

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

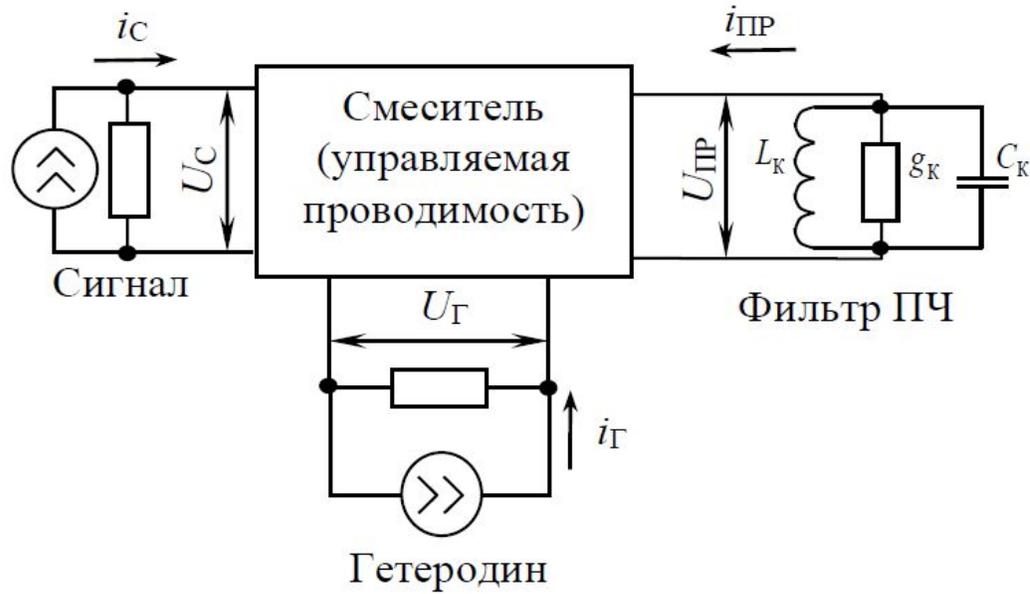


Уфимский государственный авиационный технический университет

Радиоприемные устройства. Преобразователи частоты

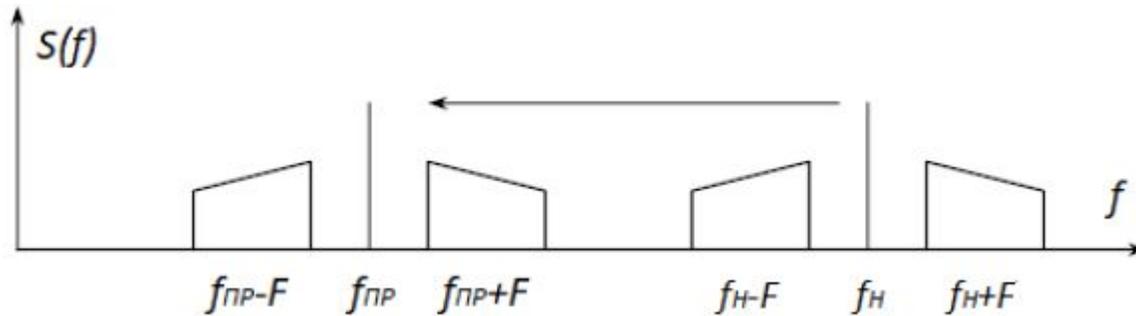


Структура преобразователя частоты



$$U_c = u_c \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c)$$

$$U_Г = u_{zem} \cdot \cos(\omega_{zem} t)$$





УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

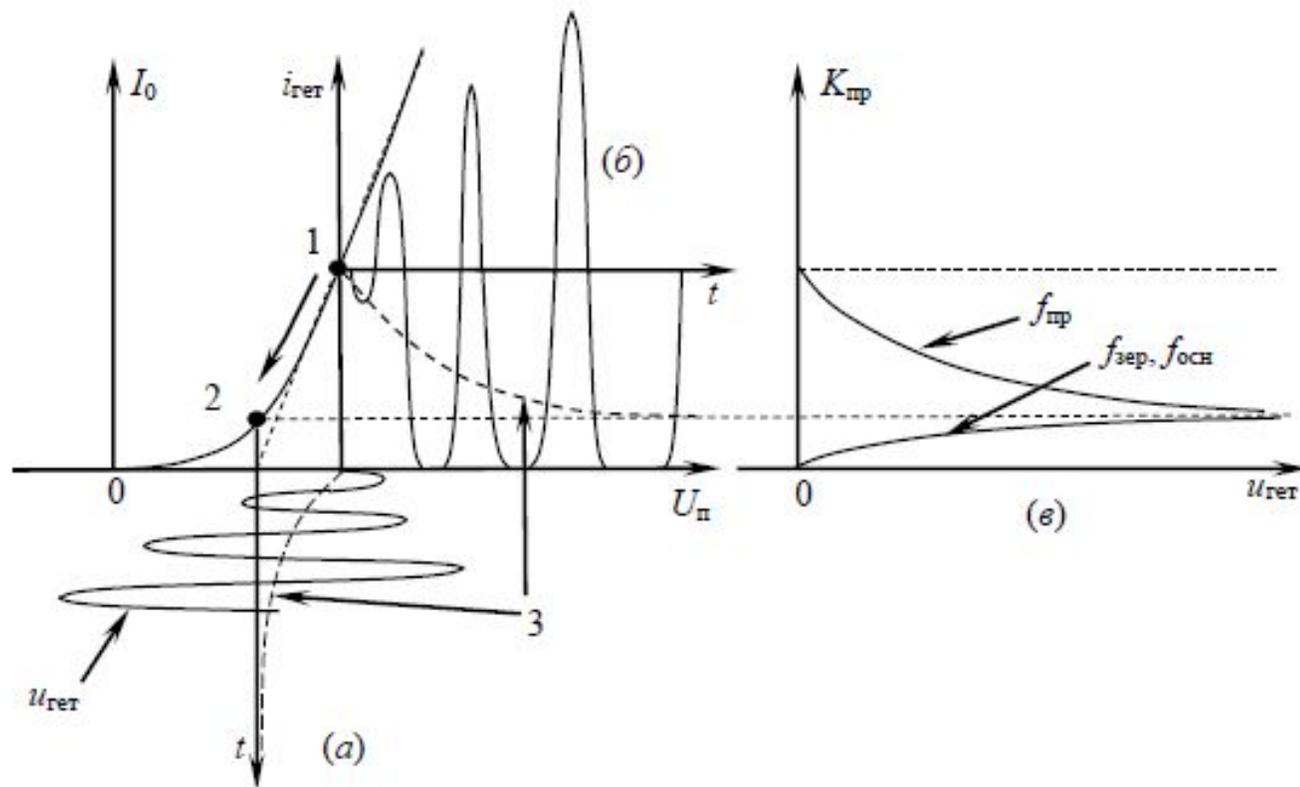
Немного формул

$$U_C = u_c \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_c)$$

$$U_\Gamma = u_{zem} \cdot \cos(\omega_{zem} t)$$

$$U_C \cdot U_\Gamma = 0.5 u_c \cdot u_{zem} \cdot \cos[(\omega_{zem} \pm \omega_c) \cdot t \pm \varphi_{zem}].$$

$$U_{\Pi P} = u_{np} \cdot \cos(\omega_{np} t + \varphi_{np}).$$



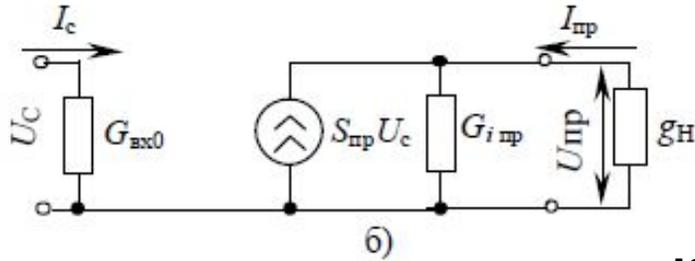
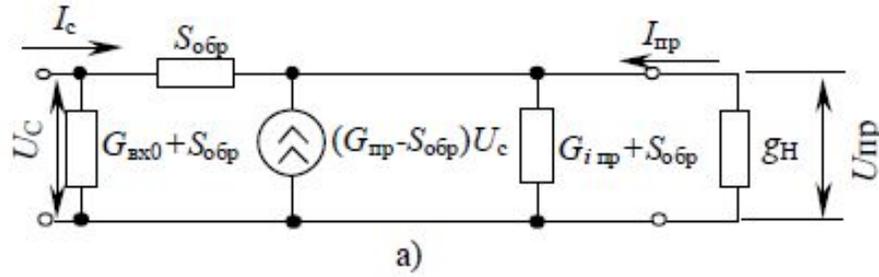


УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Анализ работы преобразователя частоты

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_c &= S_{\text{ОБР}} \dot{U}_{\text{ПР}} + G_{\text{ВХО}} \dot{U}_c, \\ \dot{I}_{\text{ПР}} &= S_{\text{ПР}} \dot{U}_c + G_{\text{ПР}} \dot{U}_{\text{ПР}} \end{aligned} \right\}$$



$$S_{\text{пр.м}} = \frac{1}{2} S_n$$

$$S(t) = S_0 + \sum_{n=1}^{\infty} S_n \cos(m\omega_{\text{пер}} t)$$

$$S_0 = \int_{-T/2}^{T/2} S(t) d\omega_{\text{пер}} t = \frac{1}{\pi} \int_{-T/2}^{T/2} S \cdot d\omega_{\text{пер}} t = \frac{\Theta}{\pi} S$$

$$S_0 = \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \cos\left(\frac{2\pi\omega_{\text{пер}} t}{T}\right) d\omega_{\text{пер}} t = \frac{2}{\pi} \int_{-T/2}^{T/2} S \cos(m\omega_{\text{пер}} t) d\omega_{\text{пер}} t = \frac{2S \sin(m\Theta)}{m\pi}$$

Коэффициент передачи преобразователя:

$$K_{\text{пр.}} = - \frac{S_{\text{пр.}}}{G_{\text{мпр.}} + g_H}$$

В транзисторных преобразователях $G_{\text{мпр.}} \ll g_H$

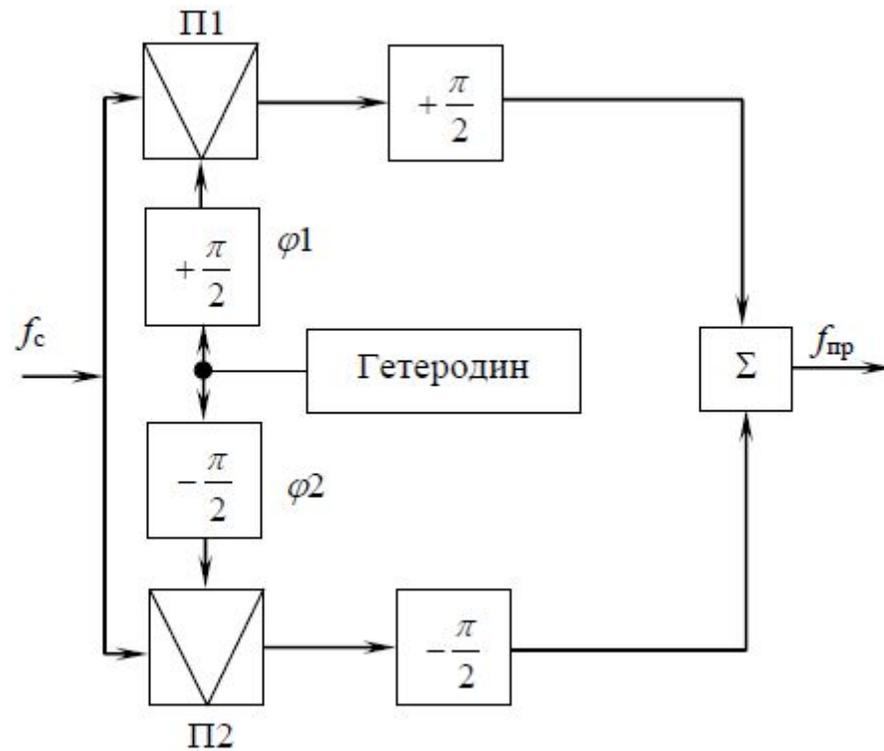
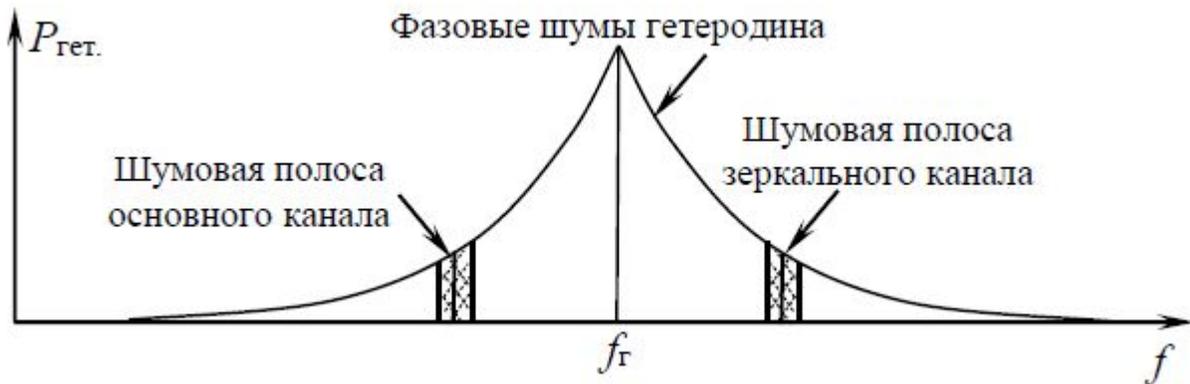
$$K_{0\text{пр.}} = \frac{S_{\text{пр.}} R_{0э} m_k m_6 \eta}{1 + \eta^2}$$



УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

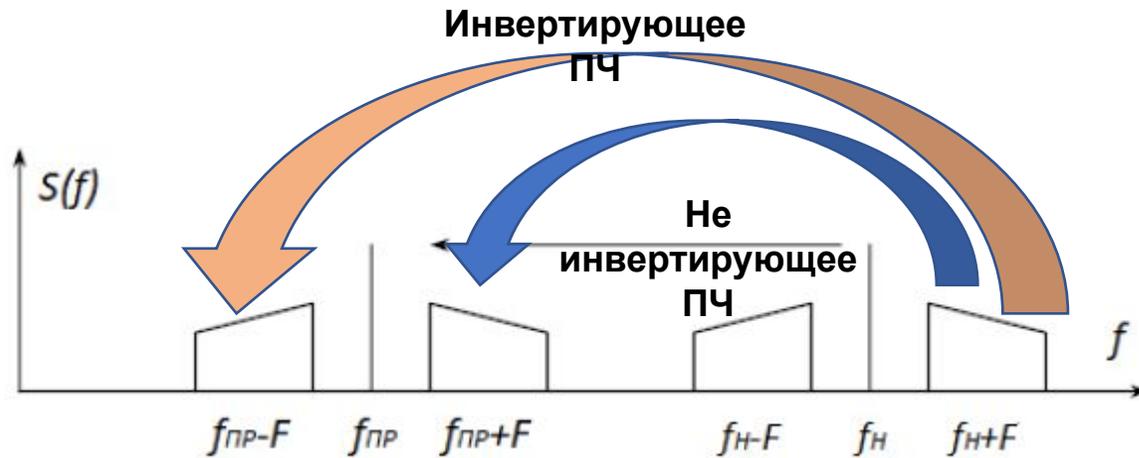
Шумовые свойства



При нижней настройке гетеродина преобразование частоты состоит в том, что весь спектр сигнала без изменения сдвигается влево на значение частоты гетеродина. Этот случай называют **неинвертирующим преобразованием**. При верхней настройке гетеродина каждая составляющая спектра сигнала вычитается из частоты гетеродина, вследствие чего верхняя и нижняя боковая меняются местами. Этот случай называют **инвертирующим преобразованием**.

Для неинвертирующего ПЧ $\omega_c = \omega_{np} \pm k\omega_{\Gamma}$

Для инвертирующего ПЧ: $\omega_c = k\omega_{\Gamma} - \omega_{np}$

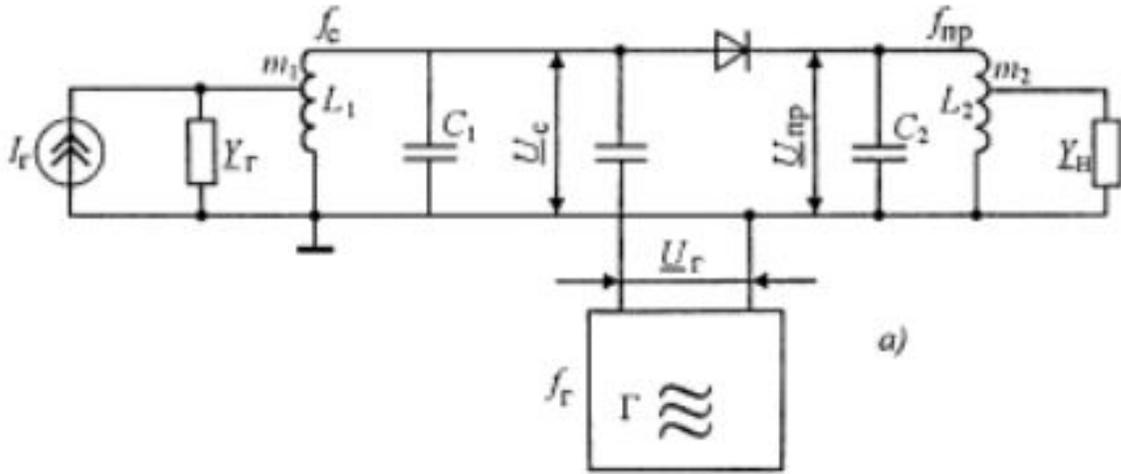




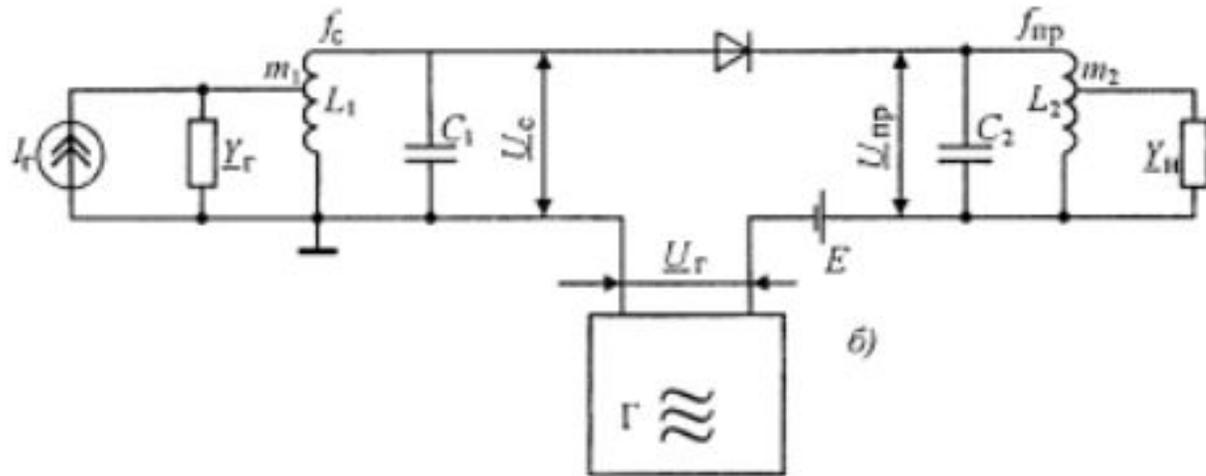
УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

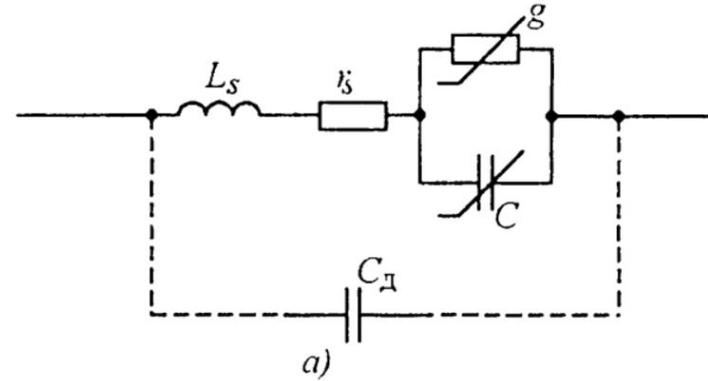
Диодные ПЧ



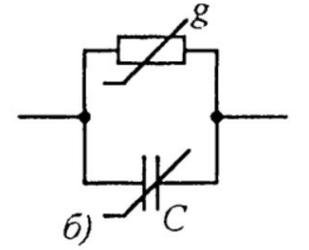
а)



б)



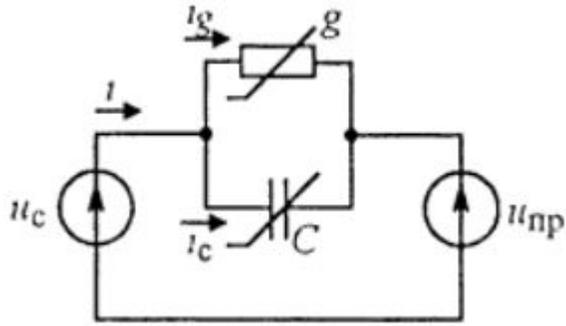
а)



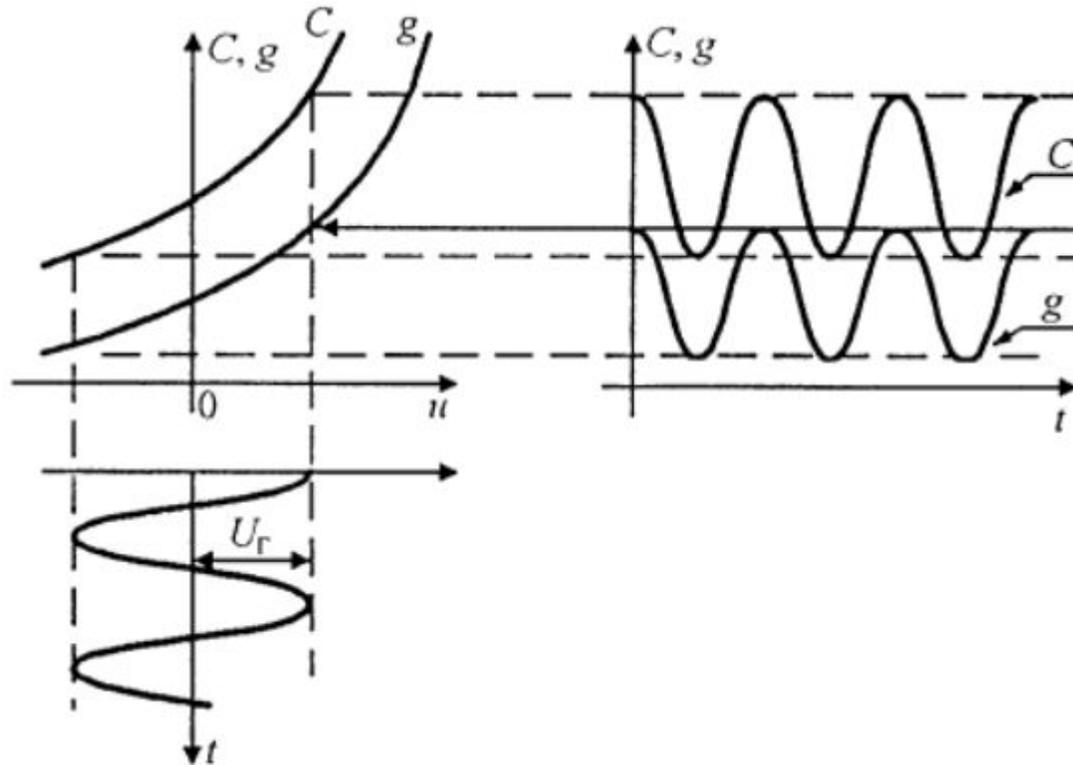
б)

Эквивалентная схема
диода

Диодные ПЧ



Эквивалентная схема ПЧ



Изменение емкости и проводимости диода под действием управляющего напряжения



УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Диодные ПЧ. Анализ работы

$$g(t) = G^{(0)} + \sum_{k=1}^{\infty} G^{(k)} \cos k\omega_r t;$$

$$C(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos k\omega_r t.$$

Полный ток диода:

$$i = ug + dq/dt$$

$$u = u_c + u_{np}$$

$$\begin{aligned} i = & U_c [G^{(0)} \cos (\omega_c t + \varphi_c) - \omega_c C_0 \sin (\omega_c t + \varphi_c)] + \\ & + U_{np} [G^{(0)} \cos (\omega_{np} t + \varphi_{np}) - \omega_{np} C_0 \sin (\omega_{np} t + \varphi_{np})] + \\ & + U_c \sum_{k=1}^{\infty} 0,5 G^{(k)} \cos [(k\omega_r \pm \omega_c) t \pm \varphi_c] + \\ & + U_{np} \sum_{k=1}^{\infty} 0,5 G^{(k)} \cos [(k\omega_r \pm \omega_{np}) t \pm \varphi_{np}] - \\ & - U_c \sum_{k=1}^{\infty} 0,5 C_k (k\omega_r \pm \omega_c) \sin [(k\omega_r \pm \omega_c) t \pm \varphi_c] - \\ & - U_{np} \sum_{k=1}^{\infty} 0,5 C_k (k\omega_r \pm \omega_{np}) \sin [(k\omega_r \pm \omega_{np}) t \pm \varphi_{np}]. \end{aligned}$$

Для неинвертирующего ПЧ $\omega_c = \omega_{np} \pm k\omega_r$

$$\underline{I}_{np} = \underline{U}_c (0,5 G^{(k)} + j0,5 \omega_{np} C_k) + \underline{U}_{np} (G^{(0)} + j\omega_{np} C_0);$$

$$\underline{I}_c = \underline{U}_c (G^{(0)} + j\omega_c C_0) + \underline{U}_{np} (0,5 G^{(k)} + j0,5 \omega_c C_k).$$

Для инвертирующего ПЧ: $\omega_c = k\omega_r - \omega_{np}$.

$$\underline{I}_{np} = \underline{U}_c^* (0,5G^{(k)} + j0,5\omega_{np}C_k) + \underline{U}_{np} (G^{(0)} + j\omega_{np}C_0);$$

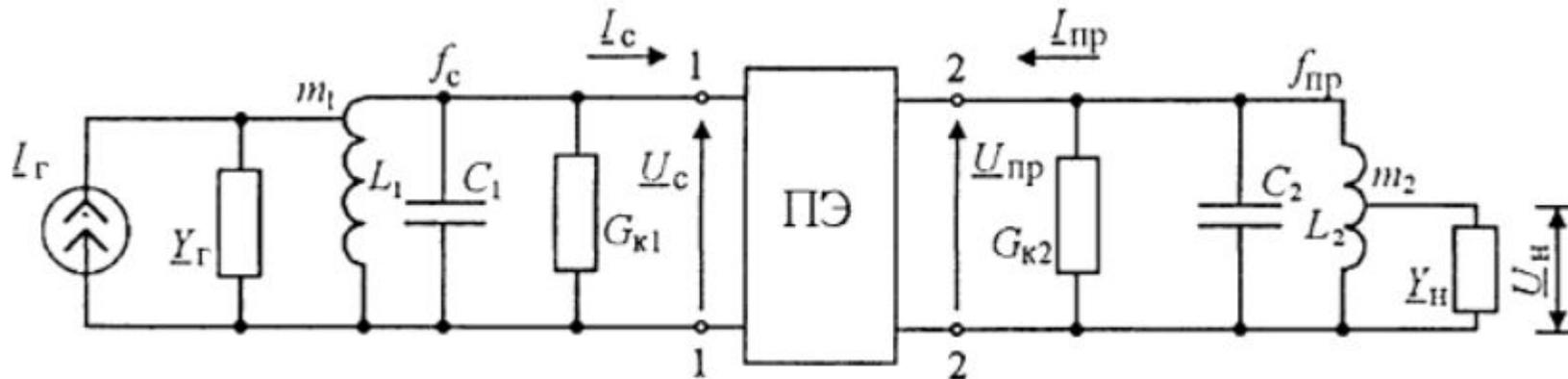
$$\underline{I}_c = \underline{U}_c (G^{(0)} + j\omega_c C_0) + \underline{U}_{np}^* (0,5G^{(k)} + j0,5\omega_c C_k).$$

$$\underline{Y}_{11} = G^{(0)} + j\omega_c C_0; \quad \underline{Y}_{22} = G^{(0)} + j\omega_{np} C_0;$$

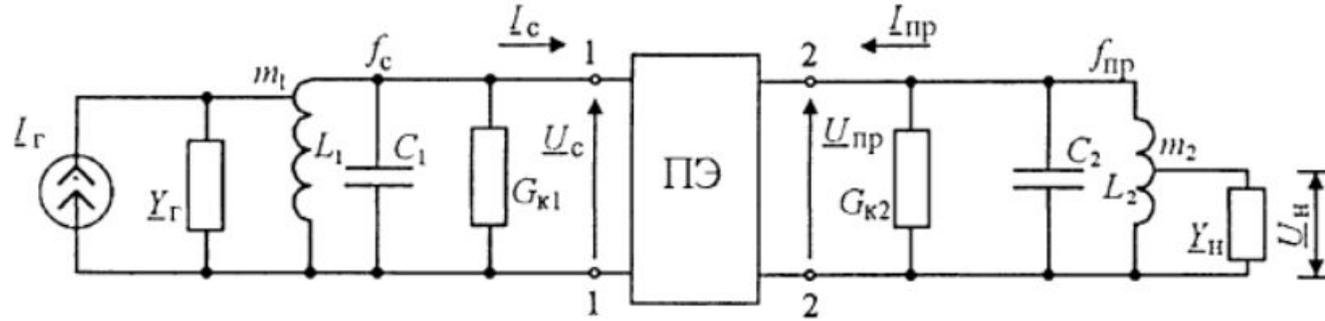
$$\underline{Y}_{12} = G_{np} + j\omega_c C_{np}; \quad \underline{Y}_{21} = G_{np} + j\omega_{np} C_{np}.$$

$$\underline{I}_{np} = \underline{Y}_{21}\underline{U}_c + \underline{Y}_{22}\underline{U}_{np}; \quad \underline{I}_c = \underline{Y}_{11}\underline{U}_c + \underline{Y}_{12}\underline{U}_{np}; \quad \text{- для неинвертирующего ПЧ}$$

$$\underline{I}_{np} = \underline{Y}_{21}\underline{U}_c^* + \underline{Y}_{22}\underline{U}_{np}; \quad \underline{I}_c = \underline{Y}_{11}\underline{U}_c + \underline{Y}_{12}\underline{U}_{np}^* \quad \text{- для инвертирующего ПЧ}$$



Диодные ПЧ. Анализ работы



$$\underline{I}_c = m_1 \underline{I}_\Gamma - \underline{Y}_{\Sigma 1} \underline{U}_c = m_1 \underline{E}_\Gamma \underline{Y}_\Gamma - \underline{Y}_{\Sigma 1} \underline{U}_c;$$

$$\underline{I}_{\text{пр}} = -\underline{Y}_{\text{НЭ}} \underline{U}_{\text{пр}},$$

$$\underline{Y}_{\Sigma 1} = \underline{Y}_{\text{к1}} + m_1^2 \underline{Y}_\Gamma \quad \underline{Y}_{\text{к1}} = G_{\text{к1}} + jB_{\text{к1}}$$

$$\underline{Y}_{\text{НЭ}} = \underline{Y}_{\text{к2}} + m_2^2 \underline{Y}_{\text{Н}} \quad \underline{Y}_{\text{к2}} = G_{\text{к2}} + jB_{\text{к2}}$$

Определим коэффициент передачи напряжения:

$$\underline{K}_\Pi = \frac{\underline{U}_{\text{пр}}}{\underline{U}_c} = -\frac{\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{\text{НЭ}} + \underline{Y}_{22}} = -\frac{\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{\text{Э2}}};$$

$$\underline{Y}_{\text{Э2}} = \underline{Y}_{\text{НЭ}} + \underline{Y}_{22} = \underline{Y}_{\text{к2}} + m_2^2 \underline{Y}_{\text{Н}} + \underline{Y}_{22}$$

Для инвертирующего
аналогично:

$$\underline{K}_\Pi = -\frac{\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{\text{Э2}}};$$

Входные проводимости:

Для неинвертирующего ПЧ

$$\underline{Y}_{\text{ВХ}} = \frac{\underline{I}_c}{\underline{U}_c} = \underline{Y}_{11} + \frac{\underline{Y}_{12} \underline{U}_{\text{пр}}}{\underline{U}_c} = \underline{Y}_{11} - \frac{\underline{Y}_{12} \underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{\text{Э2}}}$$

Для инвертирующего ПЧ

$$\underline{Y}_{\text{ВХ}} = \underline{Y}_{11} + \frac{\underline{Y}_{12} \underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{\text{Э2}}}$$

Аналогично выходные проводимости:

Для неинвертирующего ПЧ

$$\underline{Y}_{\text{ВЫХ}} = \underline{Y}_{22} - \frac{\underline{Y}_{12} \underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{\text{Э1}}}; \quad \underline{Y}_{\text{Э1}} = \underline{Y}_{\Sigma 1} + \underline{Y}_{11} = \underline{Y}_{\text{к1}} + m_1^2 \underline{Y}_\Gamma + \underline{Y}_{11}$$

Для инвертирующего ПЧ

$$\underline{Y}_{\text{ВЫХ}} = \underline{Y}_{22} + \frac{\underline{Y}_{12} \underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{\text{Э1}}}$$



УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Диодные ПЧ. Анализ работы. Общий коэффициент передачи

$$\left. \begin{aligned} \underline{Y}_{31}\underline{U}_c + \underline{Y}_{12}\underline{U}_{np} &= m_1\underline{E}_r\underline{Y}_r, \\ \underline{Y}_{21}\underline{U}_c + \underline{Y}_{32}\underline{U}_{np} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \underline{Y}_{31} & \underline{Y}_{12} \\ \underline{Y}_{21} & \underline{Y}_{32} \end{vmatrix} = \underline{Y}_{31}\underline{Y}_{32} - \underline{Y}_{12}\underline{Y}_{21};$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \underline{Y}_{31} & m_1\underline{E}_r\underline{Y}_r \\ \underline{Y}_{21} & 0 \end{vmatrix} = -m_1\underline{E}_r\underline{Y}_r\underline{Y}_{21}.$$

$$\underline{K}^* = \frac{\underline{U}_H}{\underline{E}_r} = \frac{m_2\underline{U}_{np}}{\underline{E}_r}$$

$$\underline{U}_{np} = -\frac{m_1\underline{E}_r\underline{Y}_r\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{31}\underline{Y}_{32} - \underline{Y}_{12}\underline{Y}_{21}}$$

$$\underline{K}^* = \frac{m_2\underline{U}_{np}}{\underline{E}_r} = -\frac{m_1m_2\underline{Y}_r\underline{Y}_{21}}{\underline{Y}_{31}\underline{Y}_{32} - \underline{Y}_{12}\underline{Y}_{21}}$$

Резистивный ПЧ

$$\underline{Y}_{11} = \underline{Y}_{22} = G^{(0)},$$

$$\underline{Y}_{12} = \underline{Y}_{21} = G_{np}.$$

$$\underline{K}_0^* = -\frac{m_1m_2G_rG_{21}}{G_{31}G_{32} - G_{np}^2}$$

$$G_{31} = G_{K1} + G^{(0)} + m_1^2G_r$$

$$G_{32} = G_{K2} + G^{(0)} + m_2^2G_H$$

Если пренебречь резонансными проводимостями контуров:

$$\underline{K}_0^* = \frac{m_1m_2G_{np}G_r}{(G^{(0)} + m_1^2G_r)(G^{(0)} + m_2^2G_H) - G_{np}^2}$$

$$m_1\sqrt{G_r} = x_1 \text{ и } m_2\sqrt{G_r} = x_2$$

$$\underline{K}_0^* = G_{np}\sqrt{\frac{G_r}{G_H}} \frac{x_1x_2}{(G^{(0)} + x_1^2)(G^{(0)} + x_2^2) - G_{np}^2}$$



УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Резистивные диодные ПЧ

$$K_0^* = G_{np} \sqrt{\frac{G_r}{G_H}} \frac{x_1 x_2}{(G^{(0)} + x_1^2)(G^{(0)} + x_2^2) - G_{np}^2}$$

$$K_0^* = G_{np} \sqrt{\frac{G_r}{G_H}} \frac{x^2}{(G^{(0)} + x^2)^2 - G_{np}^2} \quad x_1 = x_2 = x$$

$$dK_0^*/dx^2 = 0$$

$$x_{opt} = \sqrt[4]{G^{(0)2} - G_{np}^2} = \sqrt{G_x}$$

$$m_{1opt} = x_1 / \sqrt{G_r} = \sqrt{G_x / G_r}$$

$$m_{2opt} = x_2 / \sqrt{G_H} = \sqrt{G_r / G_H}$$

$$G_x = \sqrt{G^{(0)2} - G_{np}^2} \text{ - характеристическая проводимость}$$

При оптимальных m_1 и m_2

$$K_{0max}^* = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{G_r}{G_H}} \frac{G_{np}}{G^{(0)} + G_x} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{G_r}{G_H}} \frac{\mu_{np}}{1 + \sqrt{1 + \mu_{np}^2}}$$

$$\mu_{np} = G_{np} / G^{(0)}$$

Коэффициент передачи

МОЩНОСТИ:

$$P_H = U_\Gamma^2 G_H$$

$$P_{ГНОМ} = \frac{E_\Gamma^2 G_\Gamma}{4}$$

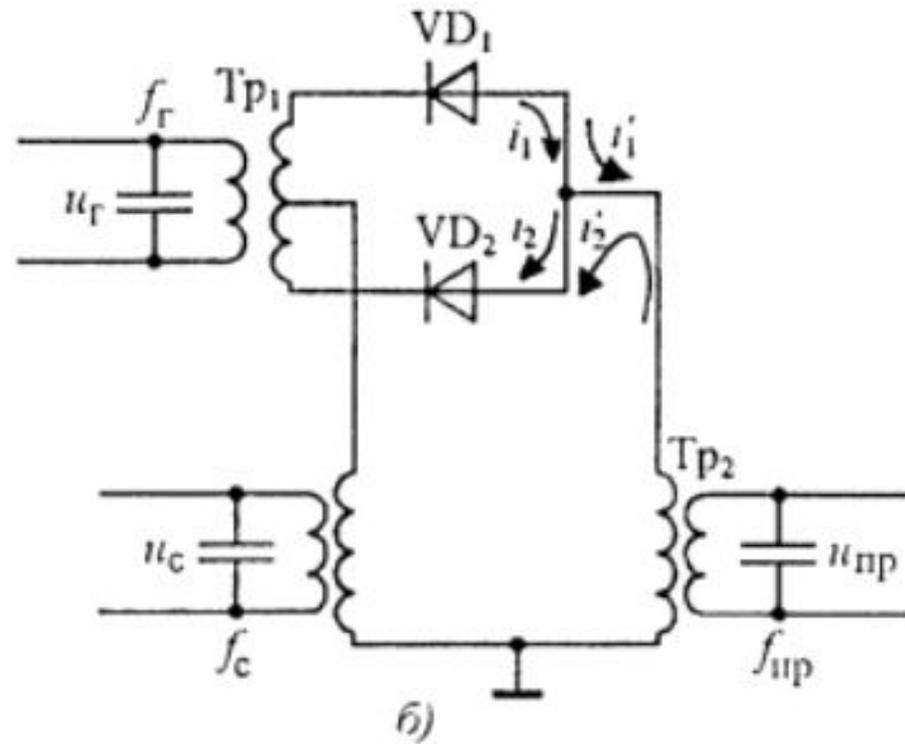
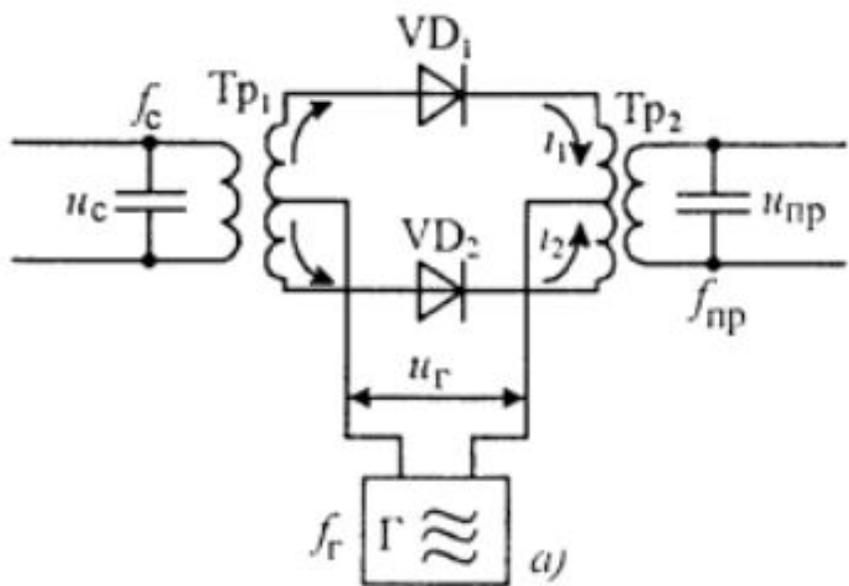
$$K_{Pmax} = \frac{P_H}{P_{ГНОМ}} = \frac{4U^2 G}{E_\Gamma^2 G_\Gamma} \stackrel{H}{=} 4K_0^{*2} \frac{G}{G_r} \stackrel{PP}{=} \left(\frac{\mu}{1 + \sqrt{1 + \mu_{np}^2}} \right)$$



УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Балансные диодные ПЧ

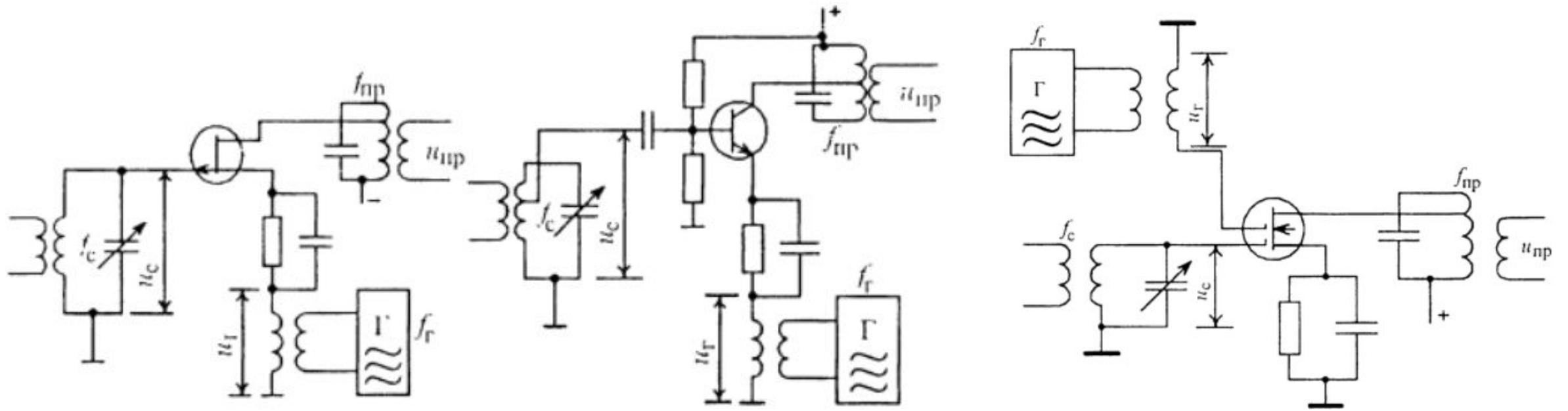


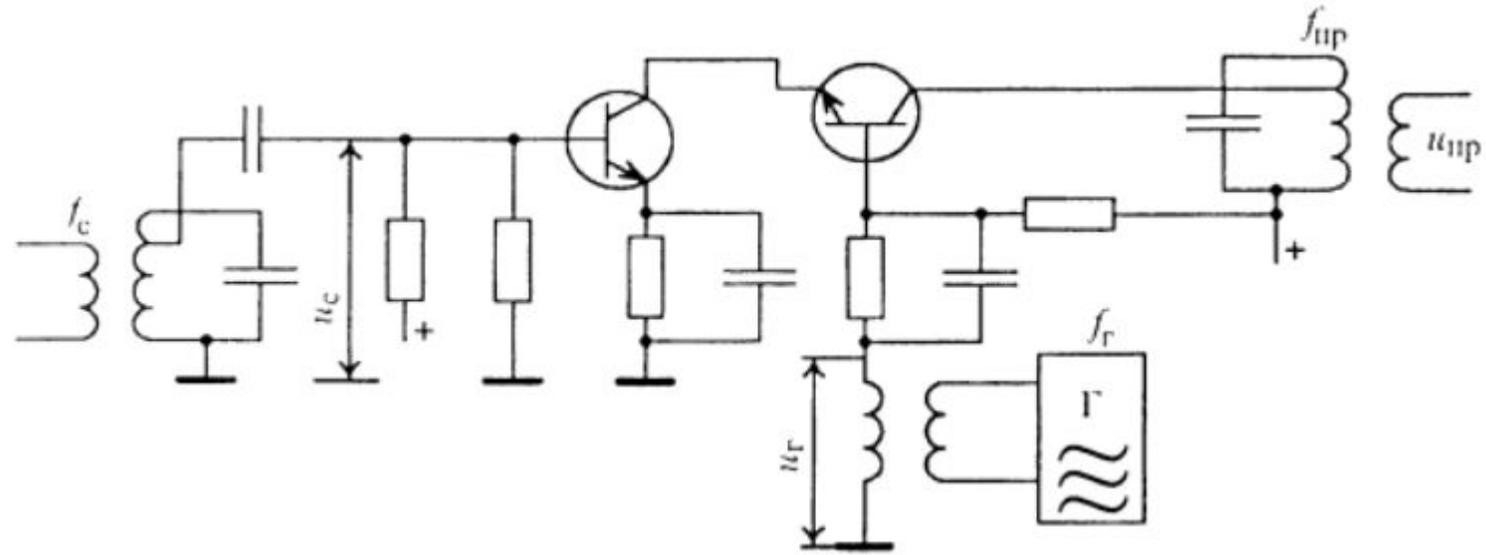


УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Транзисторные ПЧ





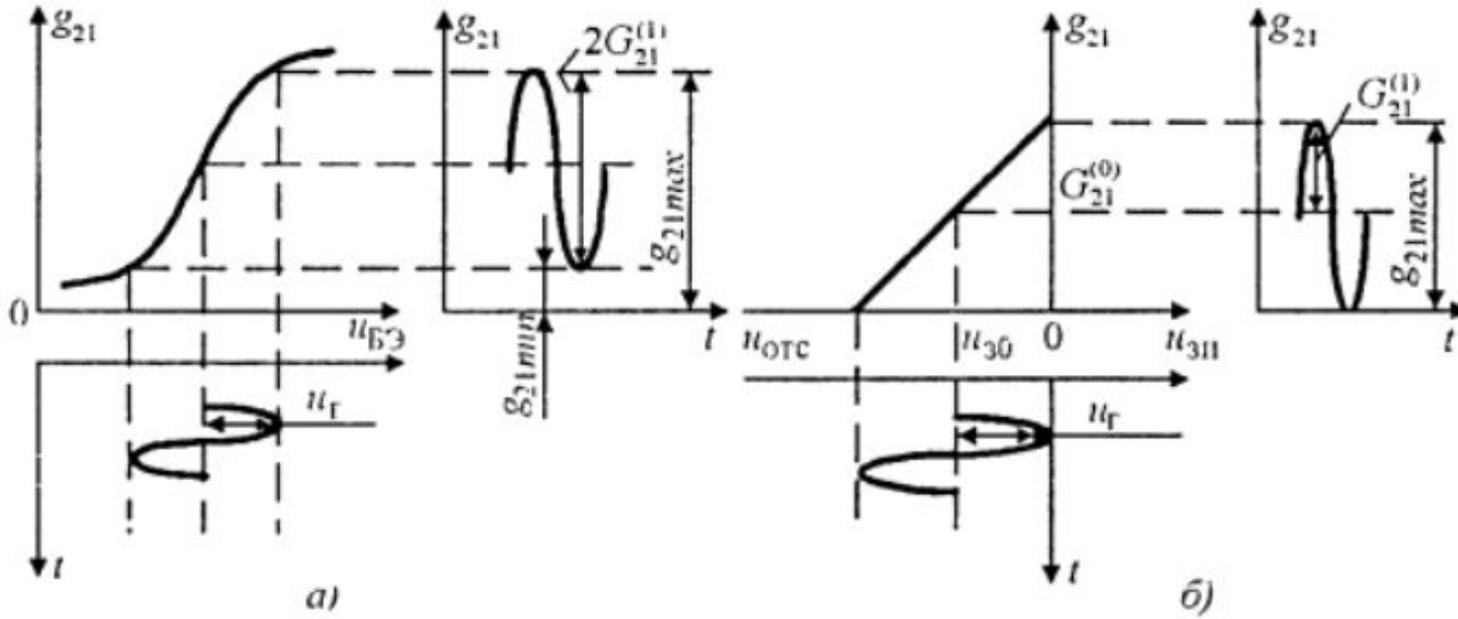
Каскодная схема, обеспечивает высокую устойчивость



УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Транзисторные ПЧ. Выбор рабочей точки



$$g_{21} = \frac{di_K}{du_{БЭ}} = h_{216} \frac{di_Э}{du_{БЭ}} = h_{216} b i_0 e^{b u_{БЭ}}$$

$$g_{21} = b I_{K0} \left[J_0(b U_r) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} J_k(b U_r) \cos k \omega_r t \right]$$

$$G_{21}^{(0)} = b I_{K0} J_0(b U_r);$$

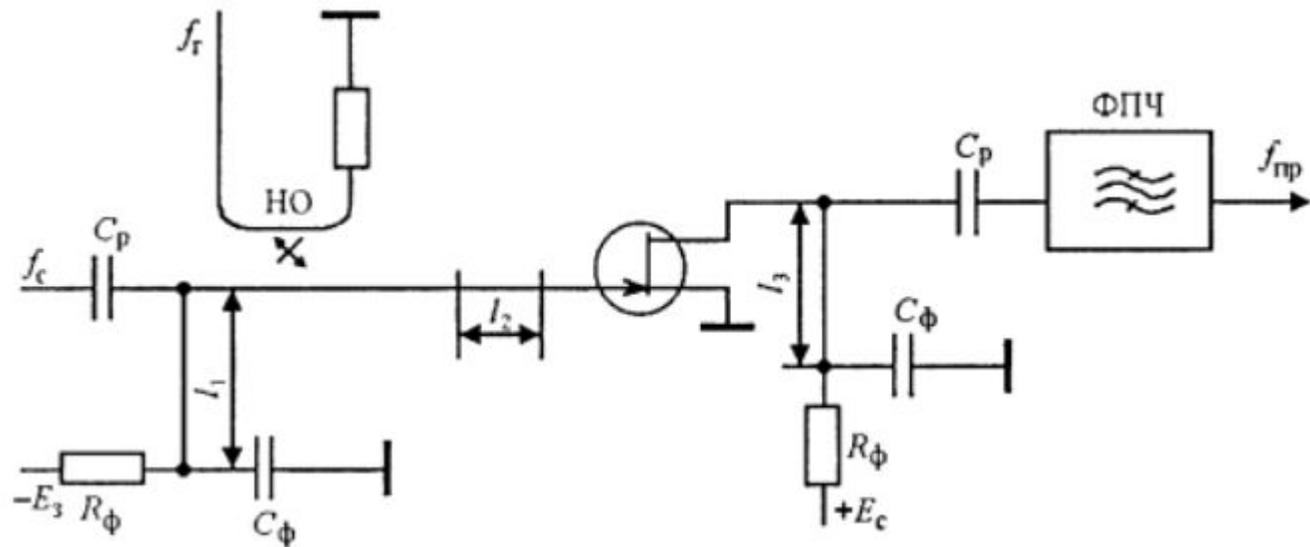
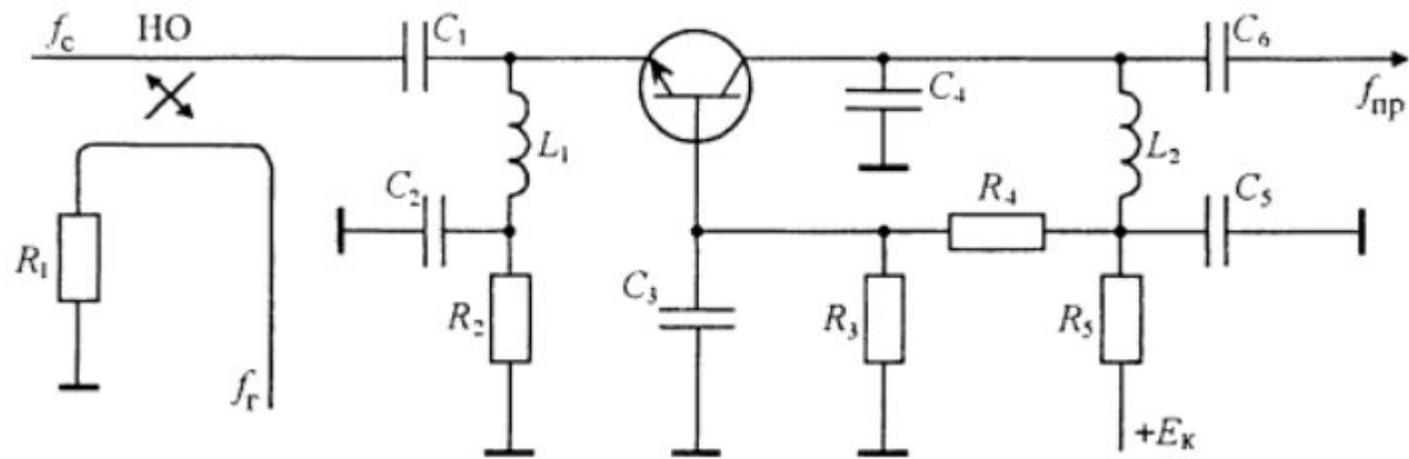
$$G_{21np} = 0,5 G_{21}^{(k)} = b I_{K0} J_k(b U_r)$$

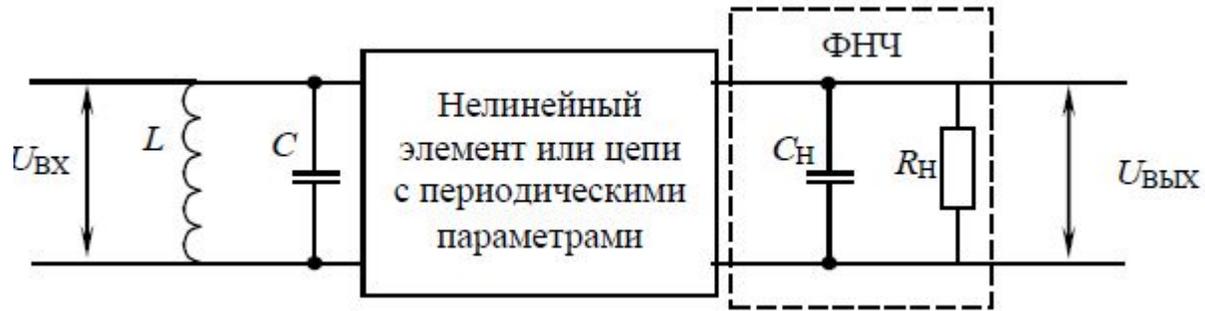


УГАТУ

Уфимский государственный
авиационный технический
университет

Транзисторные ПЧ СВЧ





по основному назначению;

- по виду модуляции радиосигнала;
- по схемотехнической реализации;
- по типу используемого нелинейного элемента;
- по числу нелинейных элементов;
- по способу детектирования;
- по конструктивному оформлению.