

Усилители в радиоприемных устройствах

Назначение и основные требования:

1. Усиление модулированных несущих колебаний – радиосигналов в радиоприемнике до преобразования частоты, т.е. **на радиочастоте**.
2. Усиление модулированных несущих колебаний после преобразователя – **на промежуточной частоте**.
3. **Частотная избирательность (селективность)** - усиление ВЧ модулированных колебаний в заданной полосе частот, поэтому усилители содержат **резонансные нагрузки** или **частотно-избирательные элементы** каскадной связи.

Входные каскады УСИЛИТЕЛЕЙ должны иметь:

малый коэффициент шума,
большое входное сопротивление,
высокую линейность усиления.

Диапазонные усилители должны иметь контуры **с переменной настройкой**. Выполняются **одноконтурными** с применением ПТ или БП транзисторов в дискретном или интегральном исполнении.

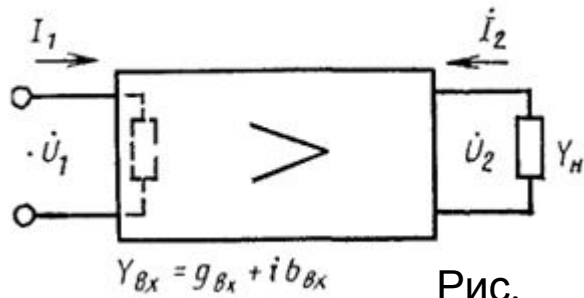
Первые каскады приемников (УРЧ) лучше выполнять на ПТ: малый коэффициент шума, большое входное сопротивление, высокая линейность усиления.

В УПЧ – лучше БТ, которые обеспечивают высокой К усиления.

На СВЧ – лучше применять полупроводниковые параметрические усилители (ППУ) или туннельные усилители.

Основные показатели усилителей

1. Резонансный коэффициент усиления – это отношение амплитуды выходного напряжения к амплитуде входного напряжения на частоте настройки (рис. 1):



$$K_0 = \frac{U_{20}}{U_{10}}$$

Коэффициент усиления мощности - отношение мощности, потребляемой нагрузкой,

к мощности, потребляемой на входе усилителя :

$$K_p = \frac{P_2}{P_{BX}} = \frac{U_{20}^2 G_H}{U_{10}^2 G_{BX}}$$

где G_H – составляющая проводимости нагрузки усилителя, G_{BX} - составляющая входной проводимости усилителя.

Связь между K_p и K_0 :

$$K_p = K_0^2 \frac{G_H}{G_{BX}} \quad \text{и} \quad K_0 = \sqrt{K_p} \sqrt{\frac{G_{BX}}{G_H}}$$

При $G_{BX} = G_H$ (частный случай):

$$K_0 = \sqrt{K_p}$$

2. Избирательность усилителя характеризуется коэффициентом прямоугольности K_{Π} ,

равном отношению полосы пропускания ΔF_0 на уровне $y = 0,707$ к полосе пропускания $\Delta F_{\frac{1}{\sigma}}$ при заданном ослаблении σ (рис. 2):

$$K_{\Pi} = \frac{\Delta F_0}{\Delta F_{\frac{1}{\sigma}}}$$

Значение ослабления σ выбирается кратным 10: 10, 100, 1000 и т.д.

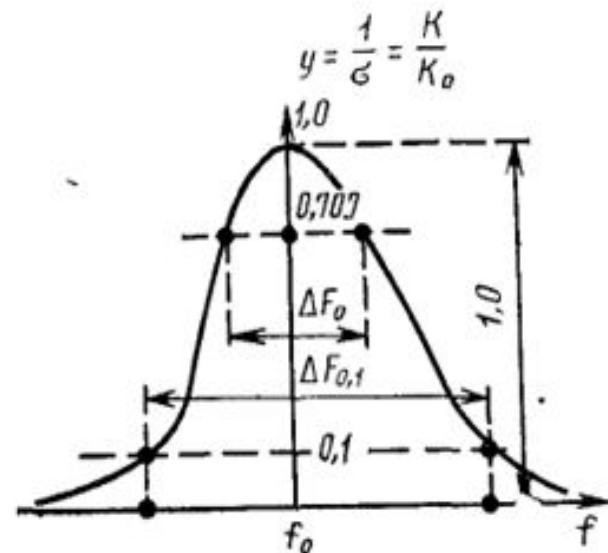


Рис. 2

3. Коэффициент шума - это отношение мощности шума, измеренной на линейном выходе приемника к мощности шума, которая была бы на выходе, если бы тепловой шум источника сигнала был единственным источником шума в системе;

$$K_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{ш}\Sigma}}{P_{\text{ш}\text{АЭ}}} = \frac{E_{\text{ш}\Sigma}^2}{E_{\text{ш}\text{АЭ}}^2}$$

Учитывая формулу Найквиста и зная, что: $E_{\text{ш}\Sigma}^2 = E_{\text{ш}\text{АЭ}}^2 + E_{\text{ш}\text{пр}}^2 = 4k(T_A + T_{\text{пр}})R_A\Delta f$

при $T_A = T_0 = 293 \text{ К}$, следует $K_{\text{ш}} = 1 + \frac{T_{\text{пр}}}{T_0}$ или $T_{\text{пр}} = T_0(K_{\text{ш}} - 1)$

4. **Линейные искажения**, обусловленные избирательными цепями, и нелинейные искажения, вызываемые нелинейностью характеристик усилительных приборов.

5. **Устойчивость работы** - способность сохранять основные свойства и характеристики в процессе эксплуатации.

Резонансные усилители осуществляют усиление ВЧ модулированных колебаний **в заданной полосе частот.**

Состав усилительного каскада :

усилительный прибор (транзистор, электронная лампа, ИМС);

избирательная цепь, предназначенная для выделения области частот, где содержится основная часть спектра полезного сигнала;

цепи связи.

Согласование: 1. усилительного прибора с избирательной цепью

и 2. **избирательной цепи с нагрузкой** осуществляется с помощью реактивных элементов.

Для получения большого усиления применяют *многокаскадные* усилители.

Если избирательные свойства обеспечены в предыдущих элементах структурной схемы, то могут быть использованы **апериодические усилители с резистивными нагрузками**, но надо знать, что они имеют **малый коэффициент усиления** при одних и тех же усилительных приборах. Кроме того, они имеют **избыточную полосу пропускания.**

Резонансные усилители делятся на: 1) усилители с постоянной настройкой и 2) с переменной настройкой.

В зависимости от числа контуров в избирательной системе они бывают **одноконтурными, двухконтурными** и **многоконтурными**, куда можно отнести **усилители с фильтрами сосредоточенной избирательности (ФСИ).**

Различают **широкополосные** усилители (при $\frac{\Delta F_0}{f_0} > 0,2$) и **узкополосные** (при $\frac{\Delta F_0}{f_0} < 0,2$).

Связь между полосой пропускания одиночного резонансного контура ΔF_K и его добротностью Q_K :

$$\Delta F_K = \frac{f_0}{Q_K}.$$

Общая теория избирательных усилителей

Избирательный усилитель состоит из следующих основных узлов: усилительного прибора (УП), избирательного фильтра и цепей связи (1, 2) избирательного фильтра с усилительным прибором (УП) и нагрузкой каскада Y_H (рис.3):

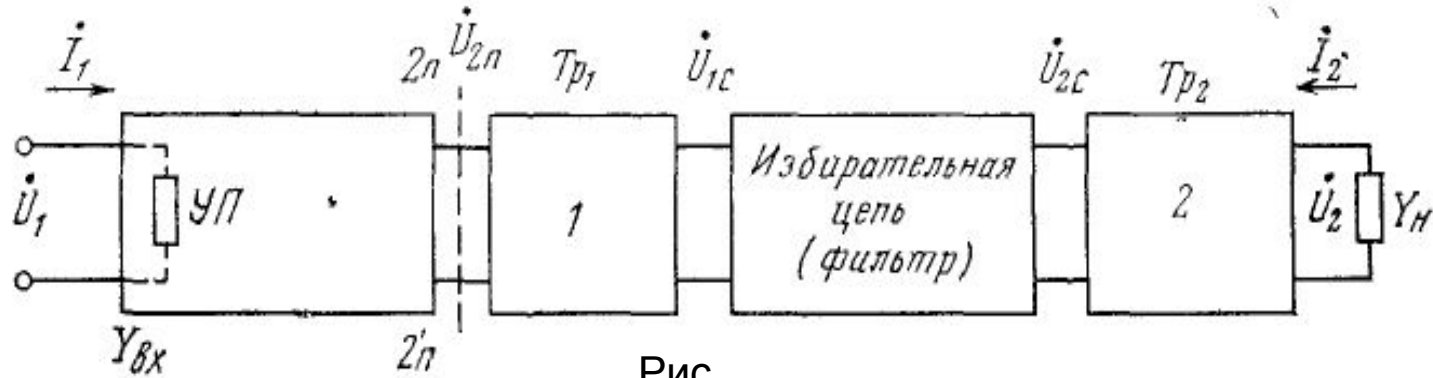


Рис.

Усилительный прибор - линейный активный ³ четырехполюсник (рис. 4):

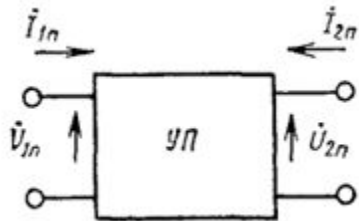


Рис.

$$\dot{I}_{1n} = Y_{11} \dot{U}_{1n} + Y_{12} \dot{U}_{2n}$$

$$\dot{I}_{2n} = Y_{21} \dot{U}_{1n} + Y_{22} \dot{U}_{2n}$$

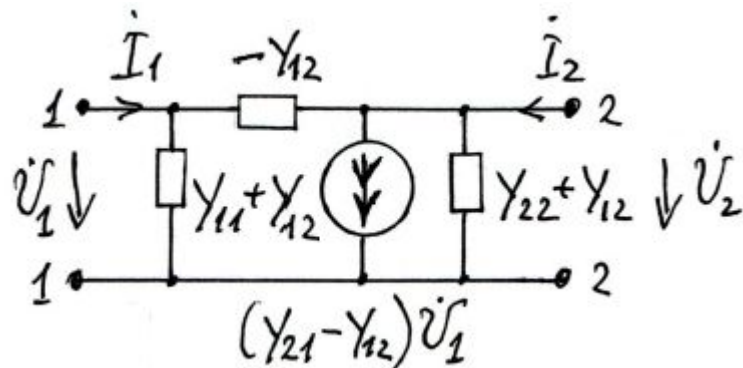
$Y_{11} = I_1/U_1$ - входная проводимость транзистора, при $U_2 = 0$

$Y_{12} = I_1/U_2$ - проводимость обратной связи, при $U_1 = 0$

$Y_{21} = I_2/U_1$ - проводимость прямой передачи, при $U_2 = 0$

$Y_{22} = I_2/U_2$ - выходная проводимость транзистора, при $U_1 = 0$

На основе системы параметров может быть составлена формальная эквивалентная схема:

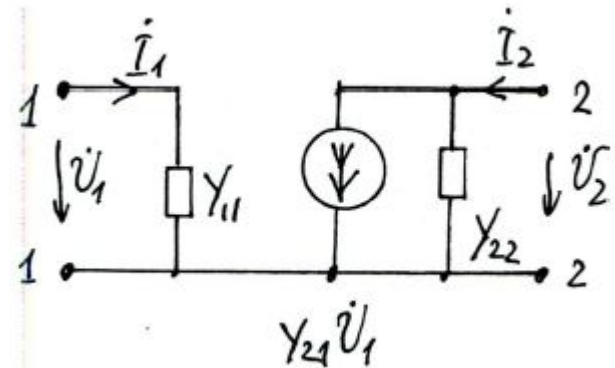


$$Y_{11} = g_{11} + j\omega C_{11} \quad Y_{21} = |Y_{21}|e^{j\varphi_{21}}$$

$$-Y_{12} \approx g_{12} + j\omega C_{12} \quad Y_{22} = g_{22} + j\omega C_{22}$$

здесь $|Y_{21}| = \frac{S}{\sqrt{1 + \frac{\omega}{(\omega_S)^2}}}$,

где ω_S - угловая частота, кода крутизна Y_{21} уменьшается в $\sqrt{2}$ раза.



$$Y_{11} = g_{11} + j\omega C_{11} \quad Y_{21} = |Y_{21}|e^{j\varphi_{21}}$$

$$Y_{22} = g_{22} + j\omega C_{22}$$

Усилительный прибор по отношению к зажимам 2 - 2 можно представить в виде генератора тока $Y_{21}\dot{U}_{1\Pi}$ с внутренней проводимостью Y_{22} (рис. 5):

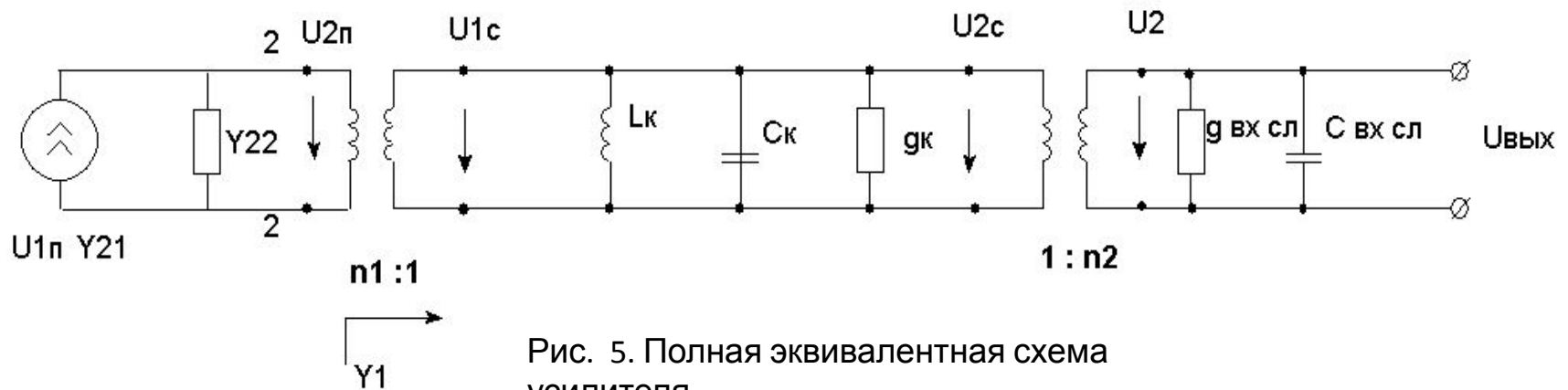


Рис. 5. Полная эквивалентная схема усилителя

Цепи связи фильтра с усилительным прибором и нагрузкой можно представить в виде идеальных трансформаторов $Tr1$ и $Tr2$ с коэффициентами трансформации n_1 и n_2 : $n_1 = \frac{\dot{U}_{2\Pi}}{\dot{U}_{1c}}$ и $n_2 = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_{2c}}$. 1)

Коэффициент передачи нагруженного фильтра: $K_c = \frac{\dot{U}_{2c}}{\dot{U}_{1c}}$. 2)

Напряжение на входных зажимах трансформатора $Tr1$: $\dot{U}_{2\Pi} = \frac{-Y_{21}\dot{U}_{1\Pi}}{Y_{22} + \frac{Y_1}{n_1^2}}$, 3)

где Y_1 – входная проводимость нагруженного фильтра

Учитывая 1),2),3) , получим выходное **напряжение усилительного каскада**: $\dot{U}_2 = \frac{-Y_{21}\dot{U}_{1\Pi}K_cn_2}{Y_{22} + \frac{Y_1}{n_1^2}} n_1$ 4)

Согласно 4) **коэффициент усиления каскада** равен: $K = \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_{1\Pi}} = \frac{-Y_{21}K_cn_2n_1}{Y_1 + n_1^2 Y_{22}}$.

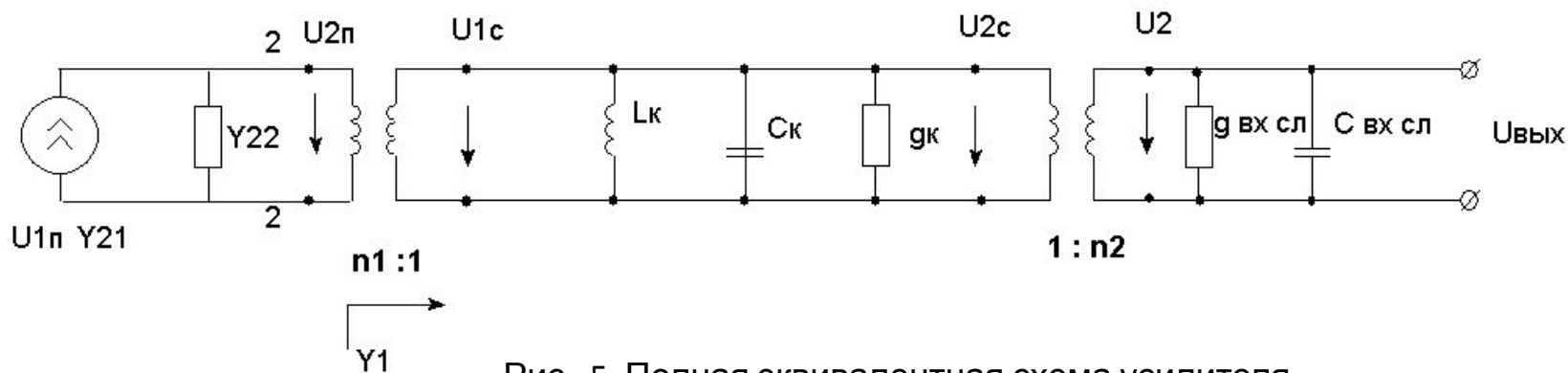


Рис. 5. Полная эквивалентная схема усилителя

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_1} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{-Y_{21}}{Y_{22} + Y_{\text{Н}}} = \\
 &= \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{-Y_{21}}{g_{22} + j\omega C_{22} + \frac{g_{\text{К}} + j\omega C_{\text{К}} + \frac{1}{j\omega L_{\text{К}}} + n_2^2 \cdot g_{\text{ВХ СЛ}} + n_2^2 \cdot j\omega C_{\text{ВХ СЛ}}}{n_1^2}} = \frac{-Y_{21} \cdot n_1 \cdot n_2}{g_{\text{КЭ}} \cdot (1 + j\xi)}
 \end{aligned}$$

$g_{\text{КЭ}} = g_{\text{К}} + n_1^2 \cdot g_{22} + n_2^2 \cdot g_{\text{ВХ СЛ}}$ - полная эквивалентная проводимость контура

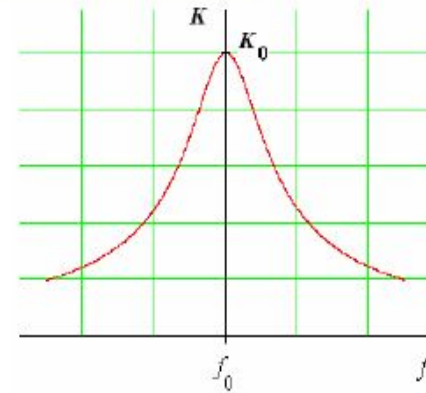
ξ – обобщенная расстройка

$$K = \frac{-Y_{21} \cdot n_1 \cdot n_2}{g_{KЭ} \cdot (1 + j\xi)}$$

$$g_{KЭ} = g_K + n_1^2 \cdot g_{22} + n_2^2 \cdot g_{ВХ СЛ}$$

$$\xi = Q_{KЭ} \left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right)$$

$$K = \frac{|Y_{21}| \cdot n_1 \cdot n_2}{g_{KЭ} \cdot \sqrt{1 + \xi^2}} = \frac{K_0}{\sqrt{1 + \xi^2}}$$



Коэффициент ухудшения избирательности, определяющий допуск на увеличение результирующего затухания по сравнению с конструктивным:

$$D = \frac{d_{\text{э}}}{d_K} = \frac{g_{\text{ЭК}}}{g_K}$$

при $\xi = 0$:

$$K_0 = \frac{|Y_{21}| \cdot n_1 \cdot n_2}{g_{KЭ}} = \frac{|Y_{21}| \cdot n_1 \cdot n_2}{g_K + n_1^2 \cdot g_{22} + n_2^2 \cdot g_{ВХ СЛ}}$$

$$D = \frac{g_{KЭ}}{g_K} = 1 + n_1^2 \cdot \frac{g_{22}}{g_K} + n_2^2 \cdot \frac{g_{ВХ СЛ}}{g_K}$$

Выражения для K и D резонансного усилителя схожи с выражениями для K и D резонансного ВУ

Для ВУ:
$$K_0 = \frac{n_1 \cdot n_2}{|Z_A| \cdot (g_K + n_1^2 \cdot g_A + n_2^2 \cdot g_{ВХ СЛ})} \quad |Z_A| \Rightarrow 1/|Y_{21}| \quad g_A \Rightarrow g_{22}$$

Выводы, сделанные для ВУ, справедливы и для резонансного усилителя

Резонансный коэффициент усиления K_0 максимален при:

$$n_{1\text{опт}} = \sqrt{\frac{D-1}{2} \frac{g_K}{g_{22}}} \quad n_{2\text{опт}} = \sqrt{\frac{D-1}{2} \frac{g_K}{g_{\text{вх сл}}}}$$

$$\text{Тогда при } K_0 = \frac{|Y_{210}| n_1 n_2}{D g_K} \rightarrow K_{0\text{max}} = \frac{|Y_{210}|}{2\sqrt{g_{\text{вх сл}} g_{22}}} \left(1 - \frac{1}{D}\right)$$

Определим входную проводимость усилителя в точках 2 - 2 (см. рис. 5):

$$\dot{Y}_{\text{вх}} = \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} = \dot{Y}_{11} + \dot{Y}_{12} \frac{\dot{U}_2}{\dot{U}_1} = \dot{Y}_{11} - \frac{\dot{Y}_{12} Y_{21} K_c n_2 n_1}{Y_1 + n_1^2 Y_{22}}$$

$$\text{Выходная проводимость усилителя: } \dot{Y}_{\text{вых}} = \dot{Y}_{22} - \frac{\dot{Y}_{12} Y_{21}}{Y_{11} + Y_{\text{и}}}$$

Из-за внутренней обратной связи входная проводимость зависит от проводимости нагрузки, а выходная от проводимости источника сигнала.

$$\text{Сквозной коэффициент передачи: } K_E = \frac{\dot{U}_2}{\dot{E}_\Gamma} = \frac{\dot{K}}{1 + Z_\Gamma Y_{\text{вх}}}$$

Влияние внутренней обратной связи на свойства резонансного

усилителя

Обратная связь в усилителях возможна через:

цепи питания,

через соединительные цепи усилителя,

через проводимость внутренней обратной связи усилительного прибора (УП).

