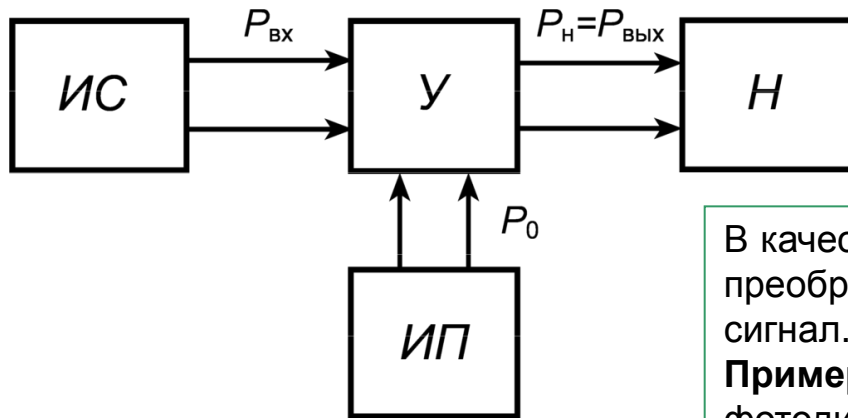


Усилители электрических сигналов

Усилитель - устройство, предназначенное для увеличения мощности входного сигнала при сохранении его частоты и формы.

В основе любого усилителя лежит использование **усилительного элемента (УЭ)**, с помощью которого производится преобразование энергии источника питания в энергию выходного сигнала.

Структурная схема усилителя



ИС – **источник сигнала** воздействует на вход усилителя, подавая сигнал с входной мощностью $P_{\text{вх}}$.

В качестве источника сигнала может использоваться любой преобразователь какого-либо вида энергии в электрический сигнал.

Примеры: микрофон, магнитная головка (жесткого диска), фотодиод, терморезистор, приемная антенна и т.д.

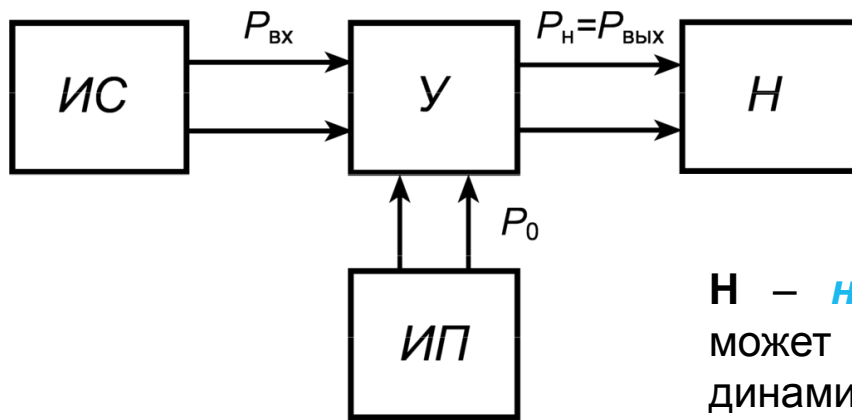
Сам **усилитель (У)** потребляет от источника питания мощность P_0 (**потребляемая мощность**) и передает в нагрузку выходную мощность $P_{\text{вых}}$ (или мощность нагрузки $P_{\text{н}}$).

В общем случае всегда выполняется неравенство:

$$P_0 > P_{\text{н}} > P_{\text{вх}},$$

то есть коэффициент полезного действия усилителя получается меньше единицы:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_0} < 1.$$



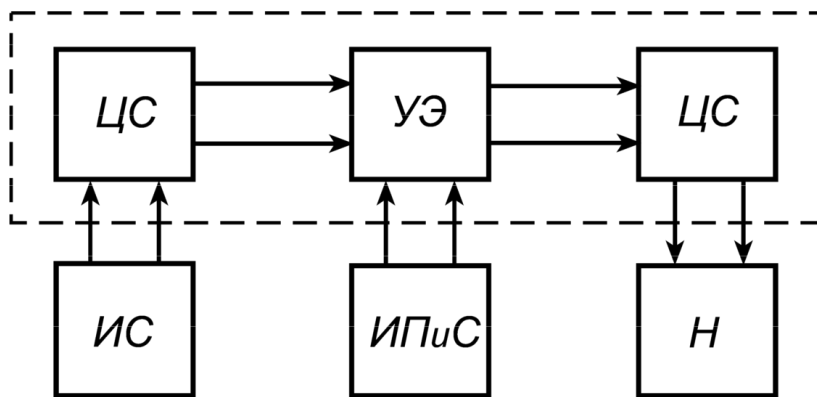
ИП – источник питания

вырабатывает необходимые напряжения для всех блоков усилителя.

Н – нагрузка усилителя. В качестве нагрузки может использоваться любой потребитель: динамик, другой усилитель и т.д.

Усилительный каскад

Усилительный каскад



Базовым звеном любого усилителя является **усилительный каскад**.

УЭ предназначен для преобразования энергии источника питания в энергию выходного сигнала.

ЦС предназначены для подсоединения источника сигнала и нагрузки к усилителю. Кроме того, ЦС выполняют дополнительные функции: задержка постоянной составляющей входного сигнала, помехоподавляющие функции

Структурная схема усилительного каскада.
 ЦС – цепь связи; УЭ – усилительный элемент;
 ИП и С – источник питания и смещения;
 ИС – источник сигнала; Н – нагрузка.

Для создания (смещения) рабочей точки УЭ применяются специальные источники смещения, в качестве которых применяется тот же самый ИП и С в комбинации со специальными делителями напряжения.

Классификация усилителей

В основе классификации лежит множество признаков:

I. По роду усиливаемых сигналов:

1. **усилители непрерывных сигналов** - устройства, в которых время изменения сигнала много больше времени переходных процессов в самом устройстве;
2. **усилители импульсных сигналов** - устройства, в которых время изменения сигнала сопоставимо со временем переходного процесса в самом устройстве.

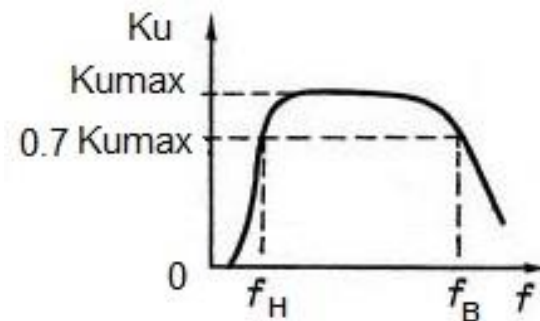
II. По диапазону усиливаемых частот:

1. **усилители переменного тока** - усиливают сигналы из диапазона и от $f_H > 0$ до f_B , постоянная составляющая не усиливается;
2. **усилители постоянного тока (УПТ)** - усиливают сигналы в полосе пропускания от $f_H = 0$ до f_B , постоянная составляющая $f_H = 0$ усиливается;
3. **усилители низкой (звуковой) частоты (УНЧ)** - усиливают в диапазоне от $f_H = 20$ Гц до $f_B \approx 20$ кГц;
4. **усилители высокой частоты (УВЧ)** - усиливают в диапазоне от десятков кГц до сотен МГц;
5. **широкополосные усилители** - все усилители у которых

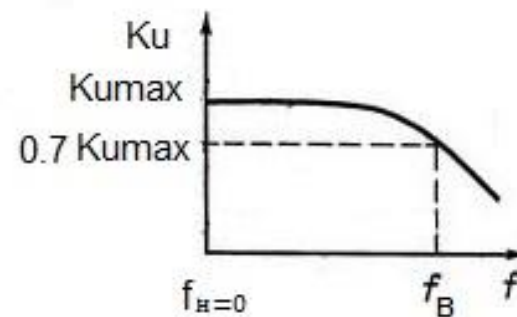
$$\frac{f_B}{f_H} \geq 1000;$$

6. **избирательные усилители** - усилители, у которых

$$\frac{f_B}{f_H} \leq 1,1.$$



АЧХ усилителя
переменного тока



АЧХ усилителя
постоянного тока

Классификация усилителей (продолжение)

III. По виду связи между каскадами, усилителем и нагрузкой:

- а) **RC – усилители** (резистивно-емкостные). В качестве элементов связи применяются резисторы и конденсаторы, т.е. RC – цепочки;
- б) **трансформаторные**;
- в) **с непосредственными связями** - без конкретного элемента связи, либо с использованием в качестве элементов связи резисторов или идеальных источников напряжения.

IV. По соотношению между внутренним сопротивлением источника сигнала R_{Γ} , сопротивлением нагрузки R_{H} , входным сопротивлением $R_{\text{ВХ}}$ и выходным сопротивлением $R_{\text{ВЫХ}}$:

1. усилители напряжения ($R_{\Gamma} \ll R_{\text{ВХ}}$, $R_{\text{ВЫХ}} \ll R_{\text{H}}$);
2. усилители тока ($R_{\Gamma} \gg R_{\text{ВХ}}$, $R_{\text{ВЫХ}} \gg R_{\text{H}}$);
3. усилители мощности ($R_{\Gamma} \approx R_{\text{ВХ}}$, $R_{\text{ВЫХ}} \approx R_{\text{H}}$).

Классификация по данному признаку весьма условная, поскольку один и тот же усилитель по входу может быть одного типа, а по выходу – совсем другого.

V. По наличию в усилительном каскаде промежуточного преобразования частоты:

1. **Усилители прямого усиления** (без промежуточного преобразования частоты).
2. **Усилители с преобразованием частоты**.

Усилители с промежуточным преобразованием частоты применяются в случаях, когда усиление без промежуточного преобразования приводит к большим погрешностям.

VI. По типу усилительного элемента:

1. на биполярных транзисторах;
2. на полевых транзисторах;
3. на электронных лампах;
4. на интегральных микросхемах (ИМС).



Усилитель мощности на полевых транзисторах



Усилитель мощности на полевых транзисторах

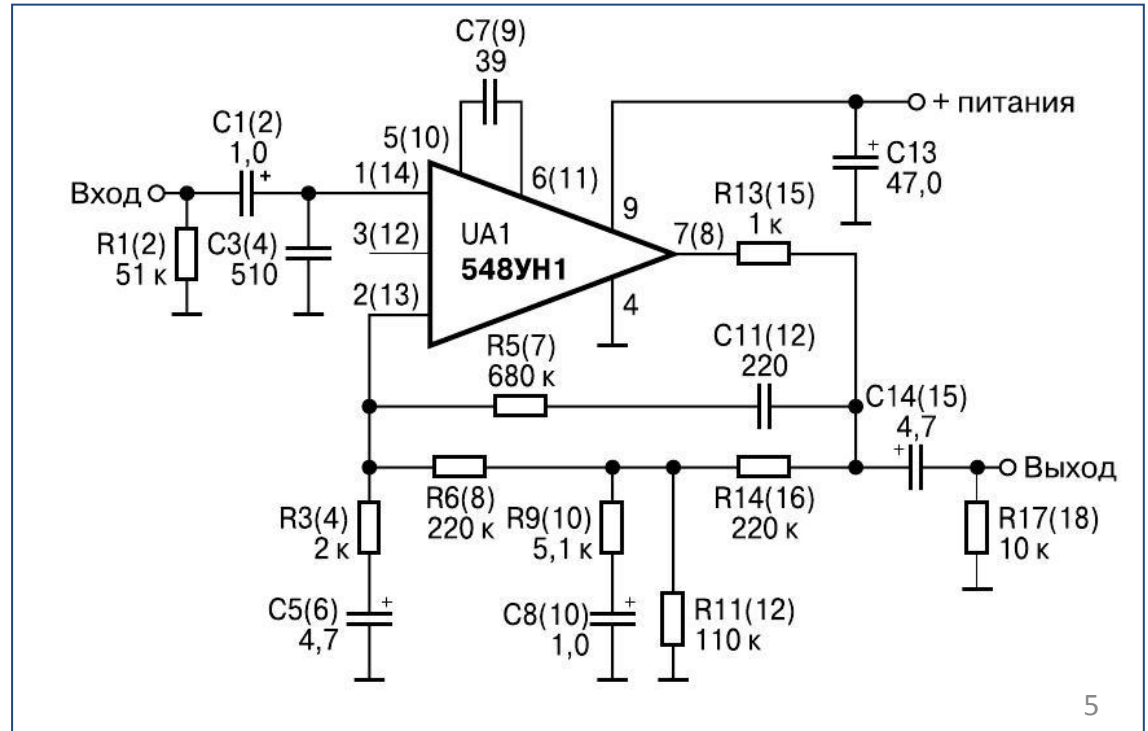
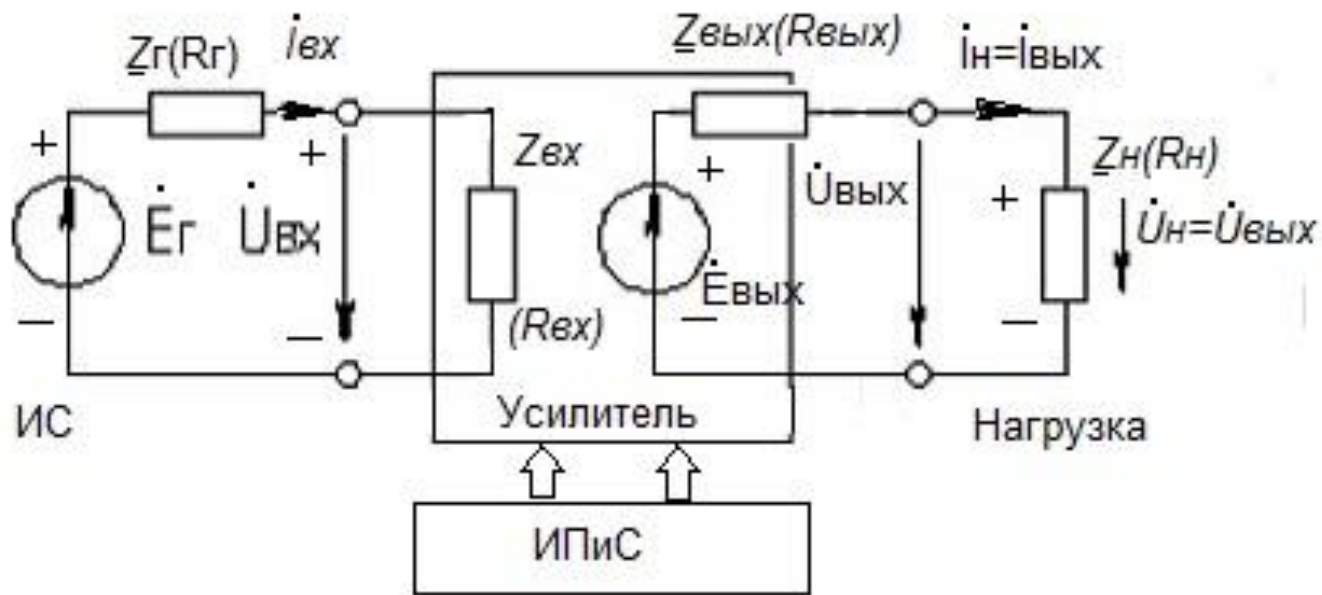


Схема усилителя на ИМС

Основные параметры и характеристики усилителей

Для рассмотрения параметров воспользуемся простейшей функциональной схемой усилителя.



Функциональная схема усилителя

1. Входные и выходные параметры усилителя

Входные параметры

Входные параметры характеризуют цепь (усилитель), как нагрузку для источника сигнала(генератора), т.е. усилитель представляет собой нагрузку для источника сигнала.

К входным параметрам усилителя относятся:

$U_{\text{ВХ}}$, $I_{\text{ВХ}}$ – номинальное входное напряжение либо номинальный входной ток, при которых усилитель отдает в заданную нагрузку требуемые техническим заданием (ТЗ) мощность $P_{\text{ВЫХ}} = P_{\text{н}}$ (или $U_{\text{ВЫХ}}$ и $I_{\text{ВЫХ}}$);

$P_{\text{ВХ}}$ – входная мощность сигнала;

Входное сопротивление усилителя:

$$\underline{Z}_{\text{ВХ}} = \frac{\dot{U}_{\text{ВХ}}}{\dot{I}_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{I_{\text{ВХ}}} e^{j(\varphi_{U_{\text{ВХ}}} - \varphi_{I_{\text{ВХ}}})} = Z_{\text{ВХ}} e^{j\varphi_{Z_{\text{ВХ}}}}$$

Часто в рабочей полосе частот комплексностью сопротивления пренебрегают, полагая, что входное сопротивление носит чисто активный характер – $R_{\text{ВХ}}$.

Это существенно облегчает анализ и расчеты.

К входным параметрам усилителя часто относят ЭДС источника сигнала и его внутреннее сопротивление. С учетом $R_{\text{Г}}$ и $R_{\text{ВХ}}$ входное напряжение определяется:

$$U_{\text{ВХ}} = E_{\text{Г}} \cdot \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{Г}} + R_{\text{ВХ}}} = E_{\text{Г}} \cdot K_{\text{Д}} \quad K_{\text{Д}} - \text{коэффициент деления делителя, образованного } R_{\text{Г}} \text{ и } R_{\text{ВХ}}$$

Пренебрегая комплексностью параметров, можно получить следующие соотношения:

$$U_{\text{ВХ}} = I_{\text{ВХ}} R_{\text{ВХ}}, \quad P_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}} I_{\text{ВХ}} = I_{\text{ВХ}}^2 R_{\text{ВХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}^2}{R_{\text{ВХ}}}$$

Выходные параметры

Выходные параметры характеризуют цепь (усилитель) как источник сигнала (генератор) для нагрузки.

К выходным параметрам усилителя относятся:

$U_{ВХ}$, $I_{ВХ}$ – номинальное выходное напряжение сигнала или номинальный входной ток сигнала в нагрузке, отдаваемые усилителем при работе на заданную нагрузку;

$P_{ВЫХ} = P_H$ – номинальная выходная мощность, отдаваемая усилителем в нагрузку;

Выходное сопротивление усилителя:

$$Z_{ВЫХ} = \frac{\dot{U}_{ВЫХ XX}}{\dot{I}_{ВЫХ КЗ}}$$

В общем случае выходное сопротивление нагрузки комплексно, но в рабочем диапазоне частот его полагают чисто активным, однако данное допущение более грубое, чем для $R_{ВХ}$. В этом случае

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta I_{ВЫХ}} = \frac{U_{ВЫХ XX}}{I_{ВЫХ КЗ}}$$

Выходное сопротивление характеризует наклон нагрузочной прямой (характеристики).

Пренебрегая комплексностью параметров, можно получить следующие соотношения:

Внешняя (или нагрузочная) характеристика

$$U_{ВЫХ} = I_{ВЫХ} R_{ВХ}; \quad P_H = U_{ВЫХ} I_{ВЫХ} = I_{ВЫХ}^2 R_H = \frac{U_{ВЫХ}^2}{R_H}$$



2. Коэффициенты усиления (передачи)

Коэффициенты усиления (передачи) характеризуют цепь (усилитель) как средство (звено) передачи сигнала.

Коэффициентом усиления называется отношение установившегося значения какого-либо параметра сигнала на выходе к установившемуся значению на входе. Как правило, коэффициенты усиления находятся для гармонического сигнала.

а) **Коэффициент усиления по напряжению:**

$$\dot{K}_u = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} e^{j\varphi_{U_{\text{ВЫХ}}} - \varphi_{U_{\text{ВХ}}}} = K_u e^{j\varphi_{K_u}}$$

На практике в большинстве случаев коэффициент передачи рассматривается только в рабочем диапазоне частот и в этом случае речь идет о **модуле коэффициента передачи**. Если нет расшифровки о каком коэффициенте идет речь, то подразумевается, что речь идет о коэффициенте усиления по напряжению:

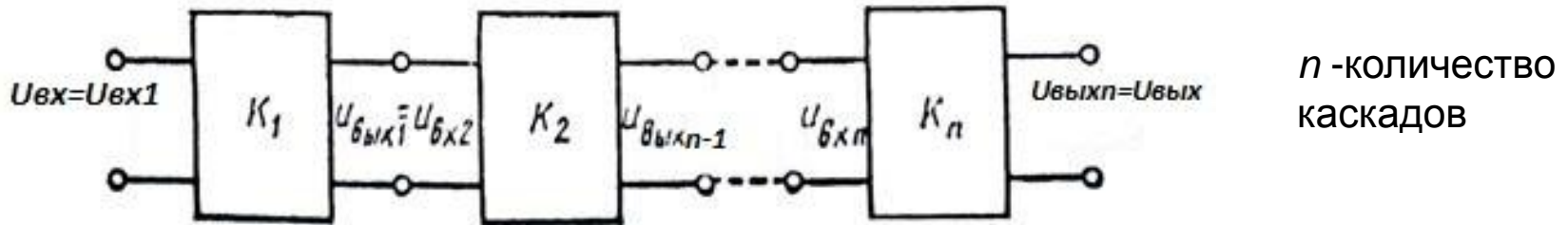
$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ } m}}{U_{\text{ВХ } m}}$$

Поскольку восприятие органов чувств подчиняется логарифмическому закону, на практике модуль коэффициента усиления часто выражают в логарифмических единицах – децибелах: $K_U, \text{Дб} = 20 \lg K_U$.

Многокаскадные усилители

Коэффициент усиления одного каскада относительно невелик ≈ 100 . Для получения требуемого коэффициента усиления ($K_U > 100$) на практике очень часто используют последовательное соединение нескольких каскадов, в этом случае усилитель называется **многокаскадным**.

Структурная схема многокаскадного усилителя

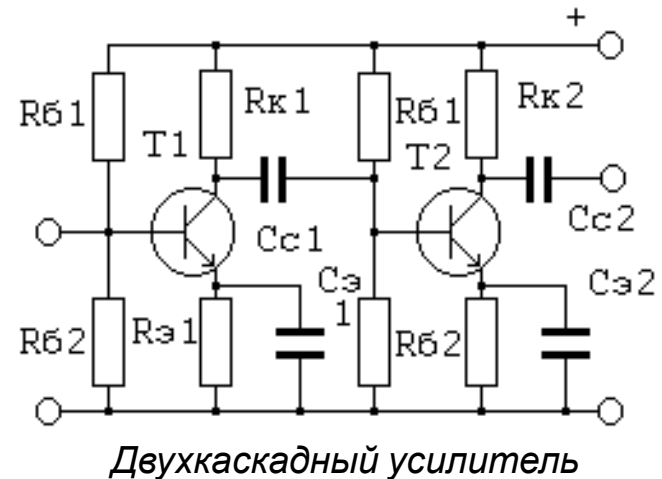


Коэффициент усиления по напряжению многокаскадного усилителя:

$$K_U = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ } n}} \cdot \frac{U_{\text{ВХ } n}}{U_{\text{ВХ } n-1}} = K_n \cdot K_{n-1} \dots K_1$$

$= U_{\text{ВЫХ } n} = U_{\text{ВЫХ } n-1}$

Таким образом, результирующий коэффициент усиления многокаскадного усилителя определяется произведением усиления всех каскадов, входящих в усилитель.



Состав многокаскадного усилителя



Структурная схема многокаскадного усилителя:

ВхКУ – входной каскад усиления; *ПОКУ* – предоконечный каскад усиления;
УМ – усилитель мощности

Последний каскад вырабатывает мощность в нагрузку, является **услителем мощности** и называется **оконечным каскадом**.

Задача предоконечного каскада – “раскачать” последний каскад для получения заданного значения конечной мощности в нагрузке.

Все остальные каскады называются каскадами предварительного усиления и работают, как правило, в режиме усиления напряжения.

Первый каскад также называют **входным каскадом**.

б) Коэффициент усиления по току

$$\dot{K}_i = \frac{\dot{I}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{I}_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} e^{j\varphi_{I_{\text{ВЫХ}}} - \varphi_{I_{\text{ВХ}}}} = K_i e^{j\varphi_{K_i}}$$

В рабочем диапазоне частот рассматриваются только модули токов:

$$K_i = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{ВЫХ } m}}{I_{\text{ВХ } m}}; \quad \text{в децибелах: } K_i, \text{ Дб} = 20 \lg K_i$$

с) Коэффициент усиления по мощности

$$K_P = \frac{P_H}{P_{ВХ}} = \frac{P_{ВЫХ}}{P_{ВХ}} > 1$$

В отличие от предыдущих коэффициентов усиления данный коэффициент усиления всегда **больше единицы**.

Это связано с тем, что любой усилитель в конце концов усиливает сигнал по мощности.

Например, трансформатор может усиливать либо по U либо по I в зависимости от коэффициента трансформации, но его $K_P < 1$ в отличие от усилителя.

$$K_P = \frac{P_H}{P_{ВХ}} = \frac{I_{ВЫХ}}{I_{ВХ}} \cdot \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = K_I \cdot K_U$$

$$K_U = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{ВХ}} = \frac{I_{ВЫХ} \cdot R_H}{I_{ВХ} \cdot R_{ВХ}} = K_I \frac{R_H}{R_{ВХ}}$$

$$K_P = K_I \cdot K_U = K_I^2 \frac{R_H}{R_{ВХ}} = K_U^2 \frac{R_{ВХ}}{R_H}$$

В децибелах: $K_P, \text{Дб} = 10 \lg K_P$

d) Сквозной коэффициент усиления

Учитывает влияние внутреннего сопротивления источника сигнала R_{Γ} на коэффициент усиления.

$$\dot{K}_U^* = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{E}_{\Gamma}} = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ}}}{\dot{U}_{\text{ВХ}}} \cdot \frac{\dot{U}_{\text{ВХ}}}{\dot{E}_{\Gamma}} = \dot{K}_U \frac{\dot{i}_{\text{ВХ}} \underline{Z}_{\text{ВХ}}}{\dot{i}_{\text{ВХ}} \underline{Z}_{\text{ВХ}} + \underline{Z}_{\Gamma}} = \dot{K}_U \frac{\underline{Z}_{\text{ВХ}}}{\underline{Z}_{\text{ВХ}} + \underline{Z}_{\Gamma}} \cong K_U \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_{\text{ВХ}} + R_{\Gamma}}$$

Чем меньше R_{Γ} тем ближе K_U^* к простому K_U .

3. Коэффициент полезного действия (КПД) усилителя.

Для усиления экономичности работы усилителей используют коэффициент полезного действия усилителя.

КПД есть отношение выходной мощности, переданной в нагрузку, к сумме всех мощностей, потребляемых от всех источников питания и смещения.

Данный параметр весьма важен для выходных и предоконечных каскадов:

$$\eta = \frac{P_{\text{н}}}{P_0} < 1.$$

4. Линейные и нелинейные искажения

Одним из требований, предъявляемых к усилителю является усиление сигналов без искажений. Однако усилитель при усилении несколько изменяет форму усиливаемых сигналов.

Отклонения формы выходного сигнала от формы входного называют **искажениями**.

Различают два типа искажений: **линейные** и **нелинейные**.

а) Линейные искажения

Наличие в усилительных каскадах реактивных элементов (разделительные конденсаторы, конденсаторы связи, разделительные трансформаторы, дроссели, конденсаторы в цепях термостабилизации рабочей точки, а также паразитные индуктивности и емкости) приводит к тому, что различные гармоники, входящие в спектр входного сигнала, усиливаются по-разному – с разным коэффициентом усиления и фазовым сдвигом.

Это приводит к тому, что входной сигнал, проходя через усилитель, искажается, т.е. форма сложного по спектральному составу сигнала на выходе будет отличаться от формы входного сигнала. Таким образом, усилитель вносит искажения, несмотря на то, что все элементы работают в линейном режиме. Поэтому такие искажения называются **линейными искажениями** (т.к. их возникновение связано с линейными элементами электрической цепи).

Линейные искажения оценивают с помощью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) или просто частотной характеристики, которая представляет собой зависимость модуля коэффициента от частоты:

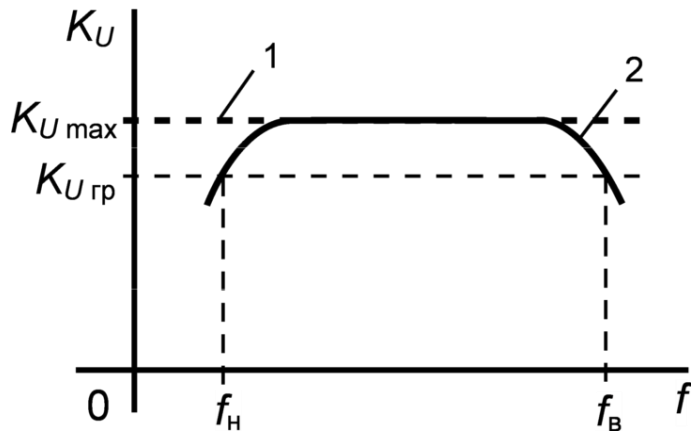
$$K_u = f(\omega).$$

Искажения формы выходного сигнала, вызываемые неодинаковым усилением гармоник различных частот, называют **частотными искажениями**.

Искажения формы выходного сигнала, вызываемые разными фазовыми сдвигами гармоник усиливаемого сигнала, называют **фазовыми искажениями**.

Частотные и фазовые искажения - линейными искажениями.

Рассмотрим типовую АЧХ усилителя переменного тока (RC -усилителя), на вход которого подается гармонический сигнал.



АЧХ усилителя переменного тока:
1 – идеального усилителя;
2 – реального усилителя.

Значение $K_{U гр}$ называется граничным коэффициентом усиления (передачи), который определяется как

$$K_{U гр} = \frac{K_{U max}}{\sqrt{2}} \cong 0,707 K_{U max}.$$

Частота, на которой $K_U = K_{U гр}$ называется **граничной частотой**.

f_H - нижняя граничная частота,
 f_B - верхняя граничная частота.

Диапазон частот, в пределах которого $K_U \geq K_{U гр}$ называется **полосой усиления (пропускания) или рабочим диапазоном частот**.

На рисунке рабочий диапазон частот - от f_H до f_B .

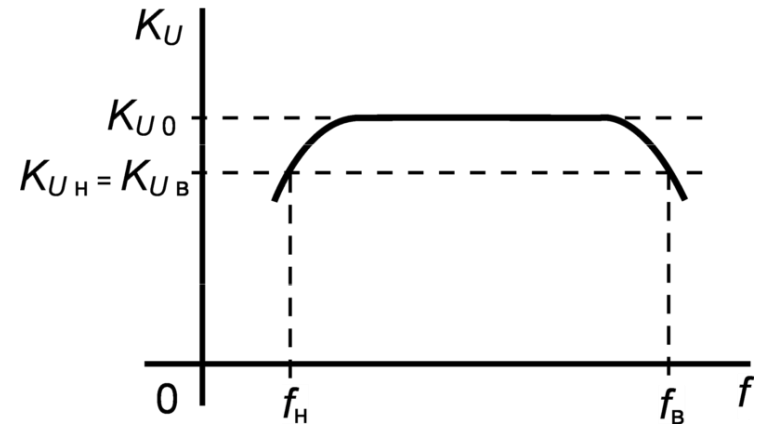
Диапазон частот, где $K_U < K_{U гр}$ называется **полосой подавления** в пределах которой усилитель не усиливает либо усиливает с малым K_U .

Видно, что АЧХ реального усилителя неравномерная, т.е. коэффициент усиления для разных частот неодинаков.

Неравномерность АЧХ усилителя оценивают с помощью **коэффициента частотных искажений**.

$$M_H = \frac{K_{U0}}{K_{UH}}; \quad M_B = \frac{K_{U0}}{K_{UB}}$$

где K_{U0} – коэффициент усиления на средних частотах (в данном случае $K_{U0} = K_{Umax}$);



K_{UH} , K_{UB} – значение коэффициентов усиления на граничных частотах f_H и f_B , соответственно; (K_U может быть задан на любых других частотах и тогда это специально оговаривается);
 M_H и M_B – задаются для граничных частот f_H и f_B (или для специально оговоренных частот);
 Частотные искажения выражаются в относительных единицах либо в децибелах:
 $M_H, Дб = 20lgM_H, M_B, Дб = 20lgM_B.$

Если нет специальных оговорок, то значения коэффициента частотных искажений принимают:

$$M_H = M_B = \sqrt{2} \cong 1,41 \equiv 3Дб.$$

Для УНЧ в зависимости от качества прибора коэффициент частотных искажений может лежать в диапазоне 1 6 дБ. Если усилитель применяется в измерительных устройствах, значение коэффициентов частотных искажений могут составлять десятые и сотые доли дБ.

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ)

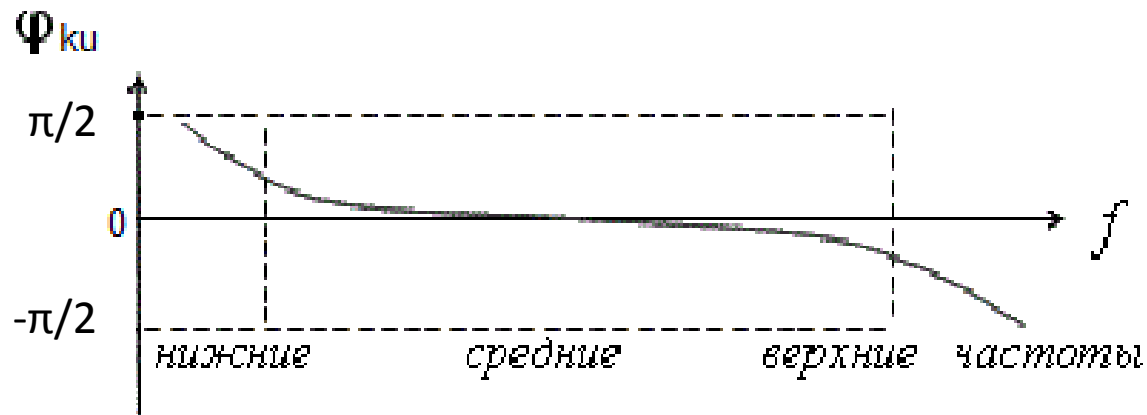
В усилительной технике ФЧХ могут называть *фазовой характеристикой*.

ФЧХ – зависимость фазового сдвига между входным и выходным сигналами от частоты:

$$\varphi_{KU} = f(\omega); \quad \varphi_{KU} = \varphi_{U_{\text{ВЫХ}}} - \varphi_{U_{\text{ВХ}}}.$$

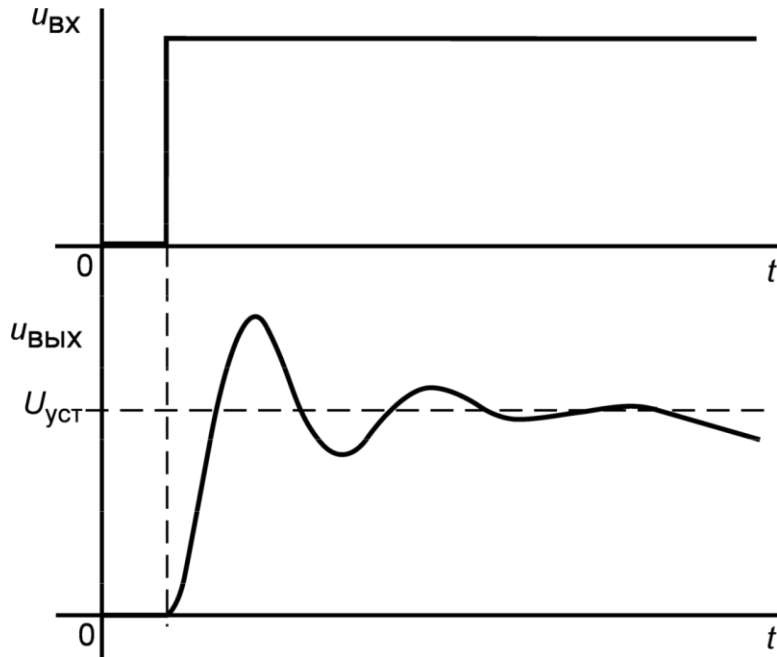
ФЧХ, как правило, строится в линейном масштабе в отличие от АЧХ.

ФЧХ отражает влияние реактивных элементов усилителя на фазовый сдвиг φ_{KU} при изменении частоты усиливаемого сигнала.



Из рисунка видно, что фазовые сдвиги проявляются на низких и верхних частотах, на средних частотах фазовый сдвиг практически отсутствует. Наличие фазового сдвига является искажением.

Переходная характеристика (ПХ)



Представляет собой зависимость мгновенного значения выходного напряжения усилителя от времени при подаче на вход усилителя скачка напряжения - $U_{вых} = f(t)$.

Переходной характеристикой обычно пользуются при исследовании частотных свойств импульсных усилителей и по ней определяют искажения формы импульсных сигналов, которые могут возникнуть в результате усиления.

Данная характеристика является диаграммой переходного процесса, происходящего в самом усилителе при усилении импульсных сигналов.

Видно, что выходной сигнал претерпевает изменения (искажения), которые называются **переходными** и обусловлены наличием линейных реактивных элементов в усилителе, а потому являются линейными искажениями.

АЧХ, ФЧХ и переходная характеристика однозначно связаны друг с другом, т.к. обусловлены влиянием реактивных элементов.

б) нелинейные искажения

Нелинейными искажениями называют искажения формы выходного сигнала, обусловленные нелинейностью входных и выходных характеристик усилительных элементов (транзисторов).

Кроме того, нелинейность может появляться из-за нелинейности кривых намагничивания магнитопроводов трансформаторов и дросселей, применяемых в усилителях в качестве элементов связи.

Нелинейные искажения оценивают с помощью коэффициента гармоник:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n I_i^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^n U_i^2}}{U_1}.$$

$$K_{\Gamma}, \% = 100 \cdot K_{\Gamma}$$

где I_i , U_i – действующее, либо максимальное значение высших гармоник, входящих в спектр рассматриваемого сигнала;

I_1 , U_1 – действующее, либо максимальное значение первой (основной) гармоники рассматриваемого сигнала.

Коэффициент гармоник всегда находится при подаче на вход усилителя чистого гармонического сигнала и активном сопротивлении нагрузки.

В лучшем случае $K_{\Gamma} = 0\%$.

Допустимая величина коэффициента гармоник зависит от назначения усилителя.

Так, в усилителях для высококачественного усиления речи и музыки допустимый коэффициент гармоник порядка 1-2%; в таких же усилителях среднего качества – 5-8%.

5. Амплитудная характеристика

Амплитудная характеристика представляет собой зависимость установившегося значения выходного напряжения от входного:

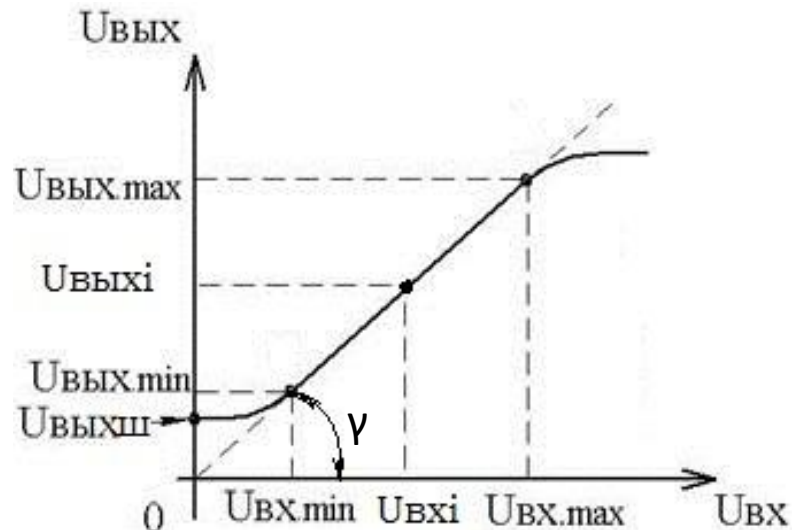
$$U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}}).$$

Могут использоваться либо действующее, либо амплитудные значения.

В идеальном случае амплитудная характеристика представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат под углом:

$$\gamma = \arctg K_U = \arctg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}},$$

т.е. $U_{\text{ВЫХ}} = K_U \cdot U_{\text{ВХ}}$ каждому значению $U_{\text{ВХ}}$ соответствует вполне определенное значение $U_{\text{ВЫХ}}$.



Амплитудная характеристика

Реальная характеристика совпадает с идеальной только на некотором рабочем участке от $U_{\text{ВХ min}}$ до $U_{\text{ВХ max}}$. Если $U_{\text{ВХ}} > U_{\text{ВХ max}}$ линейность характеристики нарушается и наступает режим насыщения, когда увеличение $U_{\text{ВХ}}$ не приводит к увеличению $U_{\text{ВЫХ}}$. В это время усилительный элемент начинает работать на нелинейном участке ВАХ, форма выходного сигнала сильно искажается и возрастание $U_{\text{ВЫХ}}$ прекращается, несмотря на рост $U_{\text{ВХ}}$.

При малых значениях $U_{\text{вх}}$, когда $U_{\text{вх}} < U_{\text{вх min}}$ линейность характеристики нарушается, что связано с наличием собственных шумов усилительного каскада. Даже при закороченных входных зажимах, когда $U_{\text{вх}} = 0$, на выходе присутствует паразитное напряжение, которое называется **шумовым**, в этом случае говорят, что каскад шумит.

Данное выходное шумовое напряжение пересчитывают к входу каскада:

$$U_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{вых ш}}}{K_U}$$

Существуют вполне определенный диапазон значений входного и выходного напряжений, при которых усилитель нормально выполняет свои функции. Отношение $U_{\text{вх max}}$ к $U_{\text{вх min}}$ называется **динамическим диапазоном усилителя**:

$$D_y = \frac{U_{\text{вх max}}}{U_{\text{вх min}}} = \frac{U_{\text{вых max}}}{U_{\text{вых min}}}$$

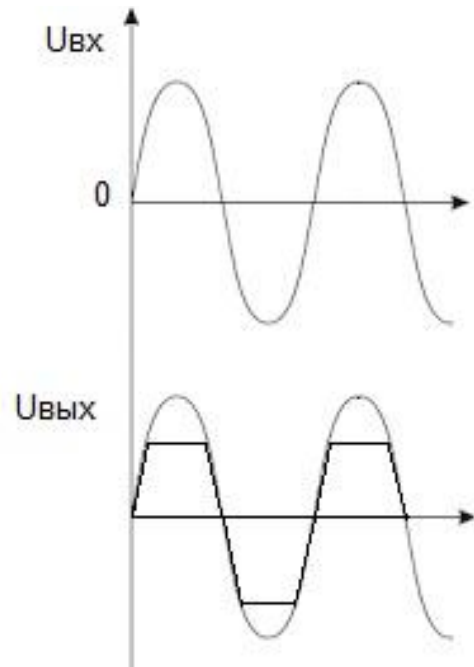
Для нормальной работы системы: источник сигнала – усилитель, динамический диапазон сигнала должен быть меньше, чем динамический диапазон усилителя, причем $U_{\text{с min}} \geq U_{\text{вх min}}$, $D_y > D_c$.

Динамические диапазоны могут быть заданы в Дб:

$$D_{y, \text{Дб}} = 20 \lg D_y; D_{c, \text{Дб}} = 20 \lg D_c$$

Поскольку входной сигнал тоже меняется в некотором диапазоне от $U_{\text{с min}}$ до $U_{\text{с max}}$, поэтому есть смысл говорить о динамическом диапазоне сигнала:

$$D_c = \frac{U_{\text{с max}}}{U_{\text{с min}}}$$



*Пример возникновения
нелинейных искажений*

На рисунке выходное напряжение ограничивается при положительной и отрицательной полярности. Это связано с тем, что при усилении усилитель заходит в область насыщения и поэтому наступает ограничение.

Ссылки

1. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2008. – 798 с.
2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника: учебник для вузов — Москва: Альянс, 2013. — 496 с.
3. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: Учебное пособие. – Изд. 8-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 703 с.