

**Балтийская государственная академия
рыбопромыслового флота**

Кафедра СРТС

Прием и обработка сигналов

Лекция №5

Резонансные усилители

1. Общая характеристика электронных усилителей.

Усилителем электрических колебаний называется устройство, которое позволяет при подаче на вход колебаний с некоторым уровнем мощности P получить на выходной нагрузке колебания той же формы, но с большим уровнем мощности.

В электронном усилителе для усиления подаваемого сигнала всегда используется активный элемент. Усиление происходит за счет источника питания, который содержит всякий усилитель (например, транзисторный). Усилитель обеспечивает преобразование энергии питания в энергию полезных колебаний. Входное колебание является управляющим, т.к. под его

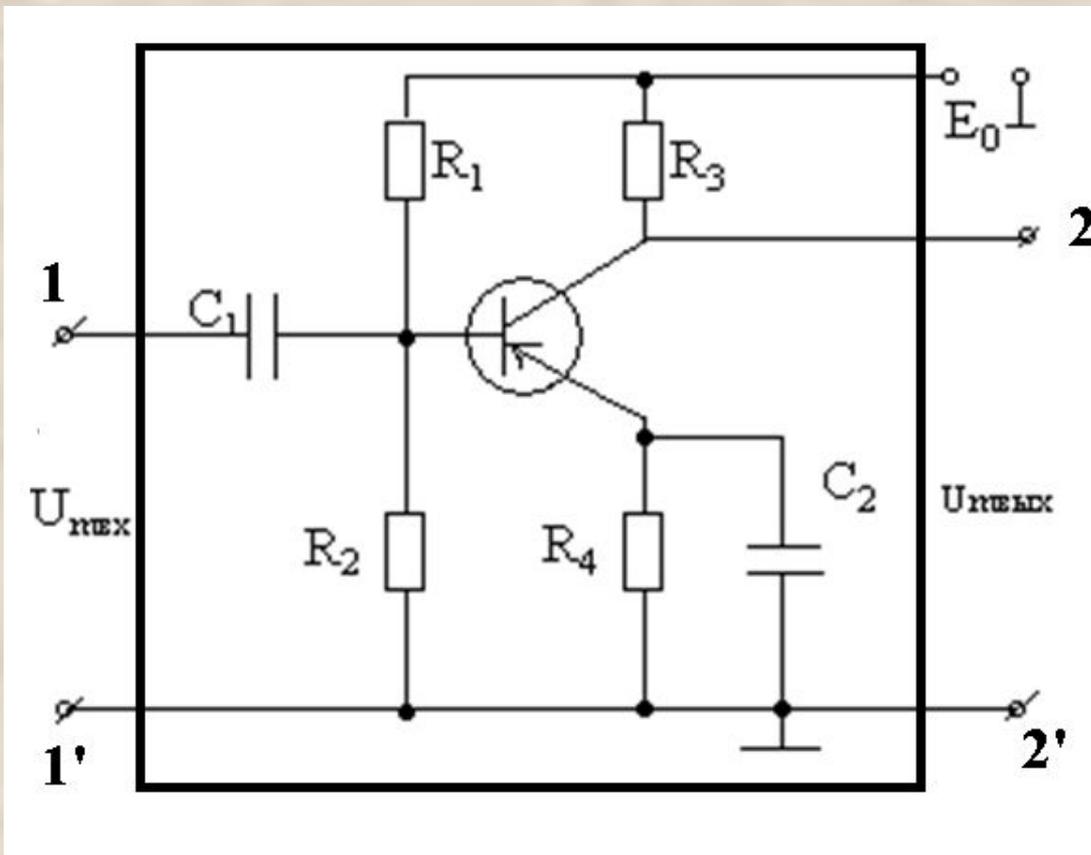


Рисунок 1-Представление усилителя в виде четырехполюсника

2. Классификация усилителей

- 1) по виду усилительного элемента – усилители ламповые, транзисторные, на туннельных диодах, параметрических диодах, на микросхемах и т.п.;
- 2) по виду усиливаемых частот – усилители постоянного тока (УПТ), низкой частоты (НЧ), радио и промежуточной частот (УРЧ, УПЧ) и сверхвысокочастотные (СВЧ - усилители);
- 3) по ширине полос усиливаемых частот – узкополосные, широкополосные усилители;
- 4) по характеру усиливаемого сигнала – усилители непрерывных и импульсных сигналов;
- 5) по усиливаемой электрической величине – усилители напряжения U , усилители тока I , усилители мощности P ;
- 6) по типу нагрузки - резистивные (апериодические), резонансные (избирательные) усилители.

3. Основные характеристики усилителей

Коэффициентом усиления

называется отношение выходной величины, характеризующей уровень сигнала, к входной.

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \quad K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} \quad K_P = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$$

дБ

В усилителях на полевых транзисторах имеет смысл только K_U , так как входной ток очень мал. В биполярных транзисторах определяют обычно K_I , K_U , K_P однако, наиболее часто используется K_U . Обозначают: K , K_I , K_U , K_P , $K_{\text{ус}}$.

Амплитудно-частотная, фазо-частотная и переходная характеристики усилителей

Усиление сигнала обычно сопровождается изменением формы (искажениями) сигнала. Искажения делятся на линейные и нелинейные. Искажения

Линейные искажения усилителей оцениваются с помощью **амплитудно-частотной (АЧХ)**, **фазо-частотной (ФЧХ)** и **переходной** характеристик.

Коэффициент усиления по напряжению (току) является комплексной величиной $K(j\omega)e^{j\varphi(\omega)}$

АЧХ понимают зависимость отношения амплитуды напряжения (тока) на выходе усилителя к амплитуде данных сигналов на входе от частоты входного электрического сигнала.

Иногда **АЧХ** называют зависимость амплитуды выходного напряжения от частоты при постоянной величине амплитуды входного сигнала. При анализе усилителя часто пользуются **нормированной характеристикой**:

$$\bar{K}(\omega) = \frac{K(\omega)}{K_0}$$

Фазо-частотной характеристикой (ФЧХ) усилителя называется зависимость фазового сдвига выходного гармонического колебания относительно входного при изменении частоты входного сигнала f .

Переходной характеристикой усилителя $U_{\text{вых}}(t)$ называется зависимость мгновенного значения выходного напряжения U от времени t при единичном скачкообразном изменении входного напряжения. Эта характеристика отражает переходные процессы в схеме и позволяет судить $U_{\text{вых}}(t)$ об искажении усиливаемого импульсного сигнала. Для сравнения свойств усилителей переходную характеристику нормируют:

Нелинейные искажения проявляются в изменении спектра выходного сигнала по отношению к спектру сигнала на входе. Оценивают коэффициентом гармоник (коэффициентом нелинейных искажений) K_{Γ} . Этот коэффициент измеряется на выходе усилителя при подаче P на вход гармонического колебания и определяется соотношением:

$$K_{\Gamma} = \frac{P_2 + P_3 + \dots + P_n}{P_1} \cdot 100\%$$

где P_2, P_3, \dots, P_n - мощность второй, третьей и n -ой гармоник.

При резистивной нагрузке активного элемента допустимый уровень определяется:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots + U_{mn}^2}}{U_{m1}} \cdot 100\%$$

Амплитудная характеристика, динамический диапазон, КПД усилителя.

О линейности усилителя можно судить и по его амплитудной характеристике, то есть зависимости амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного напряжения

$$U_{\text{вых}}(U_{\text{вх}})$$

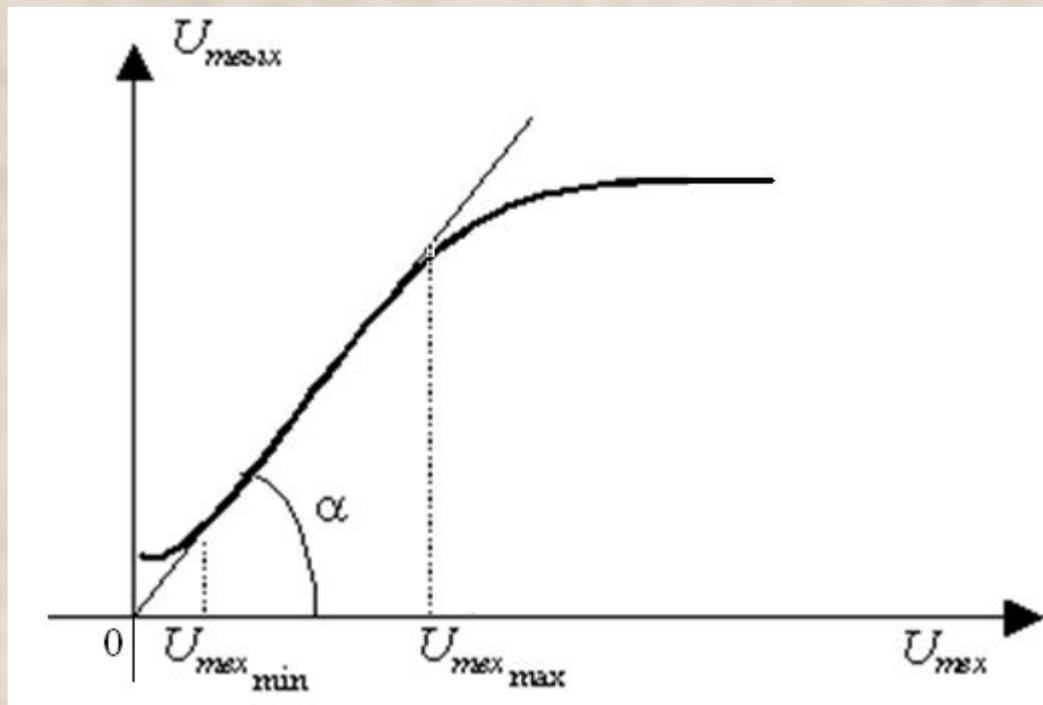


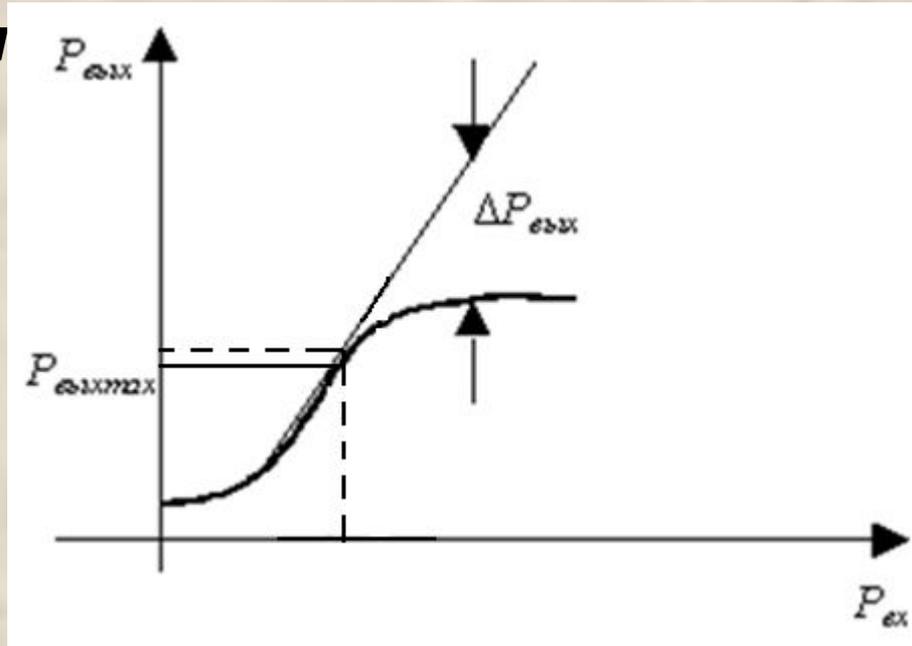
Рисунок 2 – Графическое представление амплитудной характеристики усилителя

Коэффициент усиления K на линейном участке $AХ$ не зависит от амплитуды входного сигнала и может быть определен, как тангенс угла α наклона $AХ$ к оси абсцисс.

Динамический диапазон усилителя оценивается как:

$$D_y = \frac{U_{m_{ex} \max}}{U_{m_{ex} \min}}$$

В усилителях мощности (УМ) под АХ чаще понимается зависимость выходной мощности от входной мощн



Количественно мера нелинейности оценивается как отношение отклонения АХ от линейной характеристики:

$$\gamma = \frac{\Delta P_{вых}}{P_{вх}} \cdot 100\%$$

В усилителях мощности динамический диапазон определяется с помощью характеристики $K(P_{вх})$.

Отношение $P_{\text{вых max}}$ к выходной мощности собственных шумов $P_{\text{вых шум}}$ на входе усилителя принимается за **динамический диапазон**:

$$D_y = 10 \log \left(\frac{P_{\text{вых max}}}{P_{\text{вых шум}}} \right)$$

При оценке мощных усилителей используют параметр **КПД**, который определяется как отношение мощности $P_{\text{вых}}$ полезного сигнала на выходной нагрузке к мощности P_0 потребляемой от источника:

$$\eta_y = \frac{P_{\text{вых}}}{P_0}$$

Входная и выходная проводимости

Под **входной комплексной проводимостью** понимается отношение комплексных амплитуд тока и напряжения на входе усилителя при подключенной нагрузке к его выходу:

$$Y_{\text{вх}}(j\omega) = \frac{I_{m_{\text{вх}}}}{U_{m_{\text{вх}}}}$$

Входная комплексная проводимость является нагрузкой для источника сигнала, поэтому от ее величины зависит мощность, потребляемая усилителем от источника сигнала.

Комплексной выходной проводимостью называют проводимость на выходе усилителя при подключенном источнике сигнала на выход:

Иногда удобнее оценивать не проводимости, а сопротивления усилителя:

$$Z_{\text{вх}}(j\omega) = \frac{1}{Y_{\text{вх}}(j\omega)}; \quad Z_{\text{вых}}(j\omega) = \frac{1}{Y_{\text{вых}}(j\omega)}$$

Знание проводимостей и сопротивлений позволяет правильно согласовать усилитель с источником сигнала и последующим каскадом.

Все перечисленные характеристики одинаково важны для различных типов усилителей. Помимо названных, существуют и другие характеристики: устойчивость, стабильность, коэффициент шума,

4. Усилитель как линейный активный четырехполюсник

Усилитель в пределах динамического диапазона может быть представлен как линейный четырехполюсник. Так как в состав усилителя входят источник энергии и активный элемент, то соответствующий ему четырехполюсник будет активным. По сути дела – это источник тока, управляемый

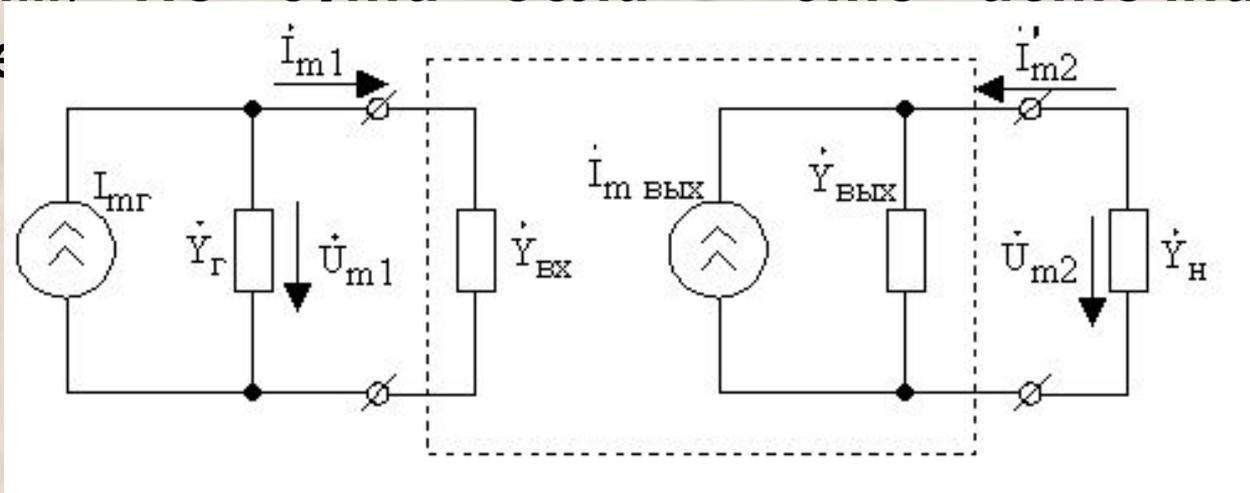


Рисунок 4

При описании четырехполюсников с помощью Y -параметров два уравнения связывают входные и выходные сигналы (на внешних парах зажимов) друг с другом:

$$\begin{cases} I_{m1} = Y_{11}U_{m1} + Y_{12}U_{m2} \\ I'_{m2} = Y_{21}U_{m1} + Y_{22}U_{m2} \end{cases}$$

Зная Y -параметры можно найти и определить характеристики нагруженного четырехполюсника:

Найдем коэффициент передачи четырехполюсник а дополнив систему уравнений уравнением нагрузки:

$$\begin{aligned} -U_{m2}Y = Y_{21}U_{m1} + Y_{22}U_{m2} &\Rightarrow Y_{22}U_{m2} + U_{m2}Y = -Y_{21}U_{m1} \Rightarrow \\ \Rightarrow K_U(j\omega) = \frac{U_{m2}}{U_{m1}} = -\frac{Y_{21}}{Y_{22} + Y} \end{aligned}$$

Определим входную проводимость. Разделим первое уравнение на комплексную амплитуду напряжения на входных зажимах:

$$\frac{I_{m1}}{U_{m1}} = Y_{11} + Y_{12} \frac{U_{m2}}{U_{m1}} \Rightarrow Y_{ex}(j\omega) = Y_{11} - \frac{Y_{12}Y_{21}}{Y_{22} + Y}$$

Определим выходную проводимость, погасив источник тока на входе и включив источник электрической энергии со стороны выходных зажимов.

$$\frac{I_{m2}}{U_{m2}} = Y_{22} + Y_{21} \frac{U_{m1}}{U_{m2}} \Rightarrow Y_{вых}(j\omega) = Y_{22} - \frac{Y_{12}Y_{21}}{Y_{11} + Y}$$

Из формул для Y_{ex} и $Y_{вых}$ следует, что при отсутствии проводимости обратной передачи ($Y_{12}=0$) входная и выходная проводимости равны соответственно характеристическим проводимостям, а коэффициент обратной передачи равен нулю.

Численные значения параметров усилителя - четырехполюсника зависят от типа используемого

5. Обратная связь и ее влияние на характеристики усилителя

Если на вход усилителя, помимо сигнала от внешнего источника, поступает также выходной сигнал или его часть, то в усилителе присутствует **обратная связь (ОС)**.

Существует два вида ОС: **внутренняя и внешняя**. При **внутренней ОС** часть выходного напряжения U поступает на вход усилителя за счет внутренних цепей активных элементов (в частности Y_{12}).

Попадание выходного сигнала на вход может происходить также из-за нерационального размещения отдельных усилительных каскадов. Такие ОС называются **паразитными**. Для их исключения применяют следующие меры:

- рациональное расположение деталей;

- разброска на блоки секции

При специально созданной **внешней ОС** напряжение или ток ОС поступает на вход усилителя за счет введения в схему дополнительных элементов и цепей.

Такая ОС широко используется при конструировании усилителей, так как позволяет целенаправленно влиять практически на все показатели усилителя.

Представим усилитель в виде четырехполюсника, выход которого соединим с входом четырехполюсника ОС в выход четырехполюсника ОС с входом

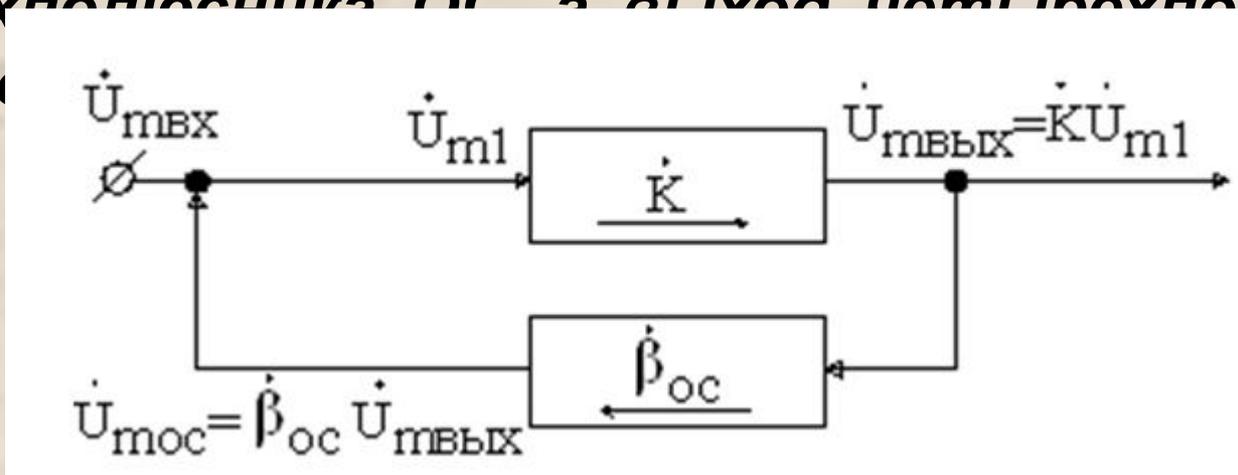


Рисунок 5

В реальных условиях четырехполюсник ОС не всегда присутствует в явном виде, однако, всегда можно найти численное значение коэффициента передачи по напряжению:

$$\beta_{oc} = \frac{\dot{U}_{oc}}{U_{вых}}$$

Напряжение на входе усилителя образуется при сложении напряжений (или токов) источника сигнала и цепи ОС.

$\dot{U}_{вх1} > \dot{U}_m$ Если входной сигнал и сигнал ОС синфазны, то напряжение

и ОС называют *положительной (ПОС)*.

$$\dot{U}_{вх1} < \dot{U}_m$$

Если напряжения $\dot{U}_{m\ вх}$ и $\dot{U}_{m\ oc}$ противофазны, то напряжение

и ОС называют *отрицательной ОС (ООС)*.

В зависимости от того, как образуется сигнал ОС, различают *ОС по напряжению* и *ОС по току* (рисунки 6

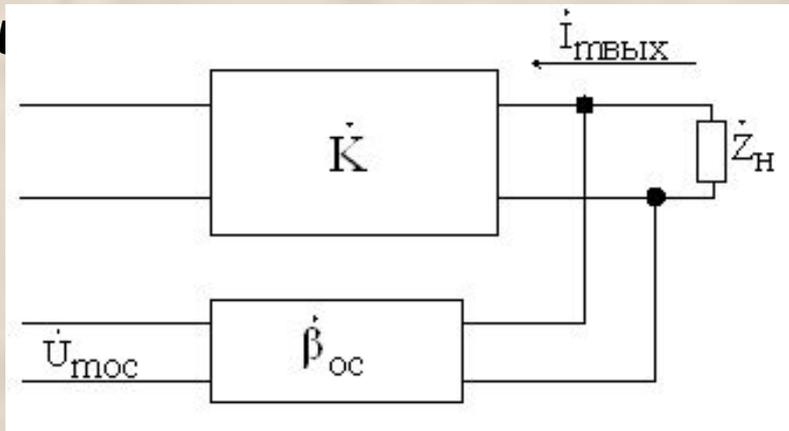


Рисунок 6

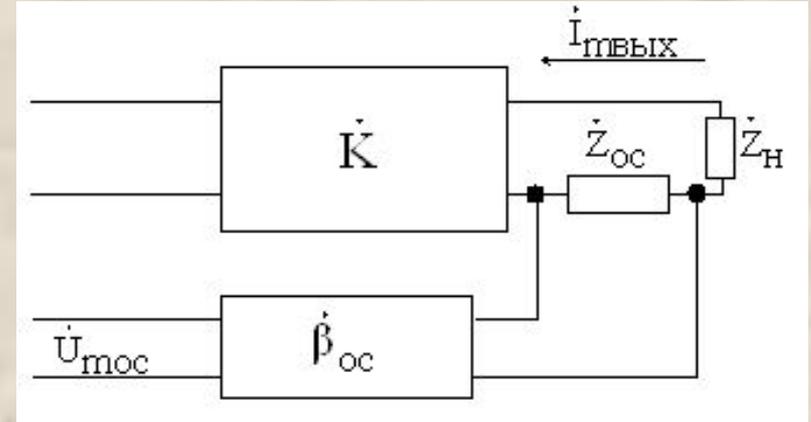


Рисунок 7

В первом случае сигнал ОС образует непосредственное сопротивление нагрузки, и коэффициент передачи цепи ОС равен:

$$\beta_{oc} = \frac{U_{oc}}{U_{вых}}$$

Во втором случае последовательно с Z_H включают сопротивление Z_{oc} , на котором создается падение напряжения и тогда:

$$\beta_{oc} = \frac{U_{oc}}{I_{вых} Z_{oc}}$$

По способу подачи сигнала ОС на вход усилителя различают последовательную и параллельную ОС (рисунок 8).

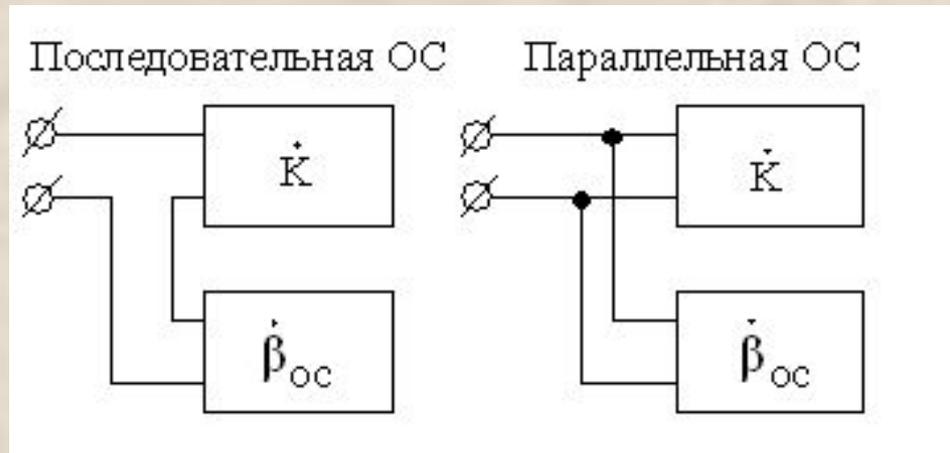
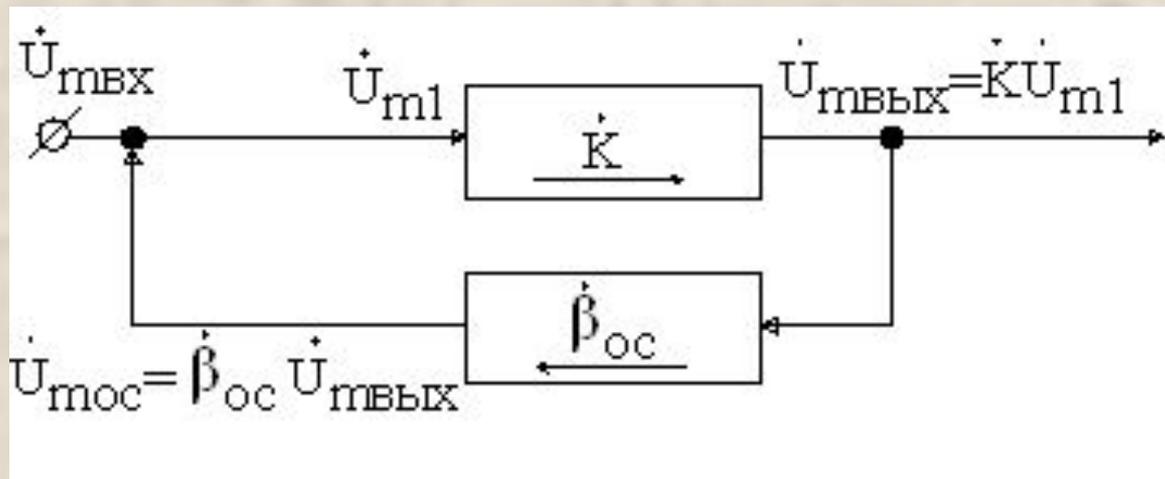


Рисунок 8

При *последовательной ОС* на входе усилителя геометрически суммируются напряжения входного сигнала и сигнала ОС.

При *параллельной ОС* происходит геометрическое суммирование токов.

Полученные схемы формирования ОС и подачи его во входную цепь дают возможность получить схемы с существенным отклонением характеристик



Напряжение на выходе усилителя, охваченного ОС, можно записать в следующем виде:

$$K_{\text{вых}} U_{\text{ос}} = K_{\text{мвх}} U_{\text{м1}}$$

где $U_{\text{м1}}$ - напряжение, воздействующее на вход усилителя, с учетом сигнала ОС; K - коэффициент усиления без учета ОС; $K_{\text{ос}}$ - коэффициент усиления каскада с учетом ОС.

Представим $U_{\text{вх}} = U_{\text{мос}} + U_{\text{м1}}$. Тогда:

$$K_{\text{ос}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{KU_{\text{м1}}}{U_{\text{м1}} - U_{\text{мос}}} = \frac{KU_{\text{м1}}}{KU_{\text{ос}} - \beta U_{\text{м1}}} = \frac{KU_{\text{м1}}}{U_{\text{ос}} - \beta U_{\text{м1}}} = \frac{K}{1 - \beta K}$$

Величина $\beta_{oc} K$ характеризует глубину ОС и называется петлевым усилением.

В общем случае $\beta_{oc} K; K_{oc}$ - комплексные величины, но в определенном частотном диапазоне их можно считать вещественными, тогда:

$$K_{oc} = \frac{K_0}{1 - \beta_{oc} K_0}$$

ВЫВОД: При ПОС петлевое усиление больше 1 и коэффициент усиления возрастает. При петлевом усилении равном 1 усилитель превращается в генератор, при петлевом усилении меньшем 1 (ООС), коэффициент усиления уменьшается. Отрицательная ОС при этом увеличивает стабильность и уменьшает все виды искажений.

Введение ООС существенно влияет на величину входного и выходного сопротивлений усилителей.

При последовательной ООС входное сопротивление усилителя определяется как:

$$K_{oc} = \frac{Z_{вх} \cdot \beta_{oc} K_{oc}}{1 - \beta_{oc} K_{oc}} = Z_{вх} (1 + \beta_{oc} K_{oc})$$

При параллельной ООС входная проводимость оценивается по формуле:

$$K_{\text{вх ос}} = \frac{I_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} = Y_{\text{вх}} + Y_{\text{ос}} (1 + \beta_{\text{ос}})$$

Из полученных выражений следует, что при последовательной ООС входное сопротивление увеличивается в $(1 + \beta_{\text{ос}} \cdot K)$ раз, при параллельной ООС входная проводимость увеличивается на $(1 + \beta_{\text{ос}} \cdot K)$.

Выходное сопротивление в усилителе с ООС по напряжению можно определить (при $R_{\text{ген}} \ll Z_{\text{вх}}$) следующим образом:

$$Z'_{\text{вых ос}} = Z_{\text{вых}} + Z_{\text{ос}} (1 + \beta_{\text{ос}} S Z_{\text{н}}), \quad S = \frac{K}{Z_{\text{вых ос}}}$$

Выходное сопротивление в усилителях с ООС по току определяют как:

Таким образом, введение ООС по напряжению увеличивает выходное сопротивление усилителя в $(1 + \beta_{\text{ос}} \cdot K)$ раз, а введение ООС по току увеличивает выходное сопротивление на $(1 + \beta_{\text{ос}} \cdot S \cdot Z_{\text{н}})$.