и нижняя граничные частоты рабочего диапазона частот

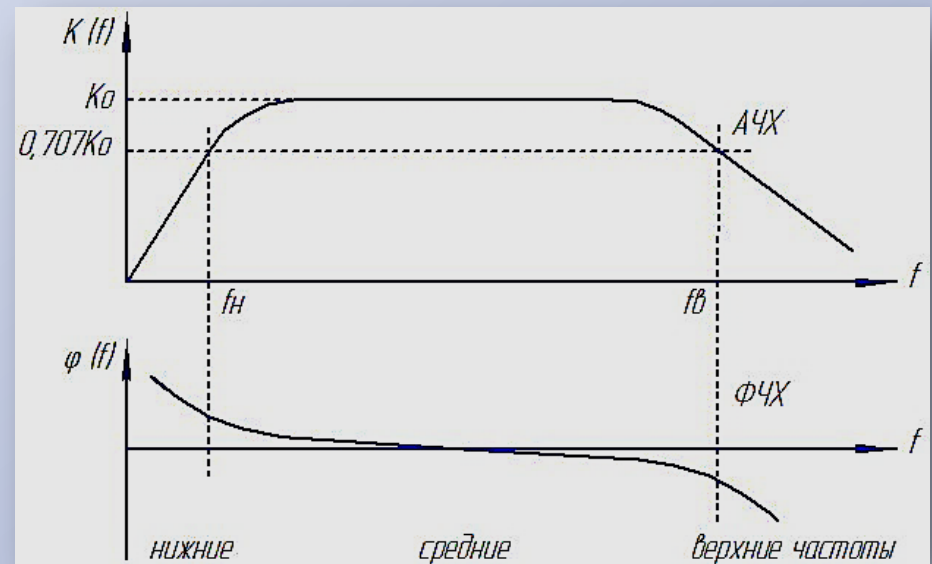
$$\frac{K_U(\omega_{\text{ср}})}{K_U^0} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

3. $\Delta\omega = \omega_{\text{в}} - \omega_{\text{н}}$ - диапазон рабочих частот

Идеальные частотные характеристики



Реальные частотные характеристики





Частотные искажения - степень отклонения реальной частотной характеристики от идеальной.

*Степень искажений на отдельных частотах выражается **коэффициентом частотных искажений** M , равным отношению коэффициента усиления на средней частоте K_0 к коэффициенту усиления на данной частоте K_f*

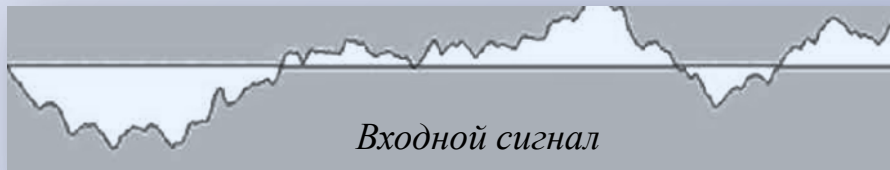
$$M = \frac{K_0}{K_f}$$

Обычно небольшие частотные искажения возникают на границах диапазона частот f_n и f_e . **Коэффициенты частотных искажений** в этом случае равны

$$M_n = \frac{K_0}{K_n};$$

$$M_e = \frac{K_0}{K_e},$$

где K_n и K_e – соответственно коэффициенты усиления на нижних и верхних частотах диапазона.



Коэффициент частотных искажений многокаскадного усилителя

$$M_{\text{общ}} = M_1 \cdot M_2 \cdot M_3 \cdot \dots \cdot M_n$$

Коэффициент частотных искажений, в децибелах:

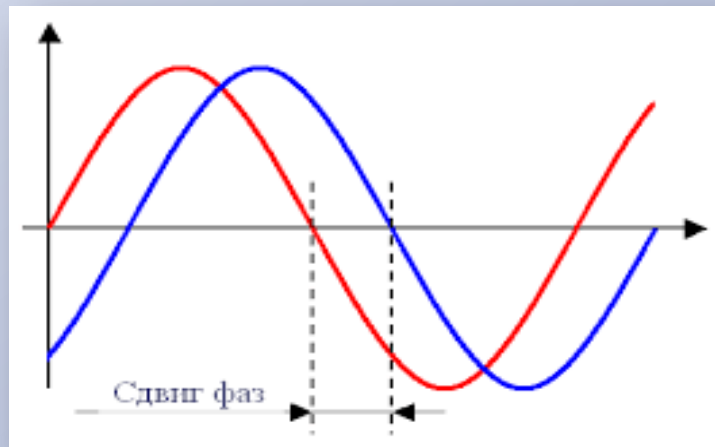
$$M_{\text{дб}} = 20 \cdot \lg M$$

В случае *многокаскадного усилителя*

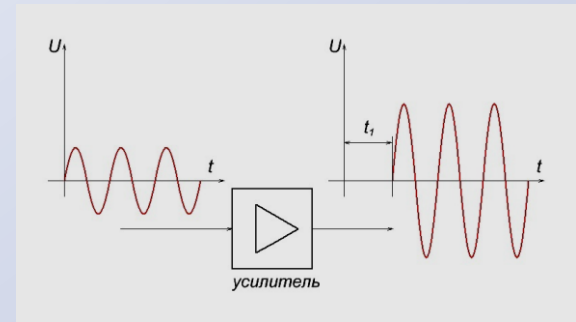
$$M_{\text{общ,дб}} = M_{1,\text{дб}} + M_{2,\text{дб}} + \dots + M_{n,\text{дб}}$$

Следует иметь в виду, что частотные искажения в усилителях всегда сопровождаются появлением сдвига фаз между входным и выходным сигналами, т. е. фазовыми искажениями.

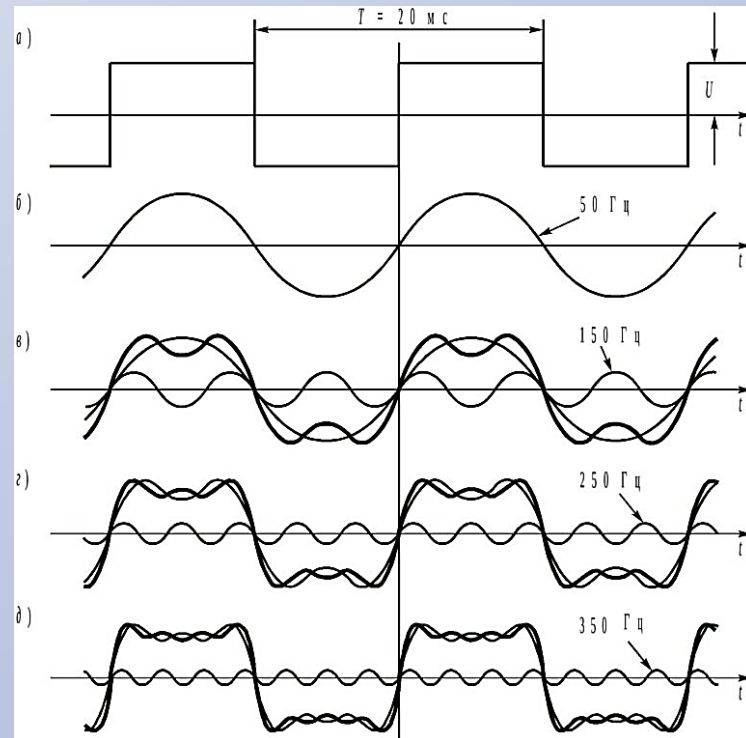
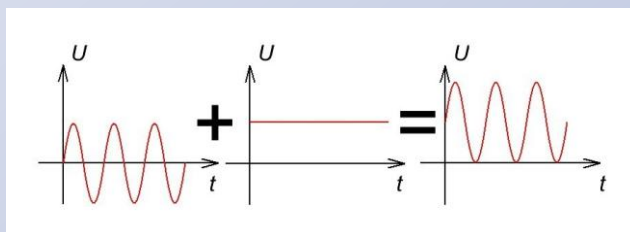
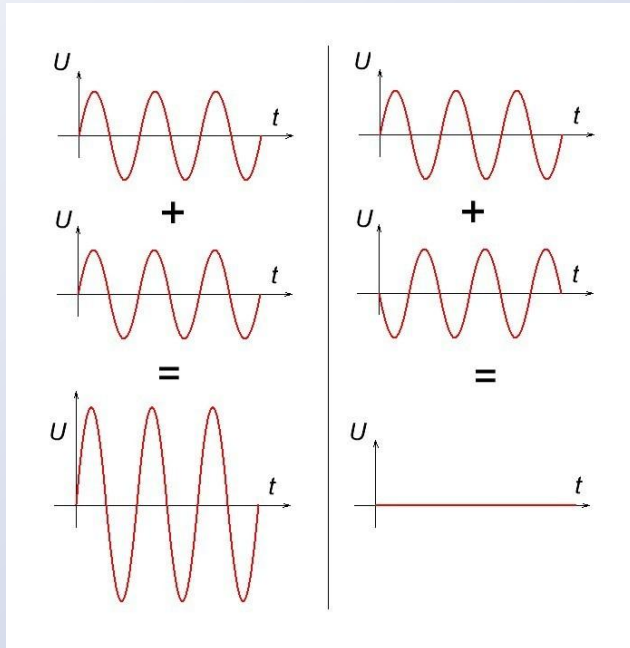
Под фазовыми искажениями обычно подразумевают лишь сдвиги, создаваемые реактивными элементами усилителя, а поворот фазы самим усилительным элементом во внимание не принимается.



Фазовые искажения возникают из-за того, что разные частоты с разной задержкой по времени появляются на выходе усилителя. Какие-то частоты запаздывают больше, а какие-то меньше.

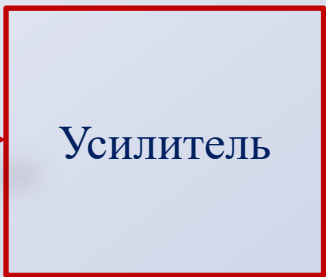
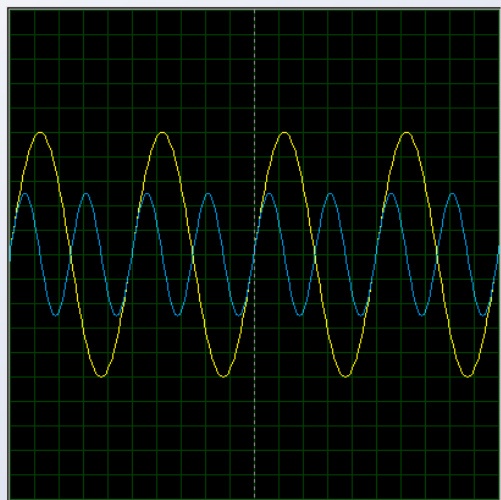


СЛОЖНЫЕ СИГНАЛЫ СОСТОЯТ ИЗ СУММЫ МНОЖЕСТВА СИНУСОИД РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТ И АМПЛИТУД!

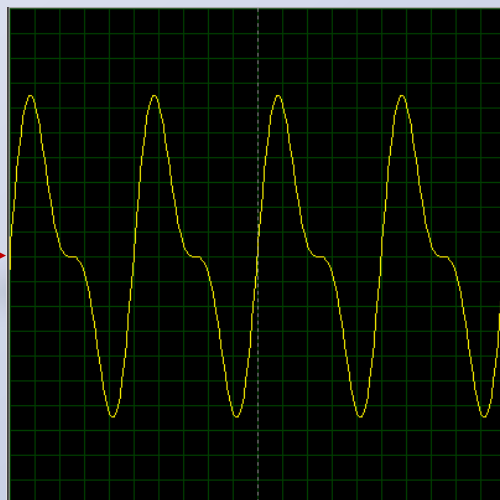


Составляющие прямоугольного сигнала

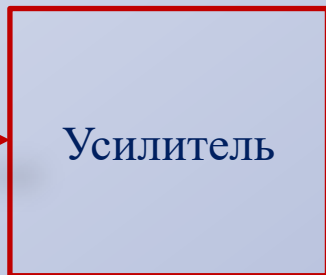
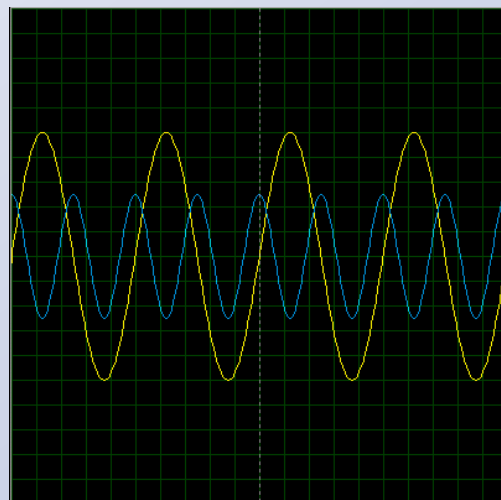
Входной сигнал= желтый+синий



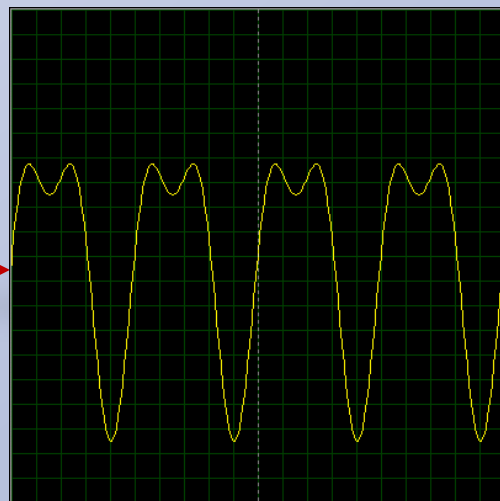
Выходной сигнал



Входной сигнал= желтый+синий
СДВИГ ФАЗ



Выходной сигнал

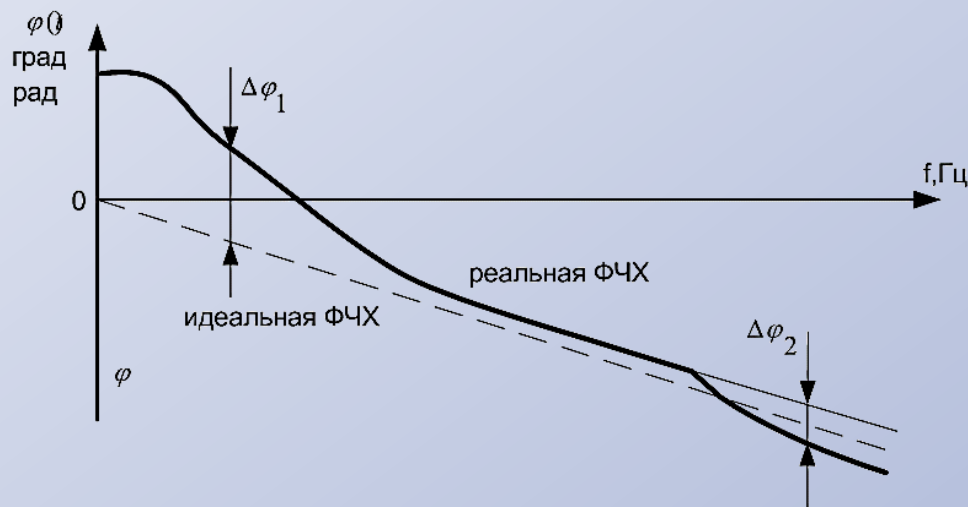


Это результат фазовых искажений

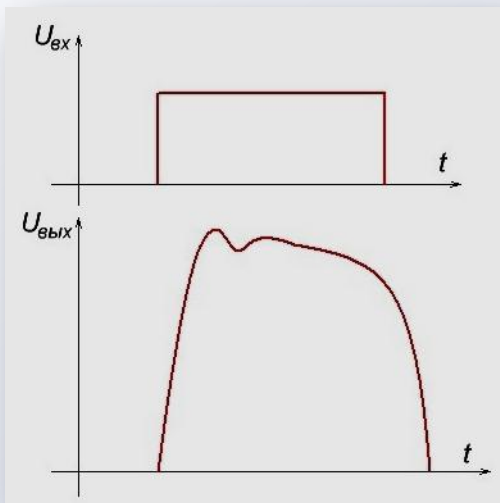
Фазовые искажения возникают из-за непостоянства фазового сдвига для различных гармонических составляющих. Они обычно жестко связаны с частотными искажениями и поэтому специальными параметрами их не оценивают.

Линейные искажения наблюдаются только при усилении сигнала сложной формы, т.е. сигналов, спектр которых содержит несколько гармонических составляющих.

Фазовые искажения, вносимые усилителем, оцениваются по его фазочастотной характеристике, представляющей собой график зависимости угла сдвига фазы φ между входным и выходным напряжениями усилителя от частоты f .

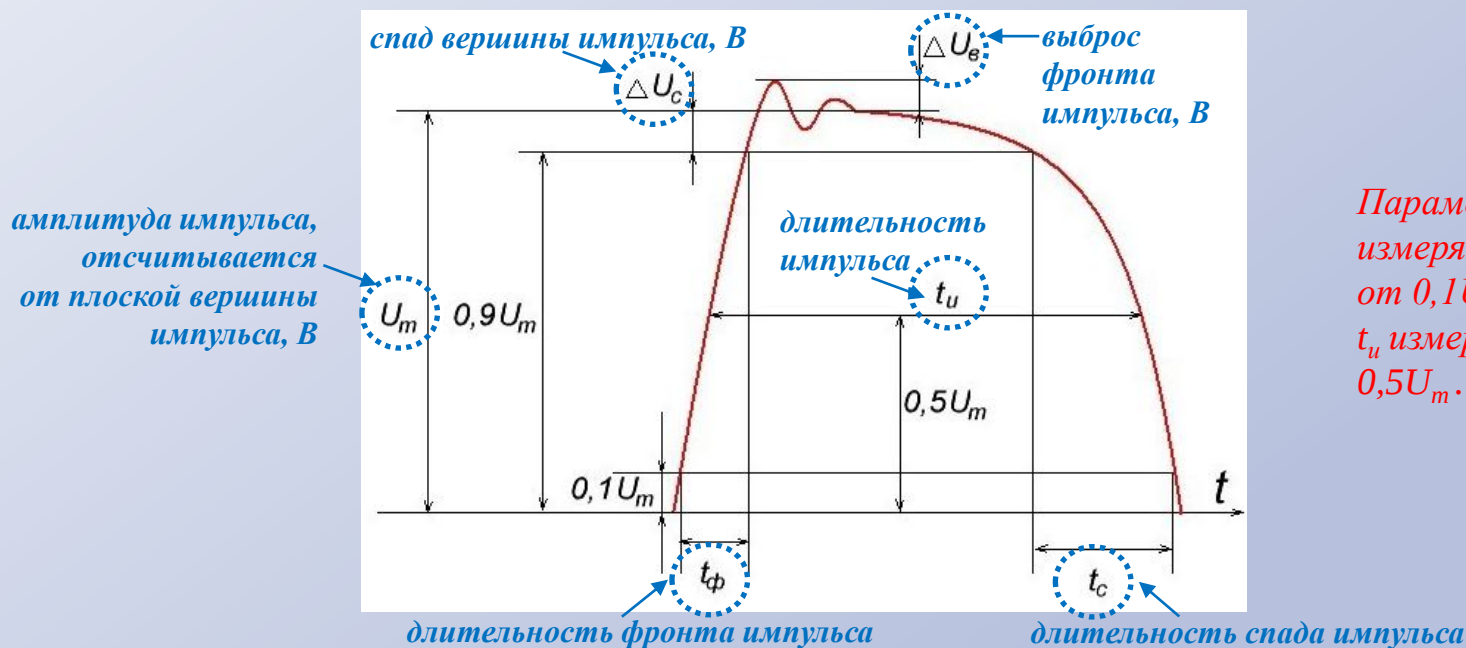


Фазовые искажения в усилителе отсутствуют, когда фазовый сдвиг линейно зависит от частоты. Идеальной фазочастотной характеристикой является прямая, начинающаяся в начале координат.



Переходным искажением называют искажение прямоугольного импульса, которое подается на вход усилителя. На выходе такой импульс будет иметь уже другую форму, вызванную искажением сигнала внутри самого усилителя.

Для оценки переходных искажений используют *переходную характеристику*. Она представляет из себя зависимость напряжения или тока на выходе усилителя от времени от подачи на его вход прямоугольного импульса.



Параметры t_{ϕ} и t_c измеряются в диапазоне от $0,1U_m$ и до $0,9U_m$. t_u измеряется на уровне $0,5U_m$.

Это искажения вызваны наличием в схеме усилителя реактивных радиоэлементов: катушек индуктивности и конденсаторов.

ИДЕАЛЬНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

1. $K_u, K_I \rightarrow \max$

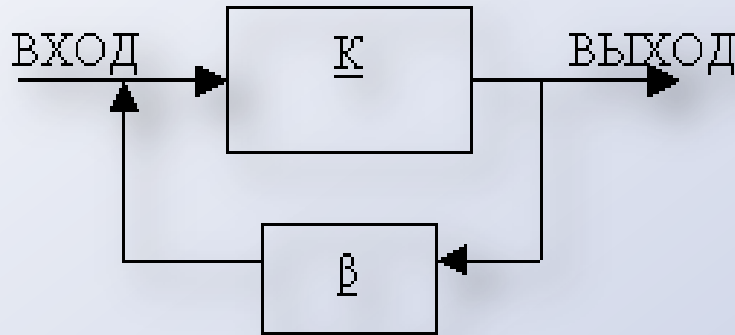
2. $R_{BX} \rightarrow \infty$

3. $R_{BIX} \rightarrow 0$

4. $KПД \rightarrow 100\%$

5. Отсутствуют, внутренние шумы, нелинейные, частотные и фазовые искажения.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ В УСИЛИТЕЛЯХ



Обратной связью (ОС) называется передача части выходного сигнала усилителя обратно во входную цепь.

ВИДЫ ОС

1. Внутренняя

имеет место во всех активных элементах и определяется их конструкцией и физическими процессами в них происходящими

2. Паразитная

обусловлена наличием паразитных индуктивно-емкостных (L, C) связей - путей, которые создают пути для передачи части выходного сигнала на вход

3. Внешняя

создается введением в схему специальных элементов

Варианты внешней ОС:

- только для медленно изменяющейся составляющей выходного сигнала;
- только для переменной составляющей его;
- для всего выходного сигнала.

ВНЕШНЯЯ ОС

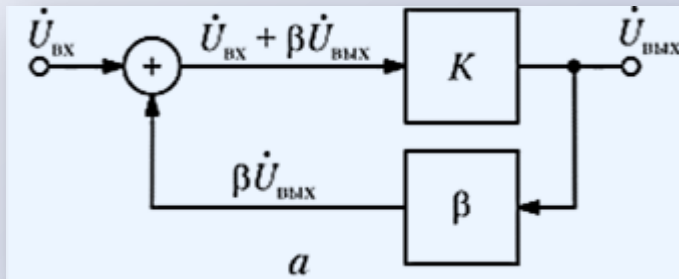
ПОЗВОЛЯЕТ:

1. Увеличить стабильность коэффициента усиления

2. Расширить диапазон усиляемых частот

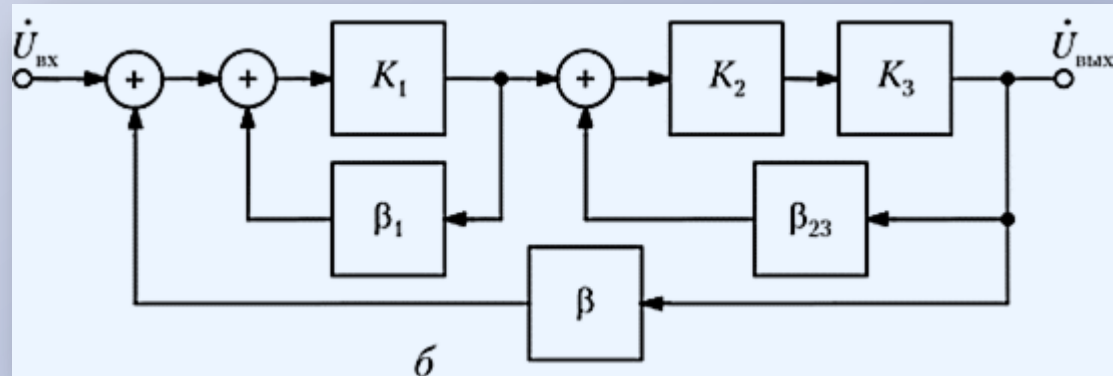
3. Уменьшить искажение, создаваемое усилителем

4. Управлять входным и выходным сопротивлением в нужном направлении



Петлей обратной связи называют замкнутый контур, включающий в себя цепь ОС и часть усилителя между точками ее подключения.

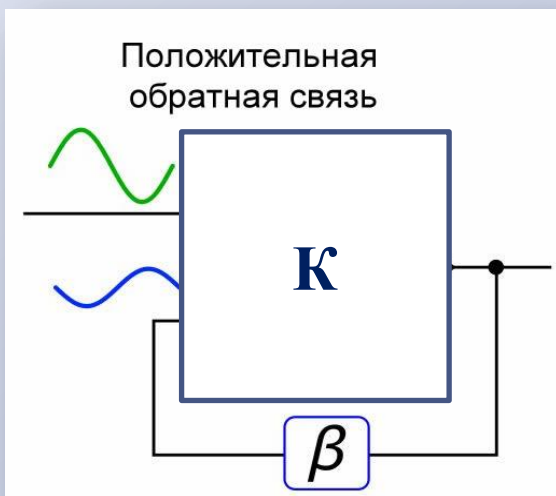
Местной обратной связью принято называть ОС, охватывающую отдельные каскады или части усилителя, а общей обратной связью - такую ОС, которая охватывает весь усилитель.



ТИПЫ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

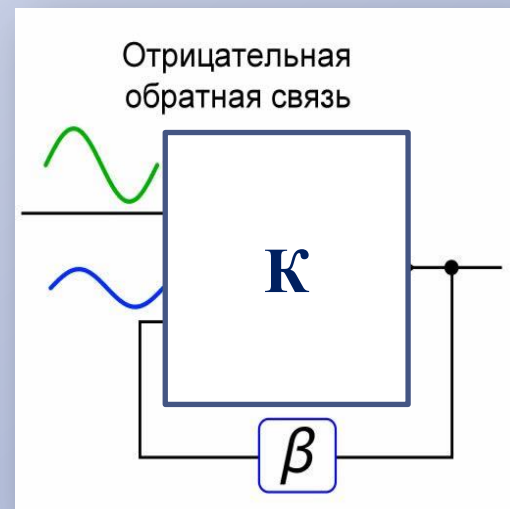
ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ

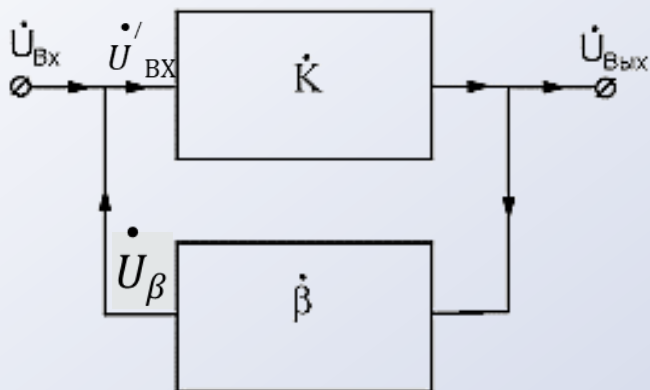
***ПОС** - если при положительных коэффициентах усиления входной сигнал и сигнал обратной связи складываются*



ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ

***ООС** - если при положительных коэффициентах усиления входной сигнал и сигнал обратной связи вычитаются*





$$\dot{K} = \frac{\dot{U}_{B\gamma X}}{\dot{U}'_{BX}}$$

$$\beta = \frac{\dot{U}_\beta}{\dot{U}_{B\gamma X}}$$

$$\dot{K}_{OC} = \frac{\dot{U}_{B\gamma X}}{\dot{U}_{BX}}$$

Положительная ОС

$$\dot{U}_\beta = +\beta \dot{U}_{B\gamma X}$$

Отрицательная ОС

$$\dot{U}_\beta = -\beta \dot{U}_{B\gamma X}$$

$$\dot{U}_\beta = \pm \beta \dot{U}_{B\gamma X}$$

$$\dot{U}'_{BX} = \dot{U}_{BX} + \dot{U}_\beta$$

$$\dot{U}'_{BX} = \dot{U}_{BX} + (\pm \beta \dot{U}_{B\gamma X})$$

$$\dot{U}_{BX} = \dot{U}'_{BX} - (\pm \beta \dot{U}_{B\gamma X})$$

$$\dot{K}_{OC} = \frac{\dot{U}_{ВЫХ}}{\dot{U}_{ВХ} - (\pm \beta \dot{U}_{ВЫХ})}$$

$$\dot{K}_{OC} = \frac{\dot{K}}{1 - (\pm \beta \dot{K})}$$

$1 - \beta \dot{K}$ - глубина обратной связи

$\pm \beta \dot{K}$ - фактор обратной связи
или коэффициент
петлевого усиления

Положительная ОС

$$\dot{U}_{\beta} = +\beta \dot{U}_{ВЫХ}$$

$$\dot{K}_{OC} = \frac{\dot{K}}{1 - \beta \dot{K}}$$

Отрицательная ОС

$$\dot{U}_{\beta} = -\beta \dot{U}_{ВЫХ}$$

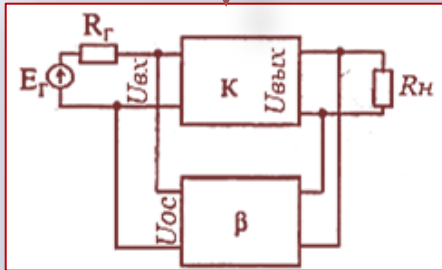
$$\dot{K}_{OC} = \frac{\dot{K}}{1 + \beta \dot{K}}$$

$$\varphi_{ПОС} = \psi_{U_{ВЫХ}} - \psi_{U_{ВХ}} = 180^0$$

$$\varphi_{ООС} = \psi_{U_{ВЫХ}} - \psi_{U_{ВХ}} = 0$$

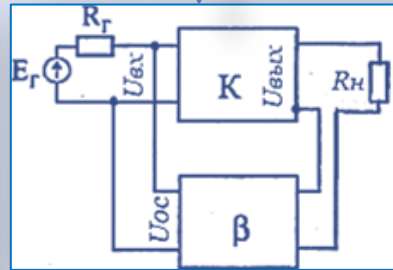
ВИДЫ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

параллельная обратная связь по напряжению



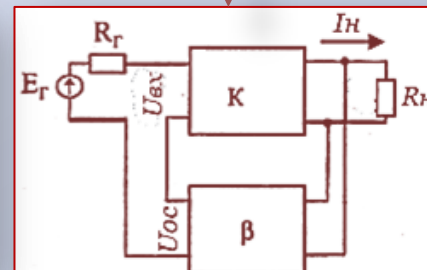
Если цепь ОС подключена к выходу $U_{\text{вых}}$, а $U_{\text{ос}}$ включена параллельно напряжению на входе усилителя $U_{\text{вх}}$, то образуется **параллельная обратная связь по напряжению**

параллельная обратная связь по току



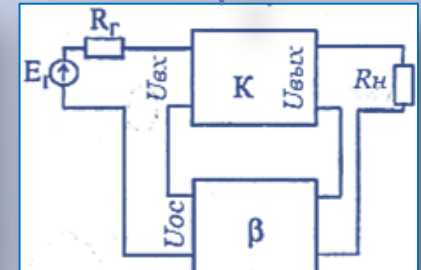
Параллельная обратная связь по току образуется при подачи токового сигнала с выхода усилителя на вход параллельно входному напряжению $U_{\text{вх}}$

последовательная обратная связь по напряжению



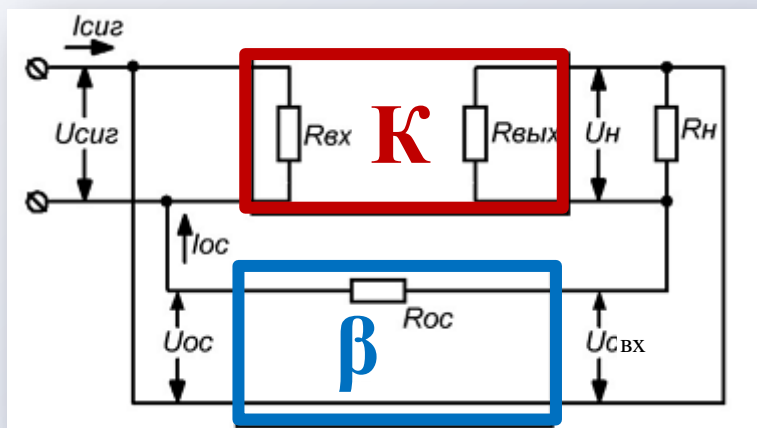
Если цепь обратной связи подключается к выходному напряжению усилителя на нагрузке $R_{\text{н}}$, а напряжение обратной связи $U_{\text{ос}}$ - последовательно в разрыв цепи входного напряжения $U_{\text{вх}}$, то образуется **последовательная обратная связь по напряжению**

последовательная обратная связь по току



При снятии токового сигнала для обратной связи на выходе усилителя с разрыва цепи нагрузочного сопротивления $R_{\text{н}}$ и подключение этого сигнала последовательно с входным напряжением, образуется **последовательная обратная связь по току**

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ ПО НАПРЯЖЕНИЮ



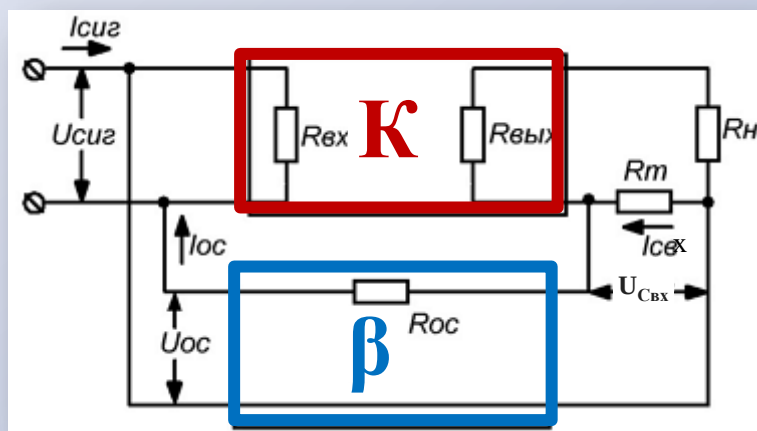
$$U_{\text{свх}} = U_{\text{н}}$$

$$U_{\text{ос}} = R_{\text{вх}}(I_{\text{сиг}} + I_{\text{ос}})$$

Действие ОС уменьшается при уменьшении сопротивления нагрузки и источника сигнала.

ОС не действует: при КЗ входа или выхода

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ ПО ТОКУ



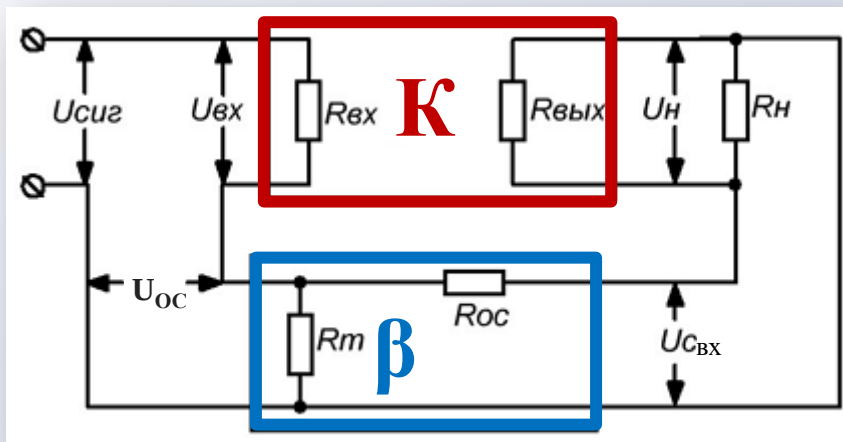
$$U_{\text{свх}} = I_{\text{свх}}(R_{\text{вых}} + R_{\text{т}} + R_{\text{н}})$$

$$U_{\text{ос}} = R_{\text{вх}}(I_{\text{сиг}} + I_{\text{ос}})$$

Действие ОС уменьшается при уменьшении сопротивления источника сигнала, входного сопротивления усилителя, а также при уменьшении сопротивления резистора $R_{\text{т}}$ или увеличении сопротивления нагрузки.

ОС не действует: при КЗ на входе схемы и отсутствии нагрузки

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ ПО НАПРЯЖЕНИЮ



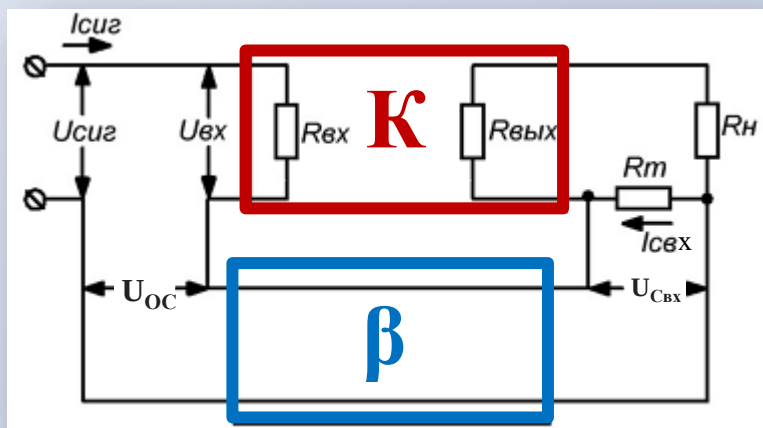
$$U_{CВХ} = U_H$$

$$U_{OC} = U_{ВХ} - U_{СИГ}$$

Действие ОС уменьшается при увеличении сопротивления источника сигнала и уменьшении сопротивления нагрузки и выходного сопротивления усилителя.

ОС не действует: при КЗ на выходе и при ХХ на входе

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ ПО ТОКУ



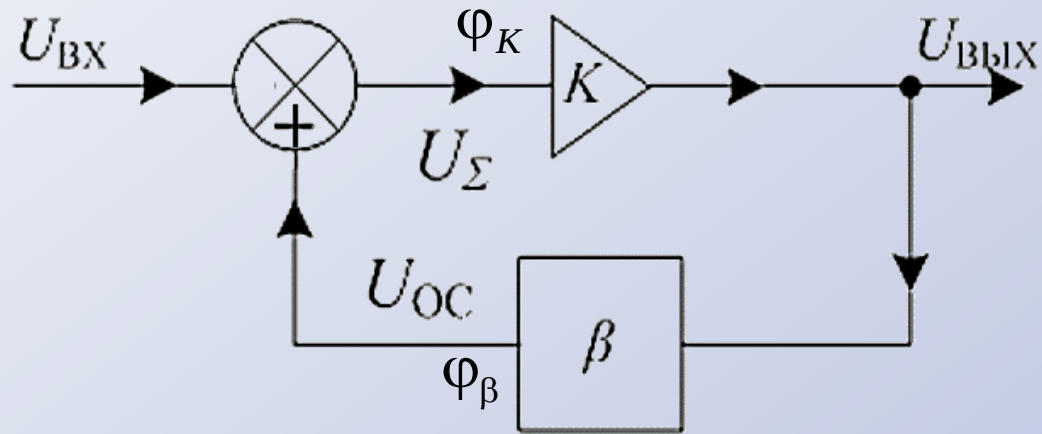
$$U_{CВХ} = I_{CВХ} (R_{ВЫХ} + R_T + R_H)$$

$$U_{OC} = U_{ВХ} - U_{СИГ}$$

Действие ОС уменьшается при уменьшении сопротивлений R_H , R_T и $R_{ВЫХ}$, а также при увеличении входного сопротивления усилителя и источника сигнала.

ОС не действует: при отсутствии нагрузки и при ХХ на входе

Положительная ОС



$$\dot{K}_{OC} = \frac{\dot{K}}{1 - \beta \dot{K}}$$

$$\beta K \rightarrow 1, K_{CB} \rightarrow \infty$$

Условия баланса фаз и баланса амплитуд

$$\varphi_K + \varphi_\beta = 0, 2\pi, \dots, \text{ и } \beta K > 1$$

Отрицательная ОС

Отрицательная ОС уменьшает коэффициент усиления усилителя

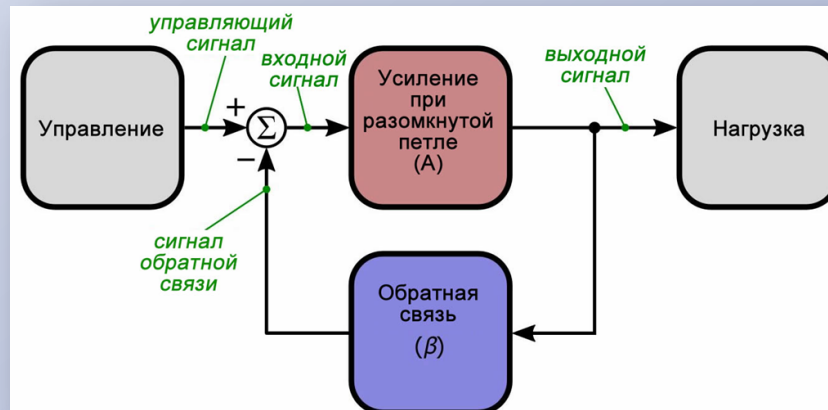
$$K_{OC} = \frac{K}{1 + \beta K}$$

Последовательная отрицательная ОС по увеличивает входное сопротивление усилителя

$$R_{BX} = R'_{BX}(1 + \beta K)$$

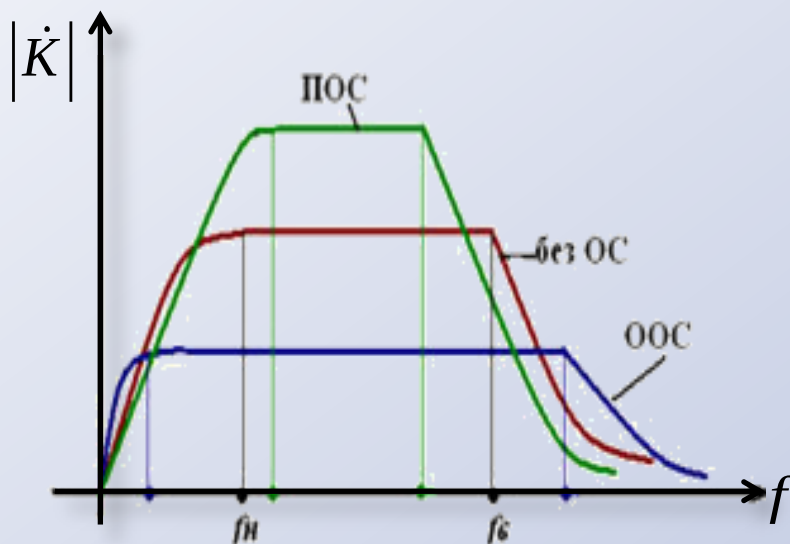
Отрицательная ОС по напряжению уменьшает выходное сопротивление усилителя

$$R_{BIX} = R'_{BIX} / (1 + \beta K)$$



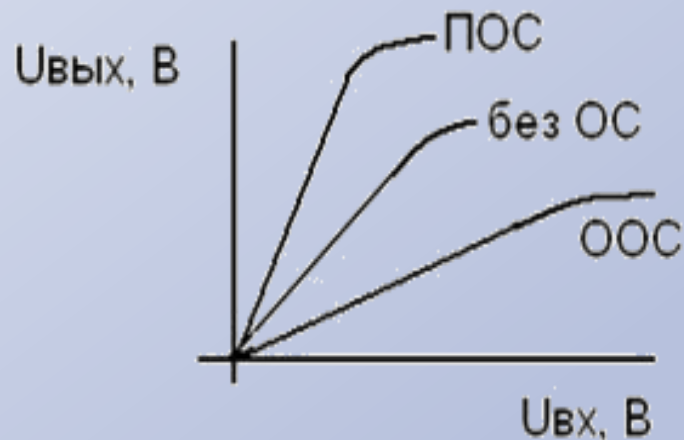
Влияние ОС на характеристики усилителя

АЧХ



1. *ООС расширяет полосу пропускания, уменьшает частотные и нелинейные искажения, расширяет динамический диапазон.*
2. *ООС снижает коэффициент усиления*
3. *ПОС увеличивает коэффициент усиления*

АХ



**Влияние
ООС:**

```
graph LR; A[Влияние ООС:] --- B[повышение стабильности коэффициента усиления;]; A --- C[увеличение входного и уменьшение выходного сопротивления (последовательная ООС по напряжению),]; A --- D[уменьшение входного и увеличение выходного сопротивления (параллельная ООС по току);]; A --- E[расширение полосы пропускания усилителя;]; A --- F[уменьшение нелинейных, частотных и фазовых искажений в схеме;]; A --- G[уменьшение уровня собственных помех.];
```

повышение стабильности коэффициента усиления;

*увеличение входного и уменьшение выходного сопротивления
(последовательная ООС по напряжению),*

*уменьшение входного и увеличение выходного сопротивления
(параллельная ООС по току);*

расширение полосы пропускания усилителя;

*уменьшение нелинейных, частотных и фазовых искажений в
схеме;*

уменьшение уровня собственных помех.