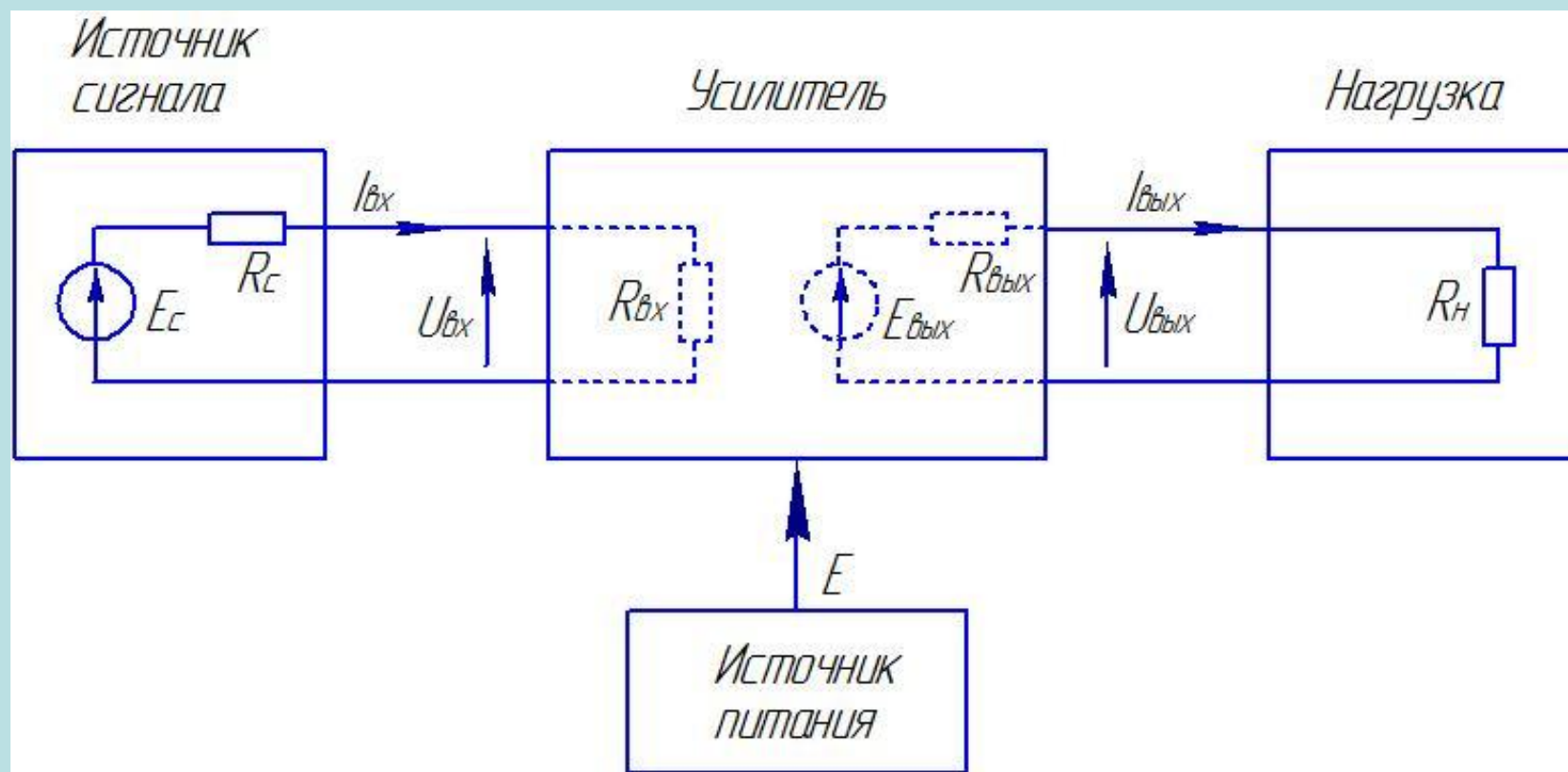


# Основные параметры и характеристики усилителей

*Усилителем называется устройство, предназначенное для увеличения мощности входного сигнала за счет потребления энергии от источника питания.*

# Структурная схема усилителя



# Основные параметры усилителя

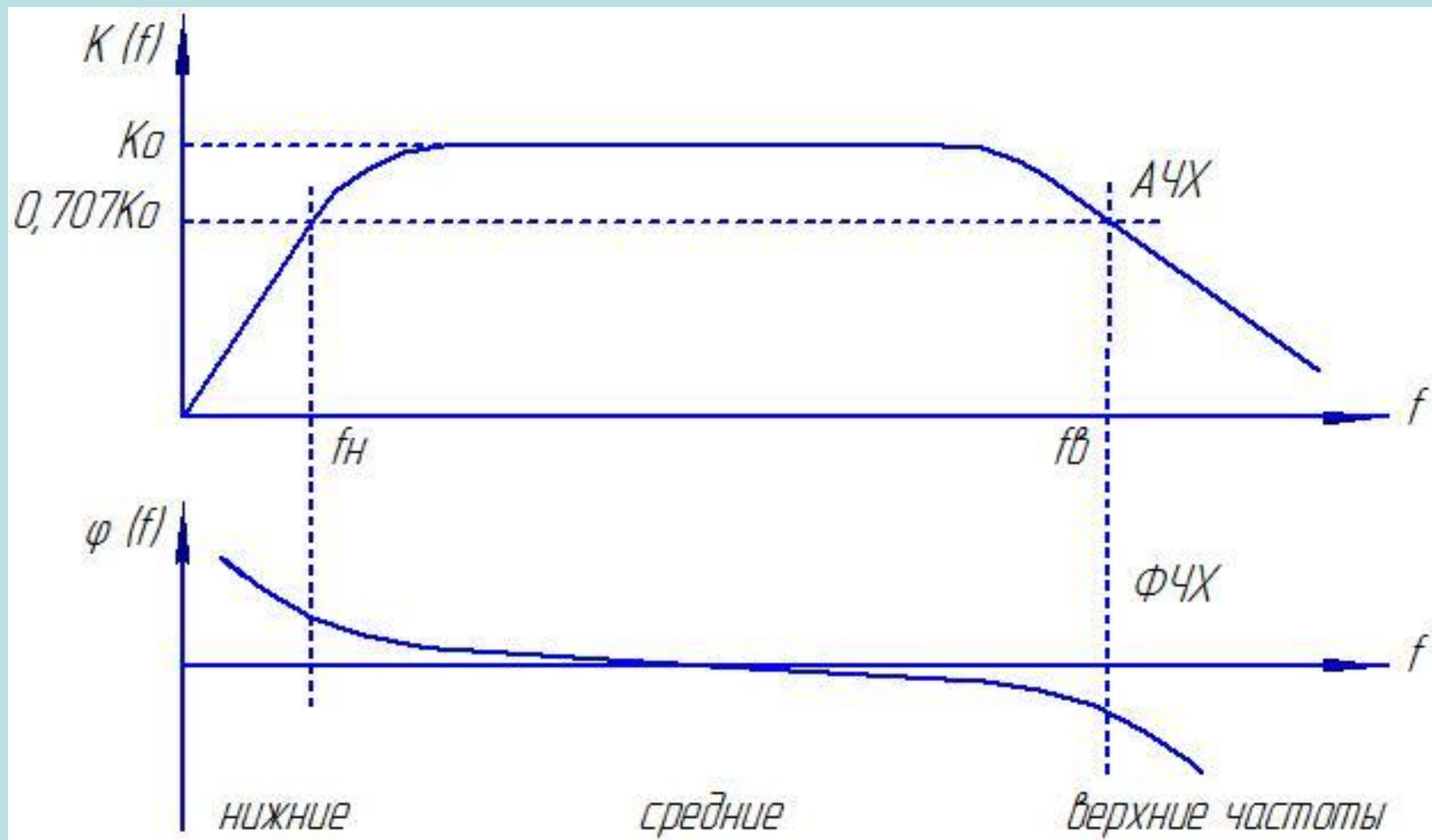
- - входные и выходные данные, к которым относятся: номинальное входное напряжение  $U_{вх}$ , входной ток  $I_{вх}$ , входная мощность  $P_{вх} = U_{вх}I_{вх}$ ; номинальное выходное напряжение  $U_{вых}$ , выходной ток  $I_{вых}$  и выходная мощность  $P_{вых} = U_{вых}I_{вых}$ ; входное  $R_{вх}$  и выходное  $R_{вых}$  сопротивления;
- - коэффициенты усиления по напряжению  $K_u = U_{вых}/U_{вх}$ , току  $K_i = I_{вых}/I_{вх}$  и мощности  $K_p = P_{вых}/P_{вх} = K_u K_i$ ;
- - коэффициент полезного действия  $\eta = P_{вых}/P_{п}$ , где  $P_{п}$  – мощность, потребляемая от источника питания;

# Основные параметры усилителя

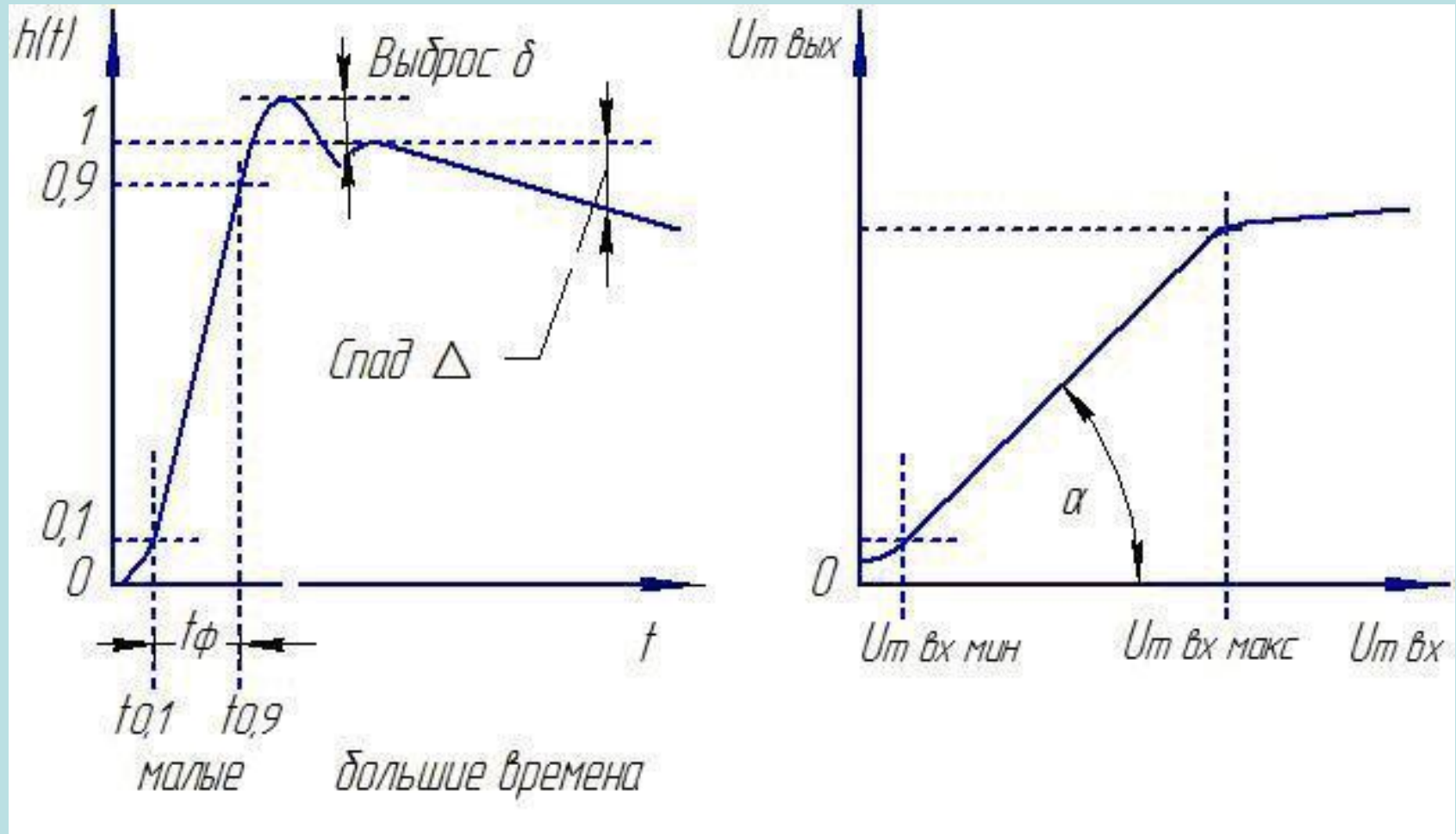
- - динамический диапазон  $D = U_{вх.макс}/U_{вх.мин}$ , где  $U_{вх.макс}$  – максимально допустимое входное напряжение, превышение которого вызывает недопустимые нелинейные искажения сигнала;  $U_{вх.мин}$  – минимальное входное напряжение, ниже которого выходной сигнал невозможно различить на фоне собственных помех усилителя.
- - комплексный коэффициент усиления  $K_U(j\omega)$

$$\bar{K}_U = \frac{\bar{U}_{вых}}{\bar{U}_{вх}} = |\bar{K}_U| e^{j\varphi},$$

## Частотные характеристики усилителя

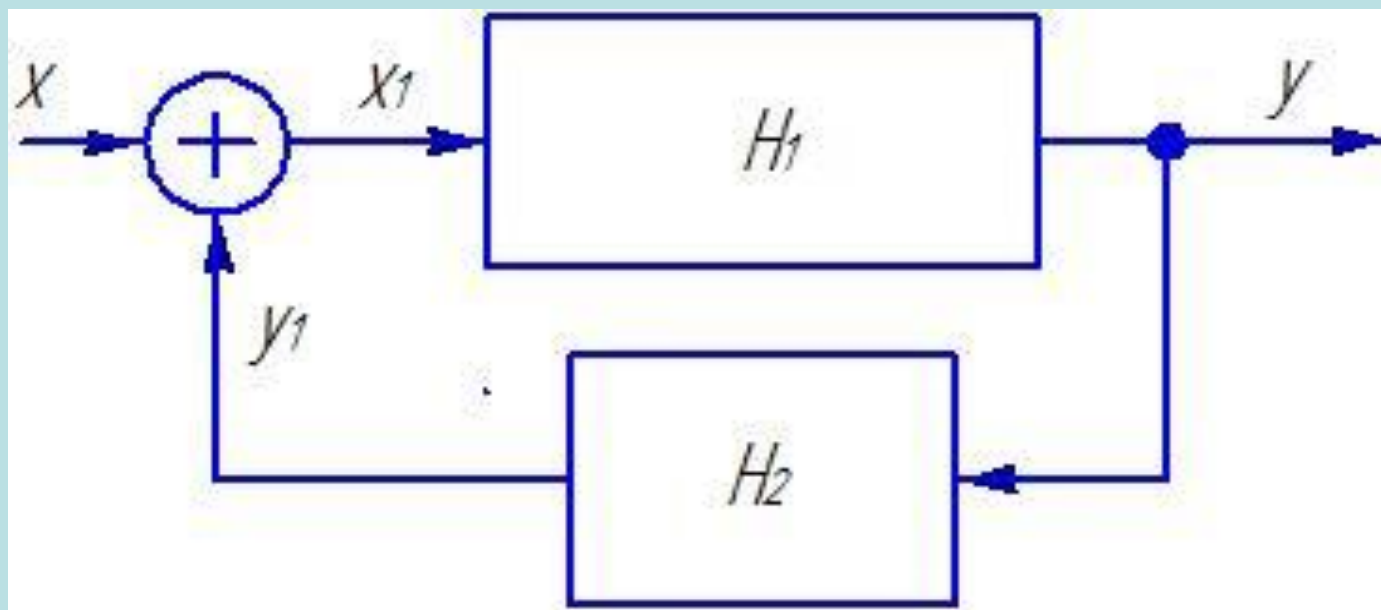


# Переходная и амплитудная характеристики



# Обратные связи в усилителях

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



Коэффициент усиления при обратной связи

$$y = H_1 x, \quad y_1 = H_2 y, \quad x_1 = x + y_1$$

$$y = \frac{H_1}{1 - H_1 H_2} x.$$

$$H = \frac{H_1}{1 - H_1 H_2} = \frac{H_1}{1 - T} = \frac{1}{A}$$



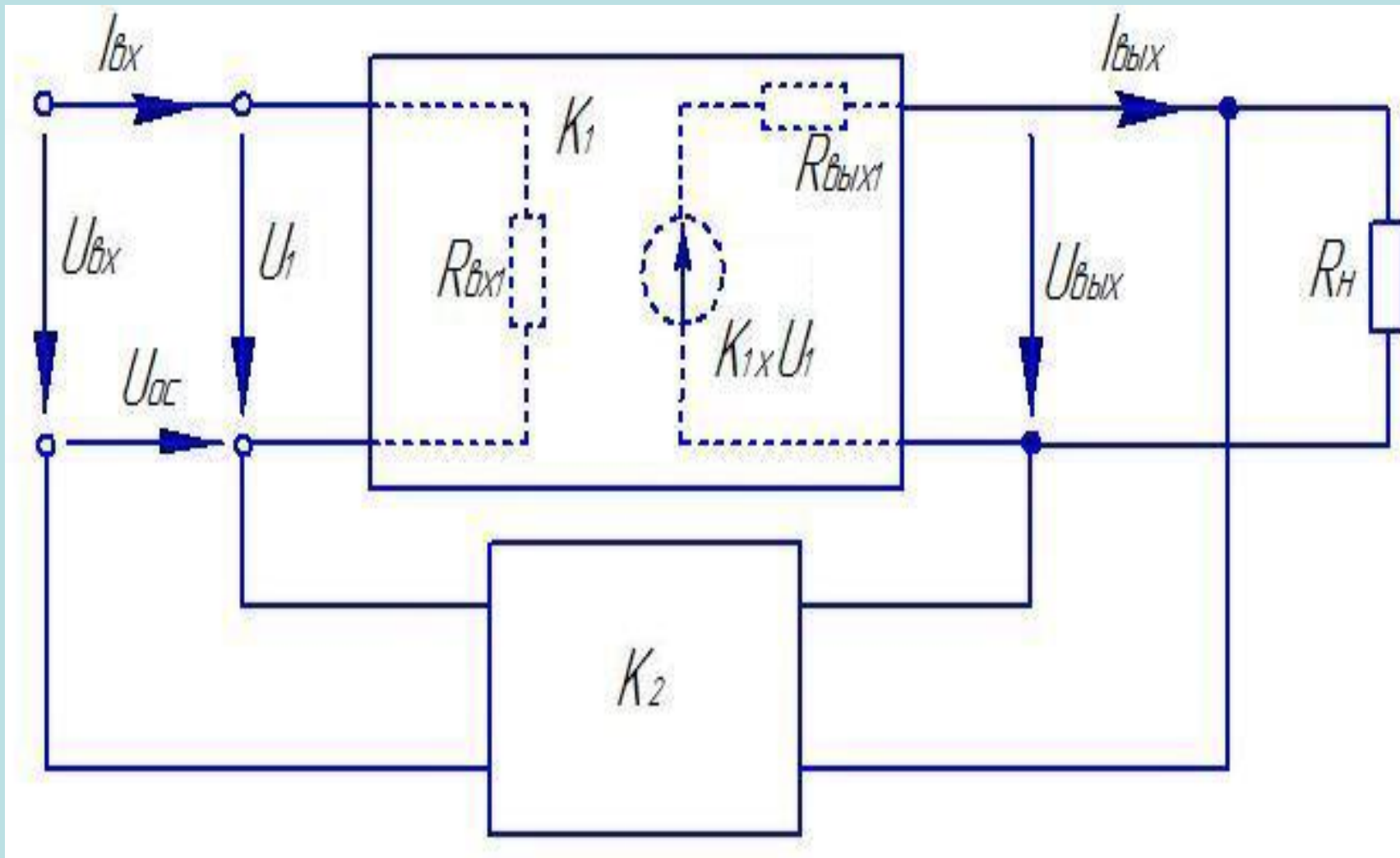
# Классификация обратной связи

- Положительная, если при положительных коэффициентах усиления входной сигнал и сигнал обратной связи складываются
- Отрицательная, если при положительных коэффициентах усиления входной сигнал и сигнал обратной связи вычитаются

# Классификация обратной связи

- По напряжению, если на вход передается сигнал напряжения с выхода
- По току, если на вход передается сигнал, пропорциональный току на выходе
- Последовательная, если сигнал обратной связи включается последовательно с входным (при отрицательной обратной связи уменьшается входное напряжение)
- Параллельная, если сигнал обратной связи включается параллельно с входным (при отрицательной обратной связи уменьшается входной ток)

# Усилитель с последовательной обратной связью по напряжению



# Коэффициент усиления

$$\begin{aligned}U_{вых} &= K_1 U_1, \\U_{ос} &= K_2 U_{вых}, \\U_1 &= U_{вх} - U_{ос}\end{aligned}$$

$$K = \frac{K_1}{1 + K_1 K_2}$$

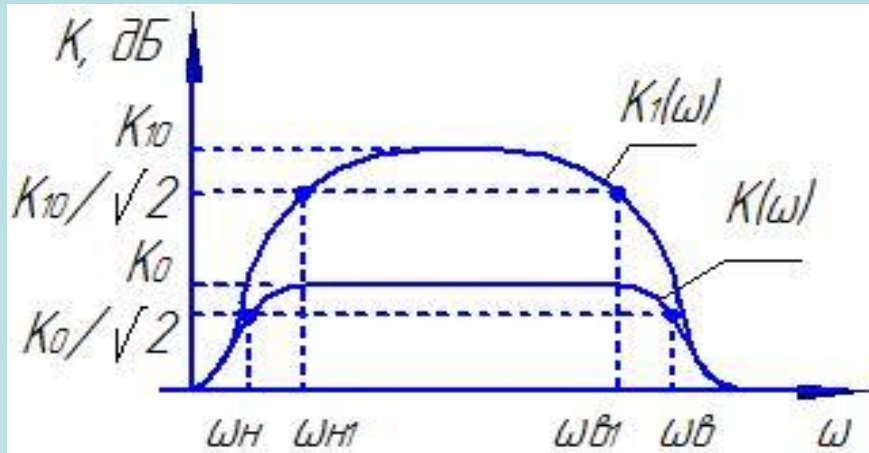
# Преимущества усилителя с последовательной ООС по напряжению

## 1. Расширение полосы пропускания

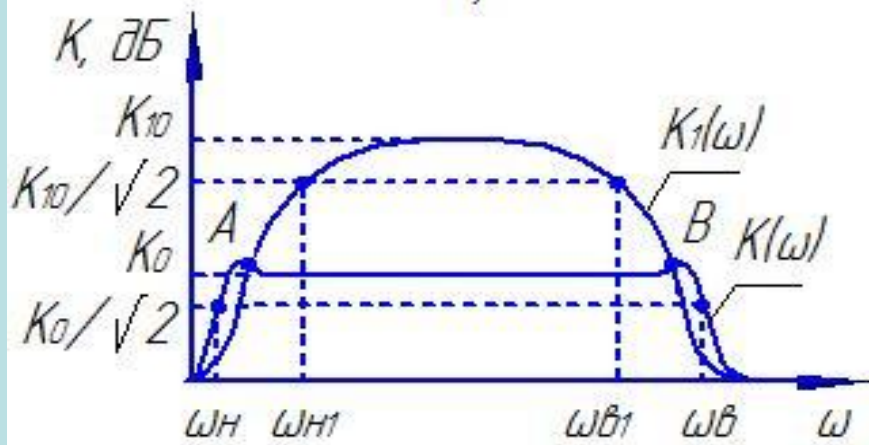
При выполнении условия  $K_1 \gg 1$ , коэффициент усиления – вещественное число

$$\bar{K} = \frac{\bar{K}_1}{1 + K_2 \bar{K}_1} = \frac{1}{K_2}$$

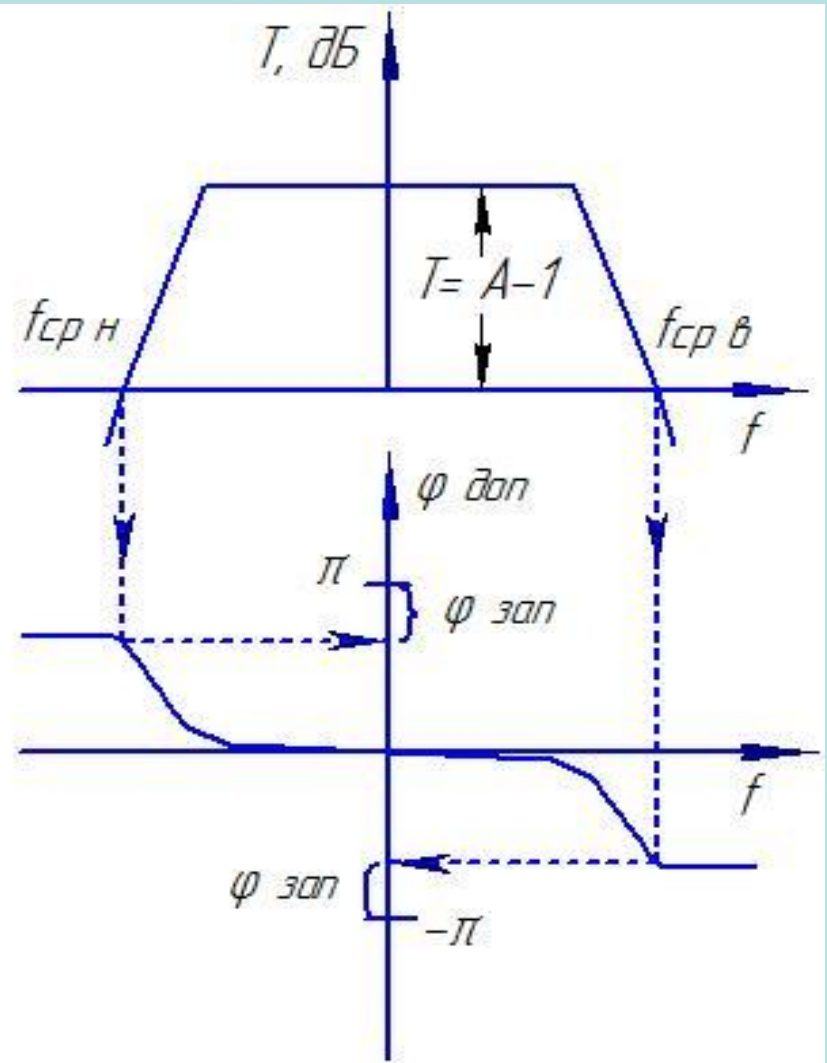
# АЧХ усилителя и петлевого усиления



a)



б)



## 2. Увеличение входного сопротивления

$$U_{oc} = -K_1 K_2 U_1$$

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} \quad R_{вх1} = \frac{U_1}{I_{вх}} \quad R_{вх} = R_{вх1} \frac{U_{вх}}{U_1}$$

Так как  $U_1 = U_{вх} - K_1 K_2 U_1$ ,

то  $U_1 = U_{вх} / (1 + K_1 K_2)$

$$R_{вх} = R_{вх1} (1 + K_1 K_2) = R_{вх1} A .$$

### 3. Уменьшение выходного сопротивления

$$R_{\text{вых}} = U_{\text{xx}} / I_{\text{кз}}$$

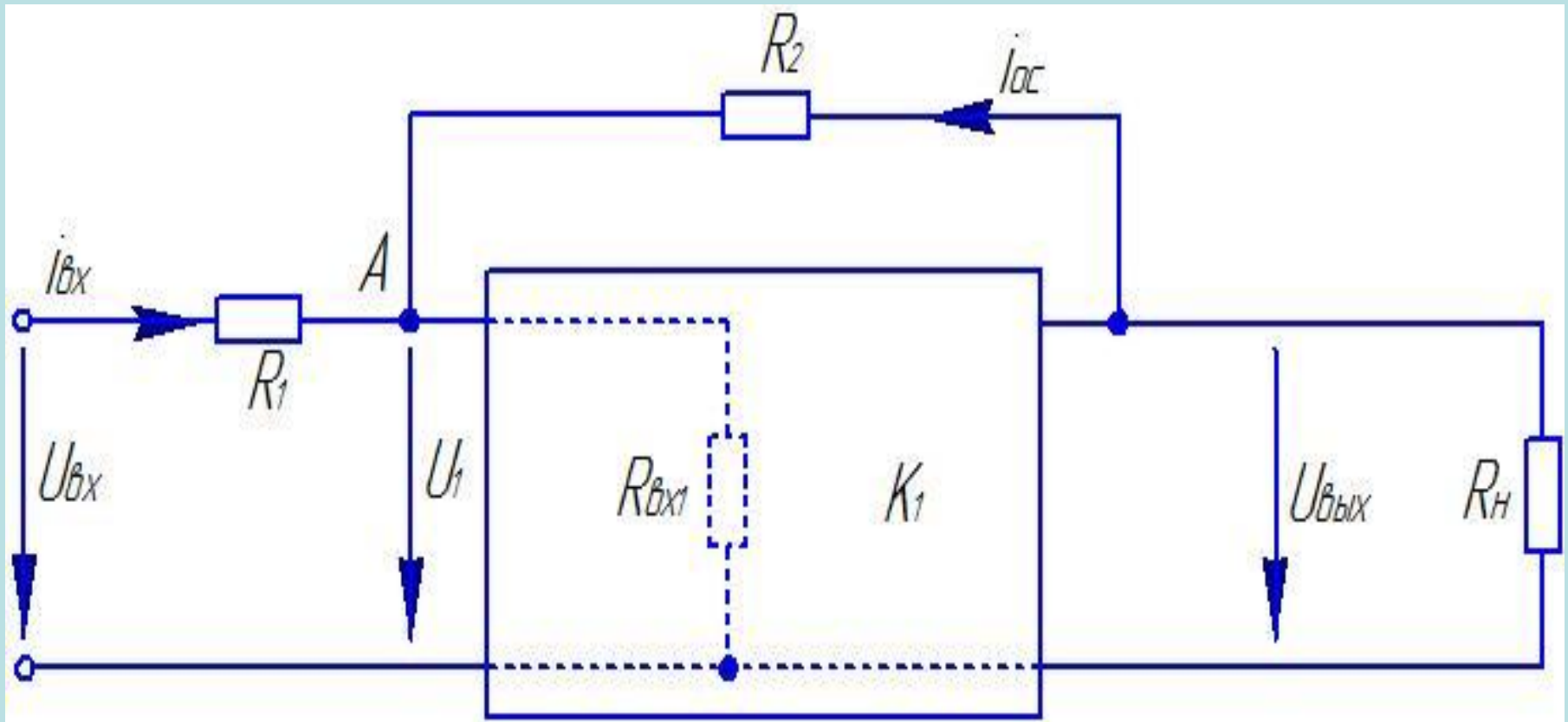
$$U_{\text{xx}} = K_{1x} U_{\text{вх}} / (1 + K_{1x} K_2)$$

$$I_{\text{кз}} = K_{1x} U_{\text{вх}} / R_{\text{вых1}}$$

$$R_{\text{вых}} = \frac{K_{1x} U_{\text{xx}} / (1 + K_{1x} K_2)}{K_{1x} U_{\text{вх}} / R_{\text{вых1}}} = \frac{R_{\text{вых1}}}{1 + K_{1x} K_2}$$



# Усилитель с параллельной обратной связью по напряжению



## Коэффициент усиления

$$\frac{U_{вх} - U_1}{R_1} + \frac{U_{вых} - U_1}{R_2} - \frac{U_1}{R_{вх}} = 0$$

*Выражая  $U_1 = U_{вых}/K$  получим*

$$\frac{U_{вх}}{R_1} + \frac{U_{вых}}{R_2} - \frac{U_{вых}}{K_1} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{вх}} \right) = 0$$

## Коэффициент усиления

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 - \frac{1}{K_1} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_{\text{вх}}} \right)} = \frac{K_1}{1 - K_1 \left[ \frac{R_1}{R_2} - \frac{1}{K_1} \left( \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_{\text{вх}}} \right) \right]}$$

$$K = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 - \frac{1}{K_1} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_{\text{вх}}} \right)} = \frac{K_1}{1 - K_1 \left[ \frac{R_1}{R_2} - \frac{1}{K_1} \left( \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_{\text{вх}}} \right) \right]}$$

При  $K_1 \gg 1$  получаем

$$K = \frac{R_2}{R_1}$$

## Входное сопротивление

Сказанное ранее о влиянии обратной связи по напряжению на частотные характеристики и выходное сопротивление остается справедливым и в данном случае.

Выражая входной ток усилителя с параллельной обратной связью через напряжение  $U$

$$I_{вх} = I - I_{ос} = \frac{U_1}{R_{вх}} - \frac{U_{вых} - U_1}{R_2} = \left( \frac{1}{R_{вх}} + \frac{1 - K_1}{R_2} \right) U_1$$

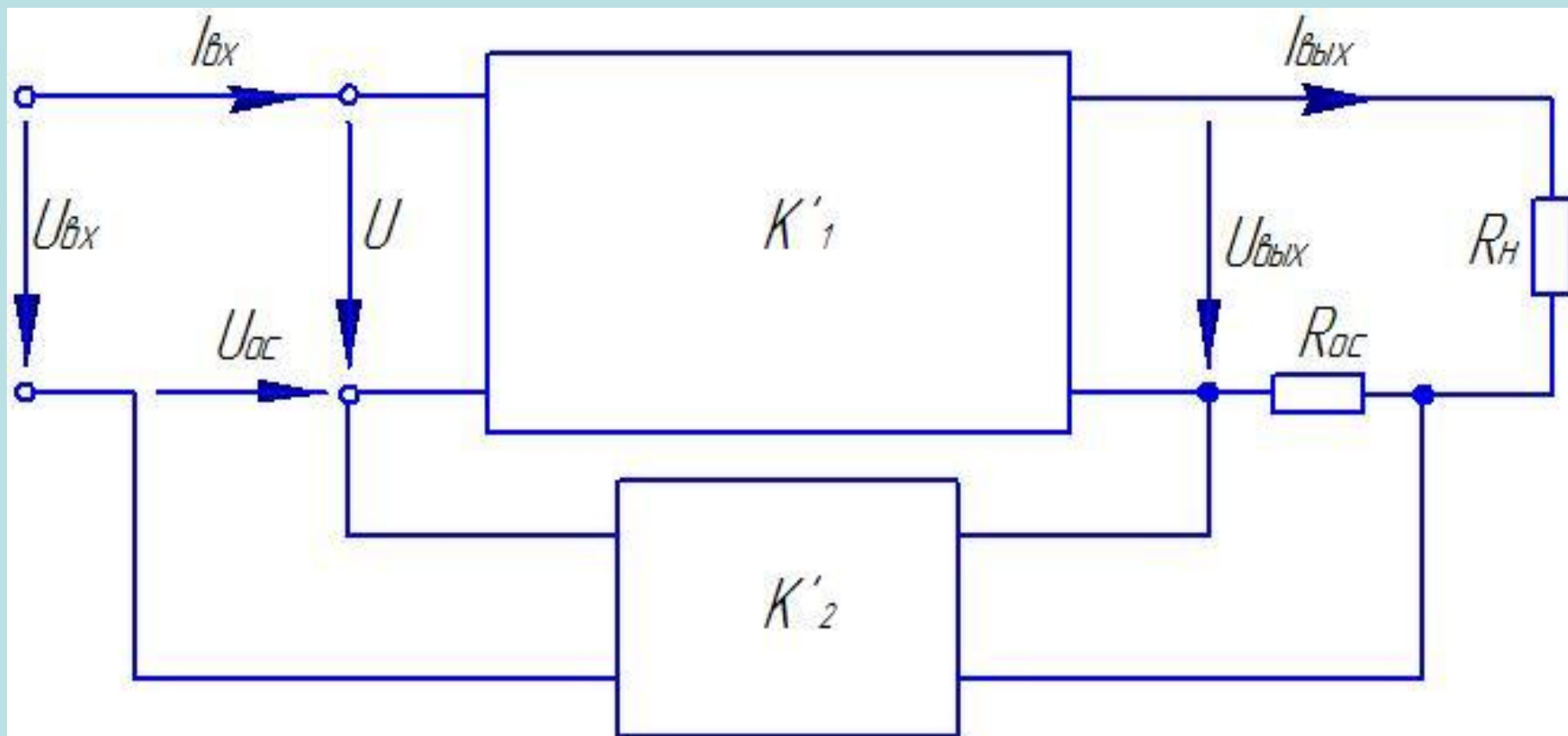
и подставляя его в равенство

получаем:

$$R_{вх} = R_1 + \frac{U_1}{I_{вх}}$$

$$R_{вхОС} = R_1 + R_{вх} \left\| \frac{R_2}{1 - K_1} \right.$$

## Последовательная обратная связь по току



## Коэффициент усиления

$$U_{oc} = K_2 R_{oc} I_{вых}$$

$$U_1 = U_{вх} + K_2 R_{oc} I_{вых}$$

$$\frac{U_1}{U_{вых}} = \frac{U_{вх}}{U_{вых}} + K_2 R_{oc} \frac{I_{вых}}{U_{вых}}$$

$$\frac{U_{вх}}{U_{вых}} = \frac{1}{K}, \quad \frac{I_{вых}}{U_{вых}} = \frac{1}{R_H}$$

# Коэффициент усиления

$$K_1 U_1 = U_{\text{вых}} + U_{\text{вых}} \frac{R_{oc}}{R_H}$$

$$\frac{U_1}{U_{\text{вых}}} = \frac{1}{K_1} \left( 1 + \frac{R_{oc}}{R_H} \right)$$

$$K = \frac{K_1 \frac{R_H}{R_H + R_{oc}}}{1 - \frac{R_{oc}}{R_H + R_{oc}} K_1 K_2} = \frac{K_1'}{1 - K_1' K_2'}$$

# Выходное сопротивление

$$I_{\text{вых}} = \frac{K_{1x} U_1}{R_{\text{вых}1} + R_{oc} + R_H}$$

$$U_1 = U_{\text{вх}} + K_2 R_{oc} I_{\text{вых}}$$

$$I_{\text{вых}} = \frac{K_{1x} (U_{\text{вх}} + K_2 R_{oc} I_{\text{вых}})}{R_{\text{вых}1} + R_{oc} + R_H}$$



# Выходное сопротивление

$$I_{\text{вых}} = \frac{K_{1x} U_{\text{вх}}}{R_{\text{вых}1} + (1 - K_{1x} K_2) R_{\text{ос}} + R_{\text{н}}}$$

$$I_{\text{вых}} = \frac{K_x U_{\text{вх}}}{R_{\text{вых}} + R_{\text{н}}}$$

$$R_{\text{вых}} = R_{\text{вых}1} + (1 - K_{1x} K_2) R_{\text{ос}}$$