

Лекция 3

Радиопередающие и радиоприемные устройства СРТВ

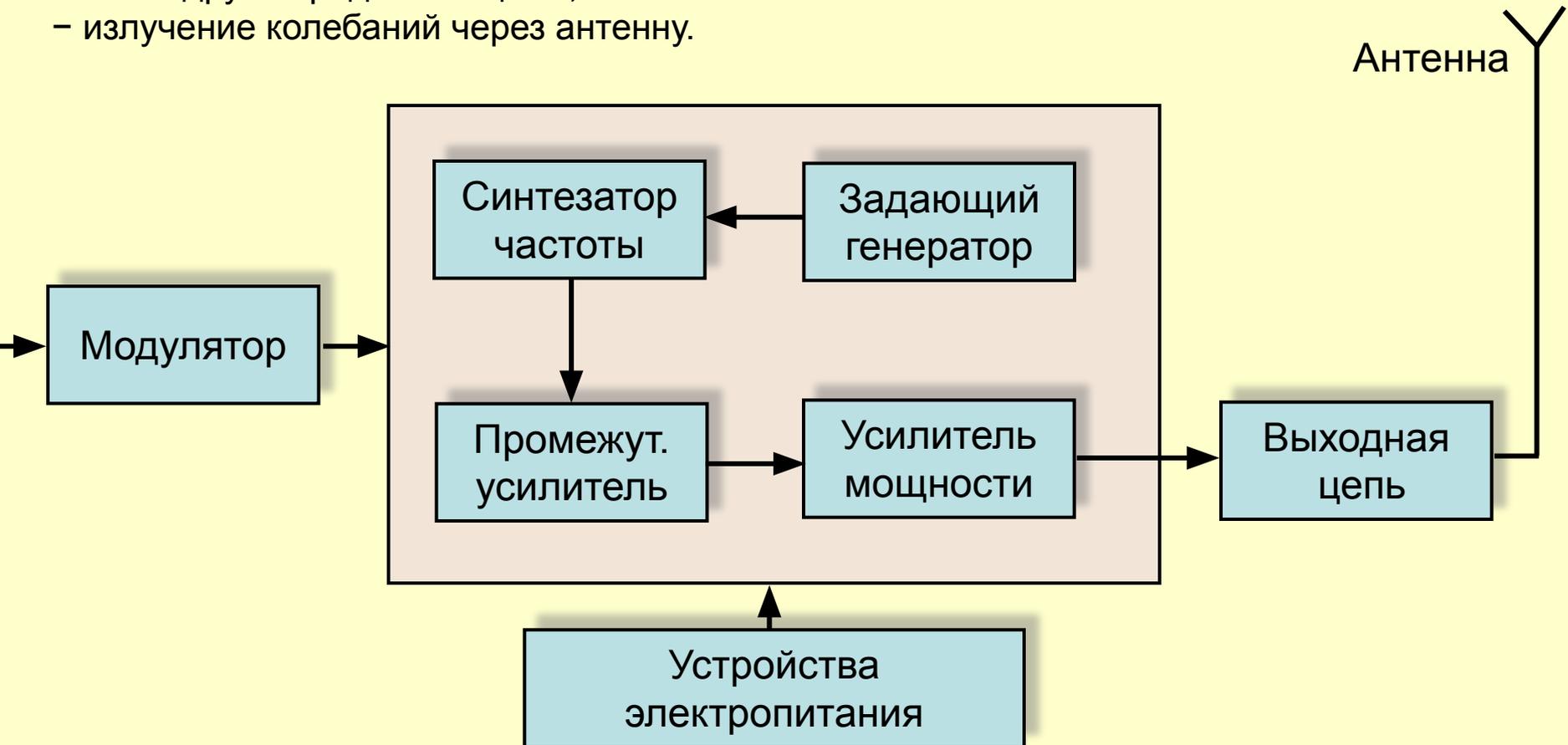
1. Радиопередающие устройства (РПУ) СРТВ

2. Радиоприемные устройства (РПрУ) СРТВ

Структурная схема РПУ

Функции передатчика :

- получение высокочастотных колебаний требуемой частоты и мощности;
- модуляция высокочастотных колебаний передаваемым сигналом;
- фильтрация гармоник и прочих колебаний, частоты которых выходят за пределы необходимой полосы излучения и могут создать помехи другим радиостанциям;
- излучение колебаний через антенну.



Типовые значения параметров РПУ СРТВ

Диапазон рабочих частот $\Delta f_p = f_{p \max} - f_{p \min}$

Полоса частот передатчика $2\Delta f_{nep}$ на рабочей частоте $f_p \pm \Delta f_{nep}$

Количество и номиналы рабочих (несущих) частот $f_1 \dots f_N$

Уровень подавления побочных и внеполосных составляющих – до – **60... – 70 дБ**

Стабильность (нестабильность) частоты

– абсолютная

– относительная

$$\pm \Delta f_n$$

$$\Delta f_n / f_0$$

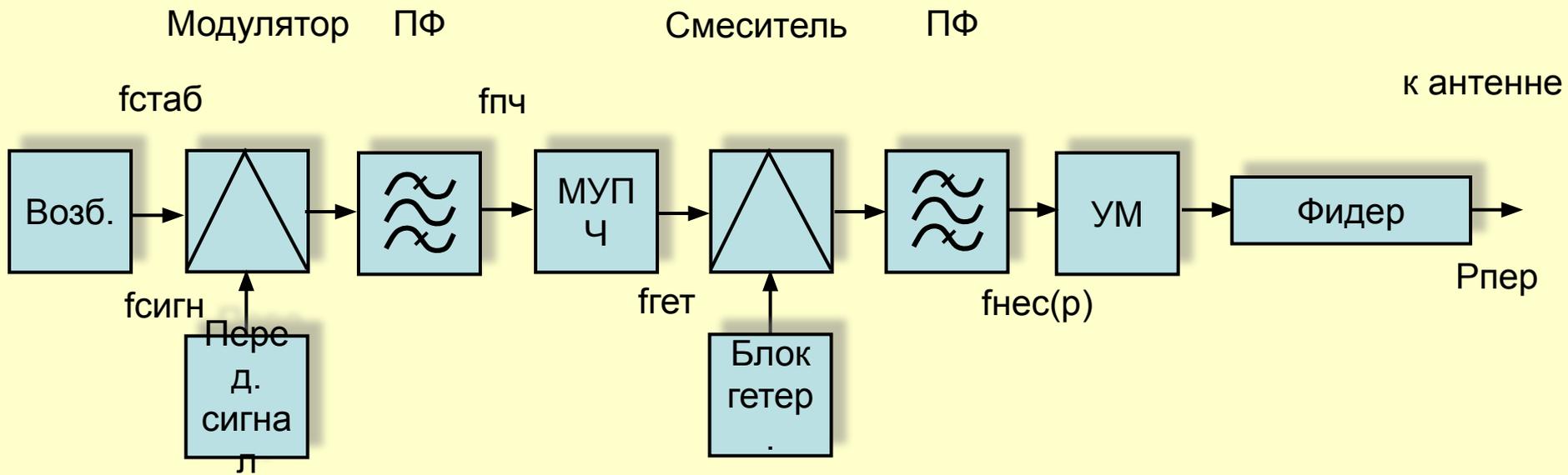
составляет **$10^{-5} \dots 10^{-8}$**

Мощность РПУ : малая ≤ 3 Вт; средняя $3 \dots 100$ Вт; большая $0,1 \dots 3$ кВт;
сверхбольшая > 3 кВт;

Коэффициент полезного действия $\eta_{nep} = P_{nep} / P_0 = \mathbf{0,5 \dots 0,8}$

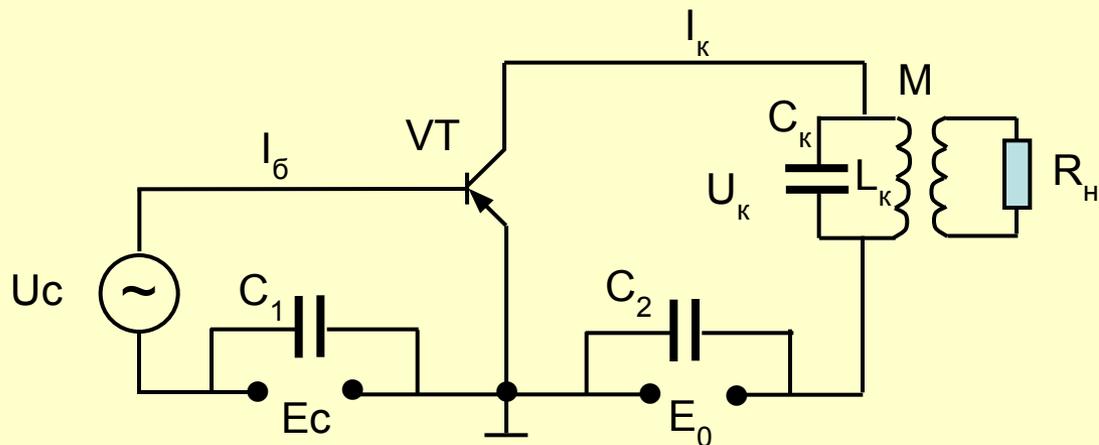
Стабильность частоты. По международным нормам отклонение от номинала частоты РПУ для радиосвязи на гектометровых волнах не должно превышать 0,005 %; для радиовещательных передатчиков отклонение частоты в этом диапазоне не должно превышать 10 Гц. На декаметровых волнах допустимая нестабильность частоты передатчиков мощностью более 0,5 кВт равна $15 \cdot 10^{-7}$, что соответствует в диапазоне от 4 до 30 МГц абсолютному отключению частоты от 6 до 45 Гц.

Функциональная схема РПУ

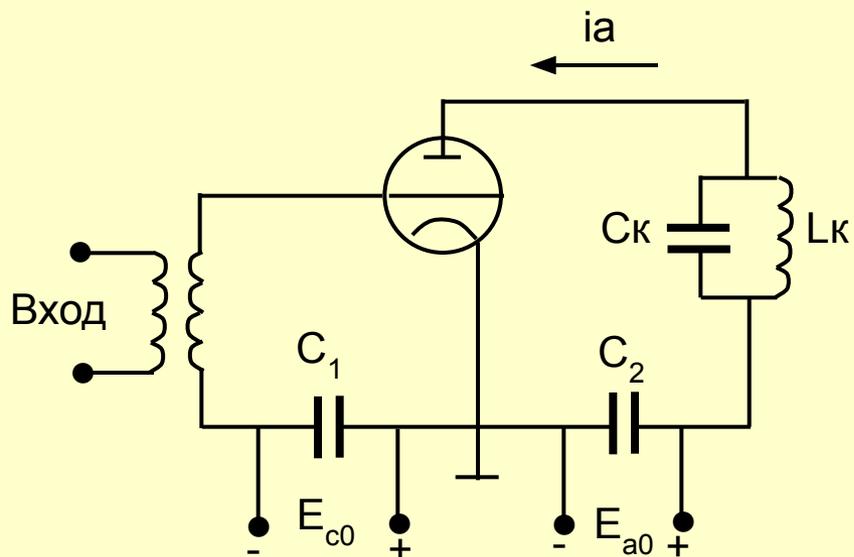


Особенности усилителей мощности РПУ

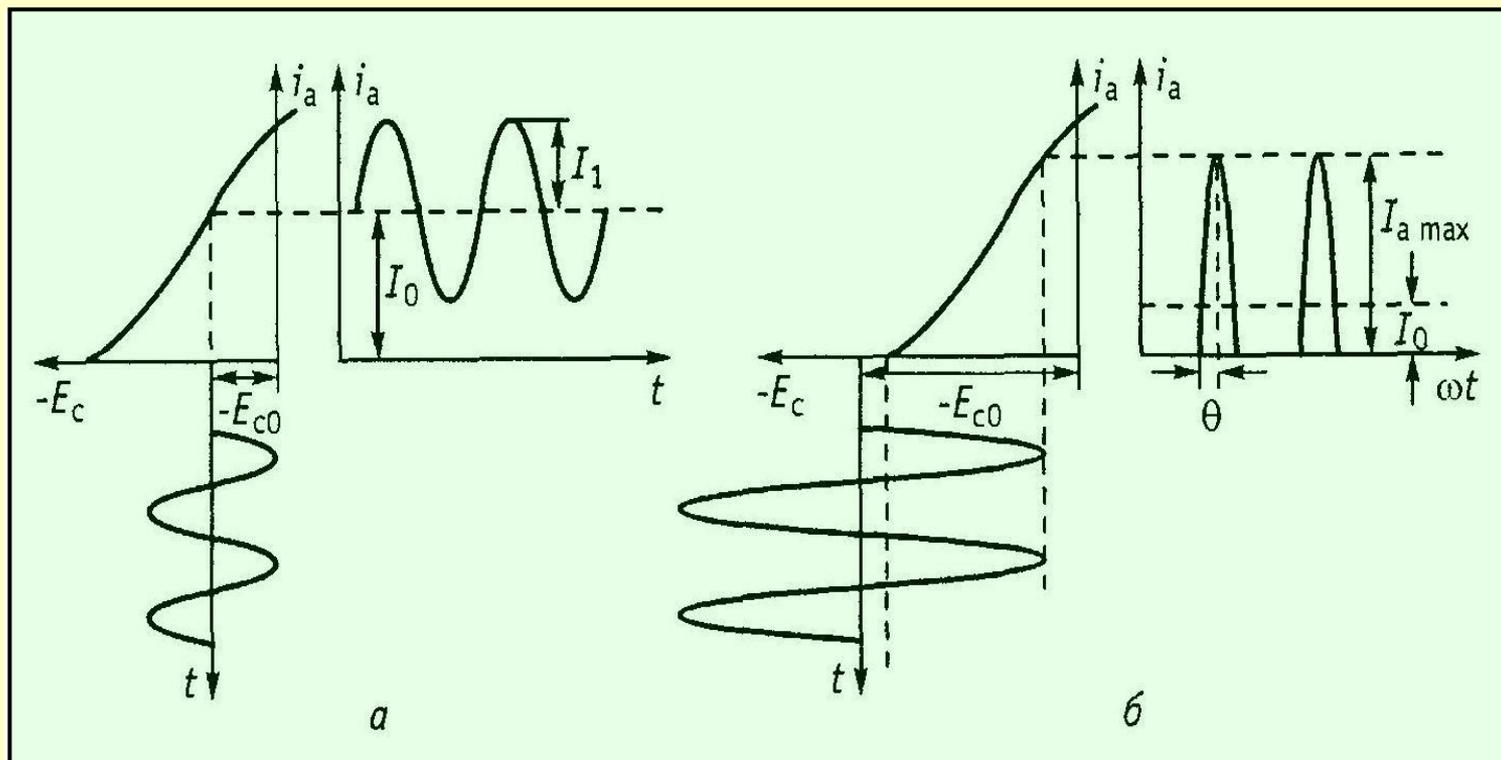
а)



б)



Режимы работы ГВВ



Линейный режим усилителя мощности радиочастоты при $\theta = 180^\circ$ называется **режимом первого рода** (они соответствуют классу А в апериодических усилителях). В режиме колебаний первого рода ГВВ применяют крайне редко из-за невысокого КПД, не превышающего 50 %.

Нелинейный режим обеспечивается при $\theta < 180^\circ$ (**режим второго рода**). При этом форму импульсов анодного (коллекторного) тока характеризуют амплитуда $I_{a \max}$ и угол отсечки θ .

Параметры ГВВ

$$I_{a0} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} i_a(t) d\omega t = \frac{1}{\pi} \int_0^{\Theta} i_a(t) d\omega t = \frac{\sin \Theta - \Theta \cos \Theta}{\pi(1 - \cos \Theta)} I_m = \alpha_0(\Theta) I_m$$

$$I_{a1} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\Theta} i_a(t) \cos \omega t d\omega t = \frac{2\Theta - \sin 2\Theta}{2\pi(1 - \cos \Theta)} I_m = \alpha_1(\Theta) I_m$$

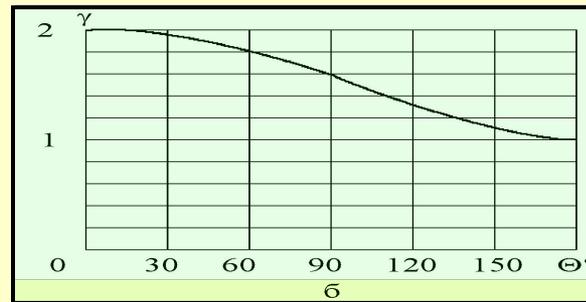
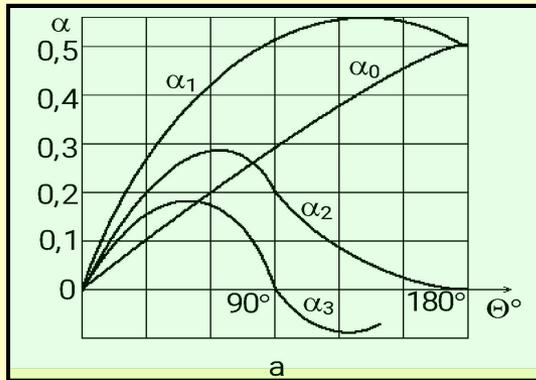
Основными энергетическими характеристиками ГВВ являются:

$$P_o = 0,5 I_{k0} E_o; \quad P_k = 0,5 I_{k1} U_k; \quad P_{ex} = 0,5 I_{\beta 1} U_c; \quad \eta = P_k / P_o = 0,5 (I_{k1} / I_{k0}) (U_k / E_o) = 0,5 \gamma \xi$$

$$K_p = P_k / P_{ex} = (I_{k1} U_k) / (I_{\beta 1} U_c) \quad \text{или} \quad K_{p(dB)} = 10 \lg (P_k / P_{ex})$$

$$I_{k0} = I_m \alpha_0, \quad \text{а} \quad I_{k1} = I_m \alpha_1$$

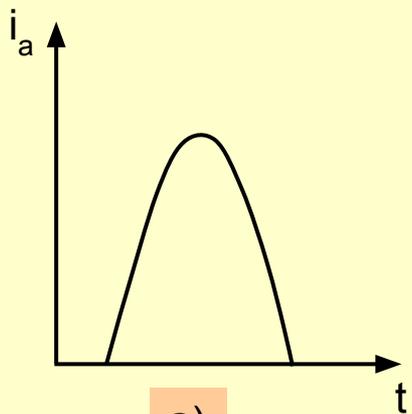
$$\eta = 0,5 (\alpha_1 / \alpha_0) (U_k / E_o) = 0,5 \gamma \xi$$



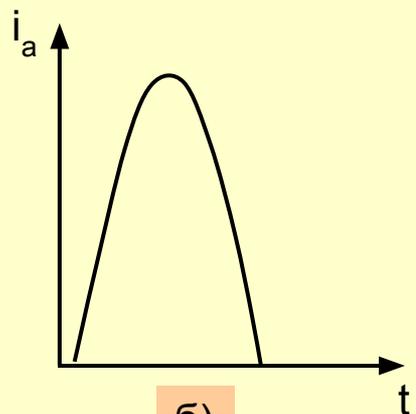
При $0 < \theta < 120^\circ$ и $\xi = const$ полезная мощность падает с уменьшением θ , а γ и, следовательно, η растет

На практике выбирают $\theta \approx 90^\circ$. При этом полезная мощность меньше максимально возможной на 7 %, а η выше почти в 1,2 раза ($\eta \approx 73\%$).

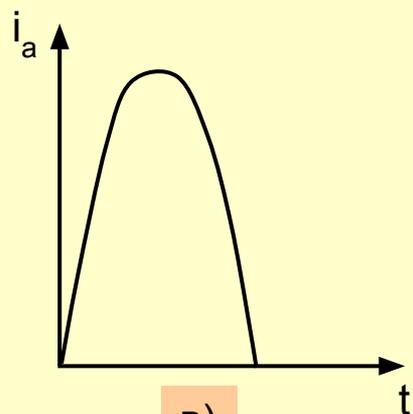
Параметры ГВВ



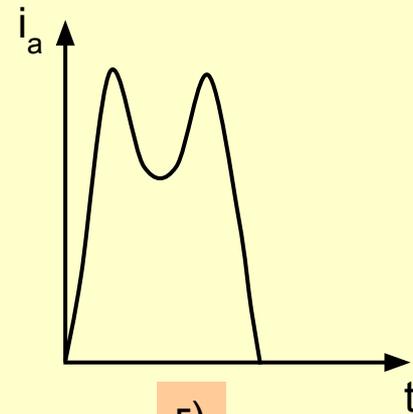
a)



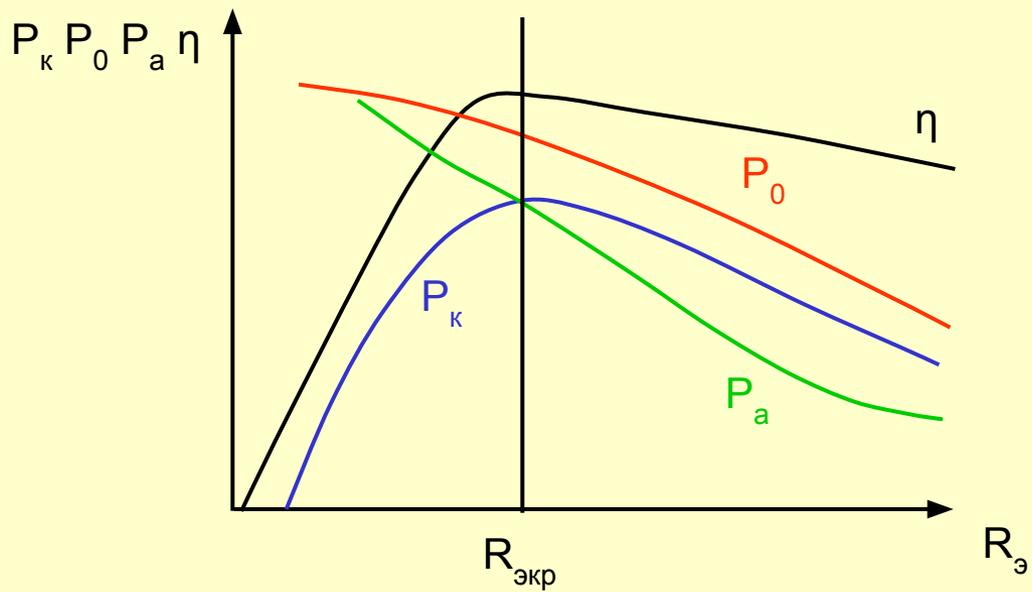
б)



в)

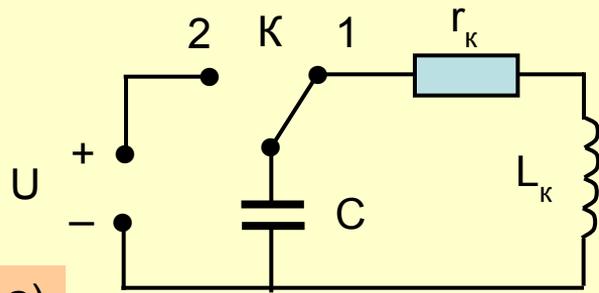


г)



$$P_{\text{а}} = P_0 - P_{\text{к}}$$

Автогенераторы

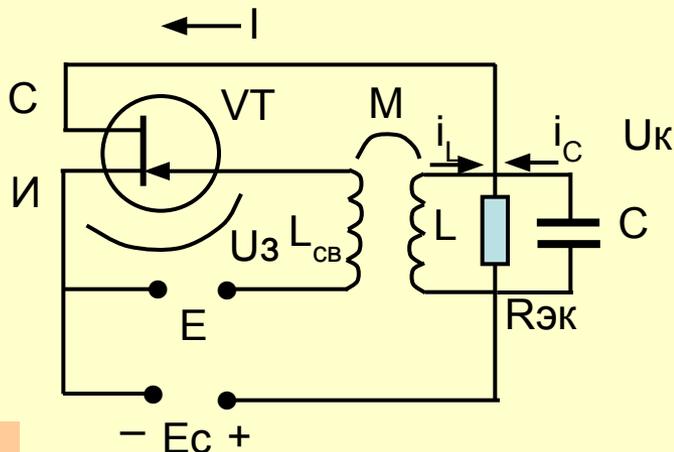


а)

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + 2\alpha \frac{du}{dt} + \omega_0^2 u = 0,$$

$$\alpha = \frac{r_k}{2L_k} \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L_k C_k}} \quad u(t) \approx U e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t.$$

Для генерации колебаний необходимо выполнить условия, которые нужны, во-первых, для появления колебаний - **баланс фаз** и, во-вторых, для поддержания возникших колебаний - **баланс амплитуд**.



б)

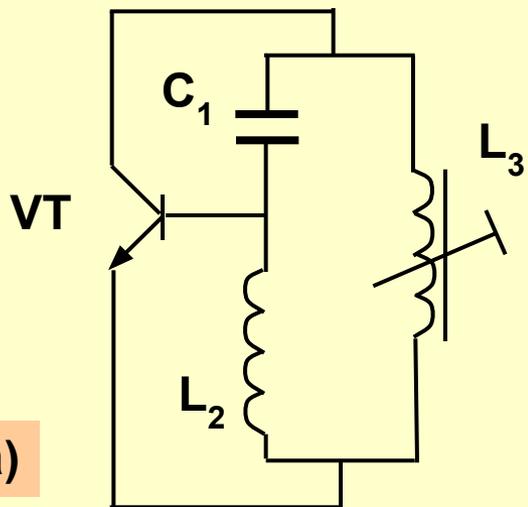


в)

$$K = |K| e^{j\varphi} \quad \beta = |\beta| e^{j\psi}$$

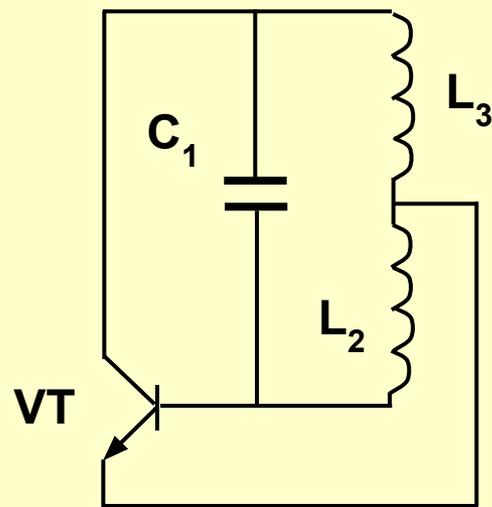
$$\beta U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} = U_{\text{вых}} / K$$

$$\beta K = 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} |\beta| |K| = 1 \\ \varphi + \psi = 0, 2\pi, \dots \end{array} \right.$$



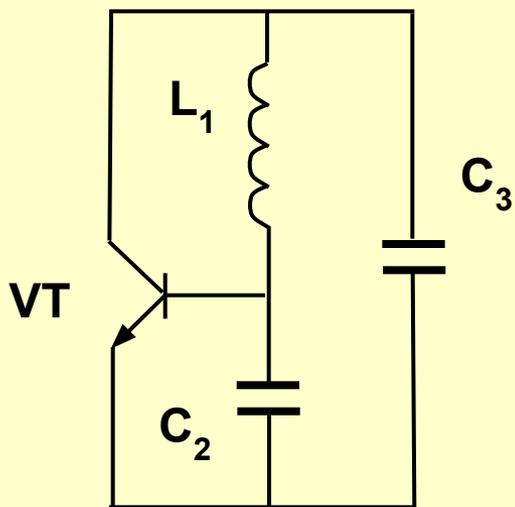
a)

индуктивная



б)

автотрансформаторная

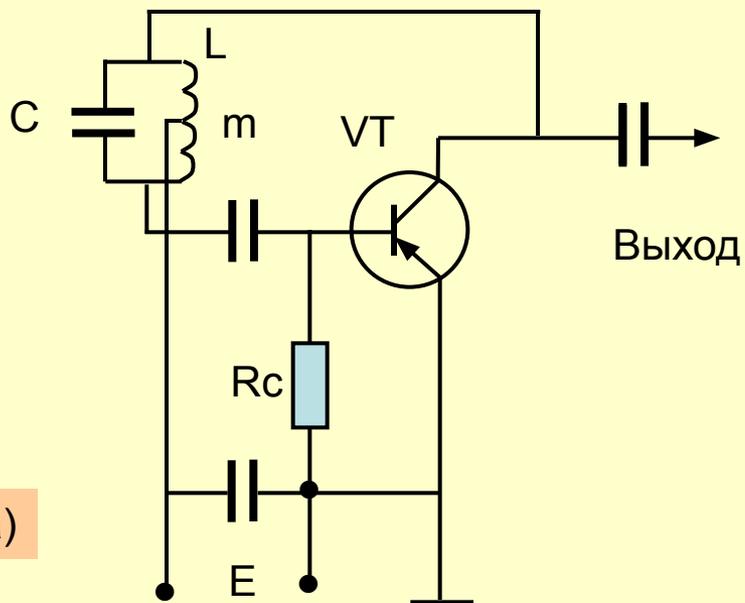


в)

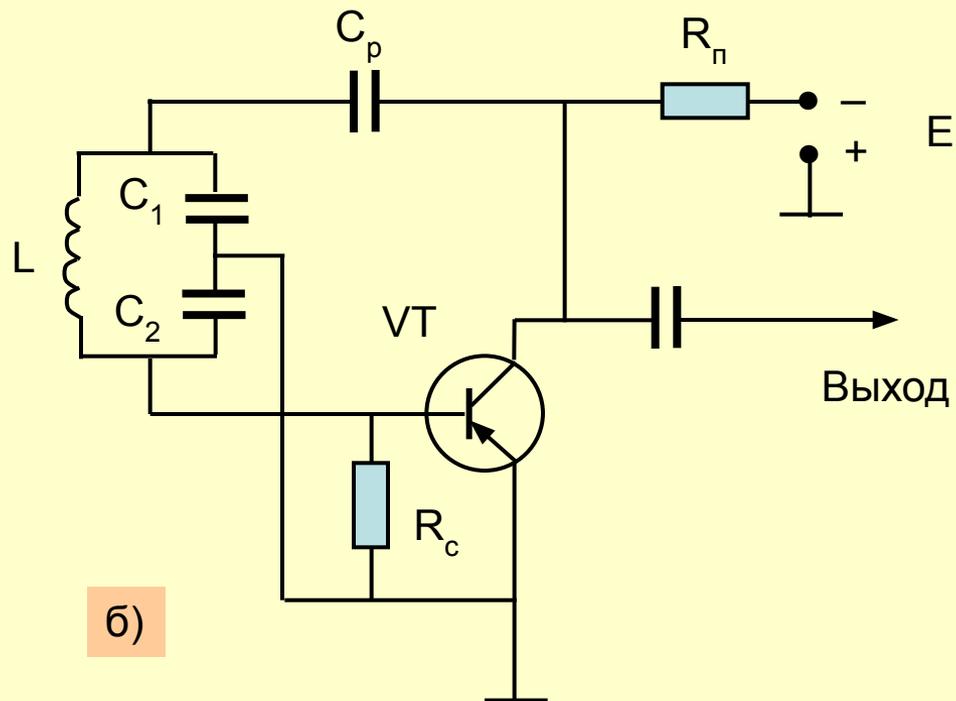
емкостная

Автогенераторы

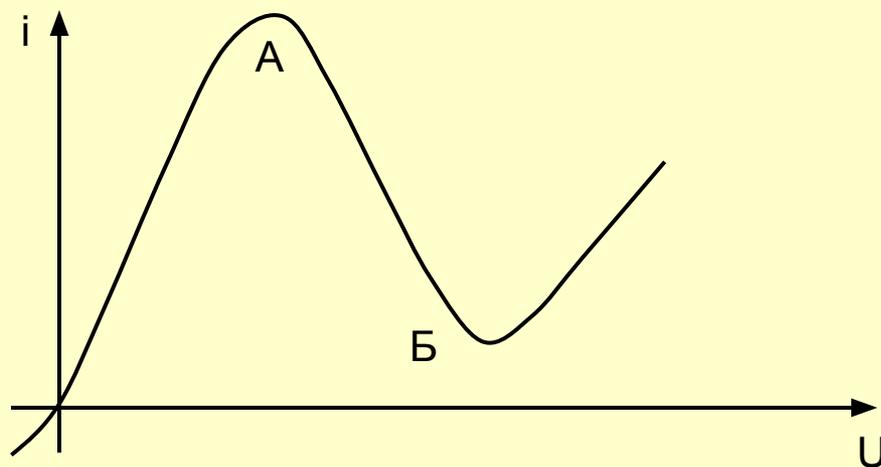
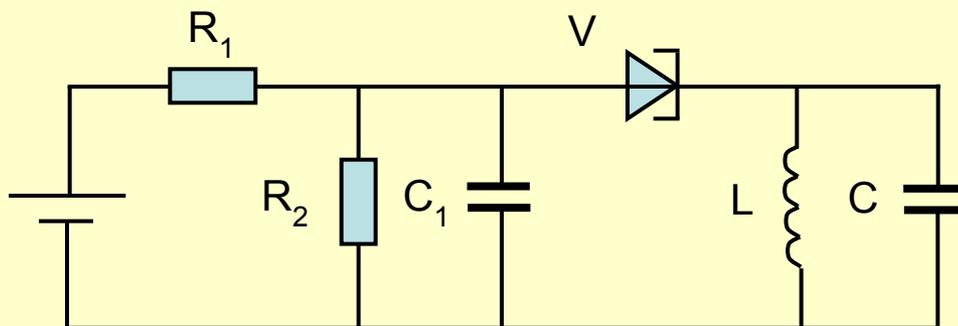
a)



б)

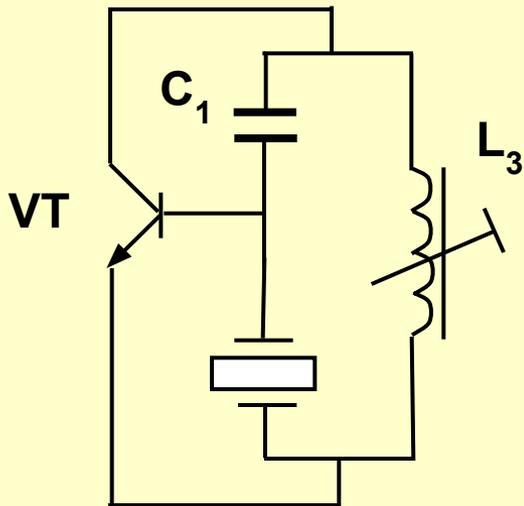
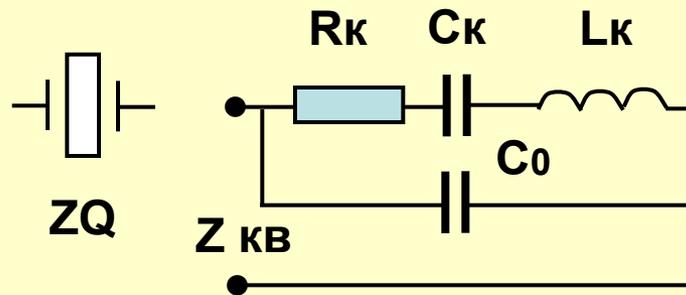


Автогенераторы

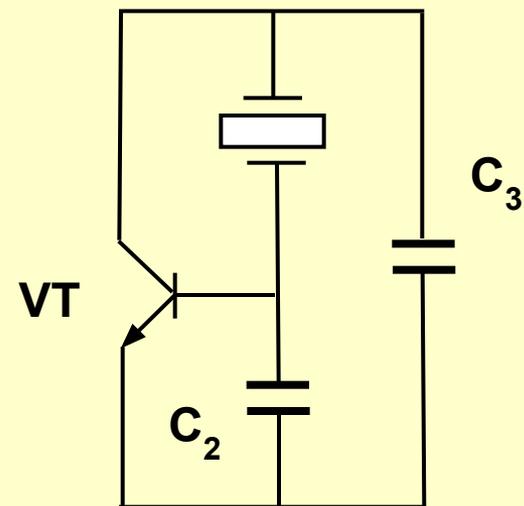


Кварцевая стабилизация частоты

а)

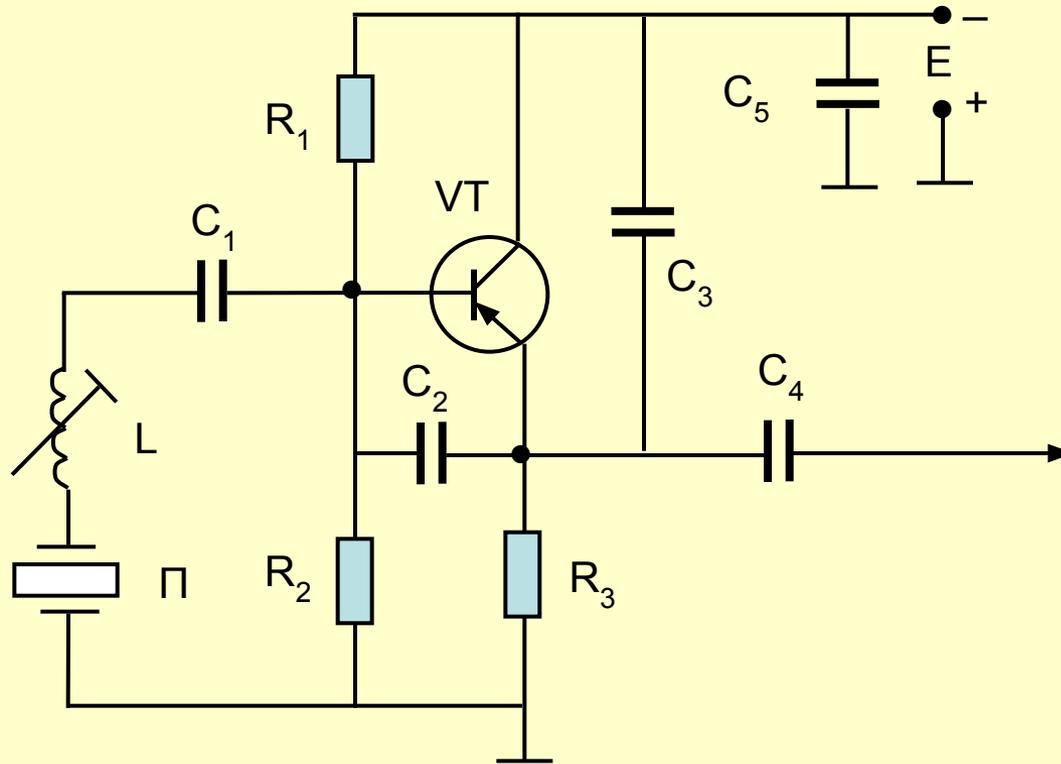


б)

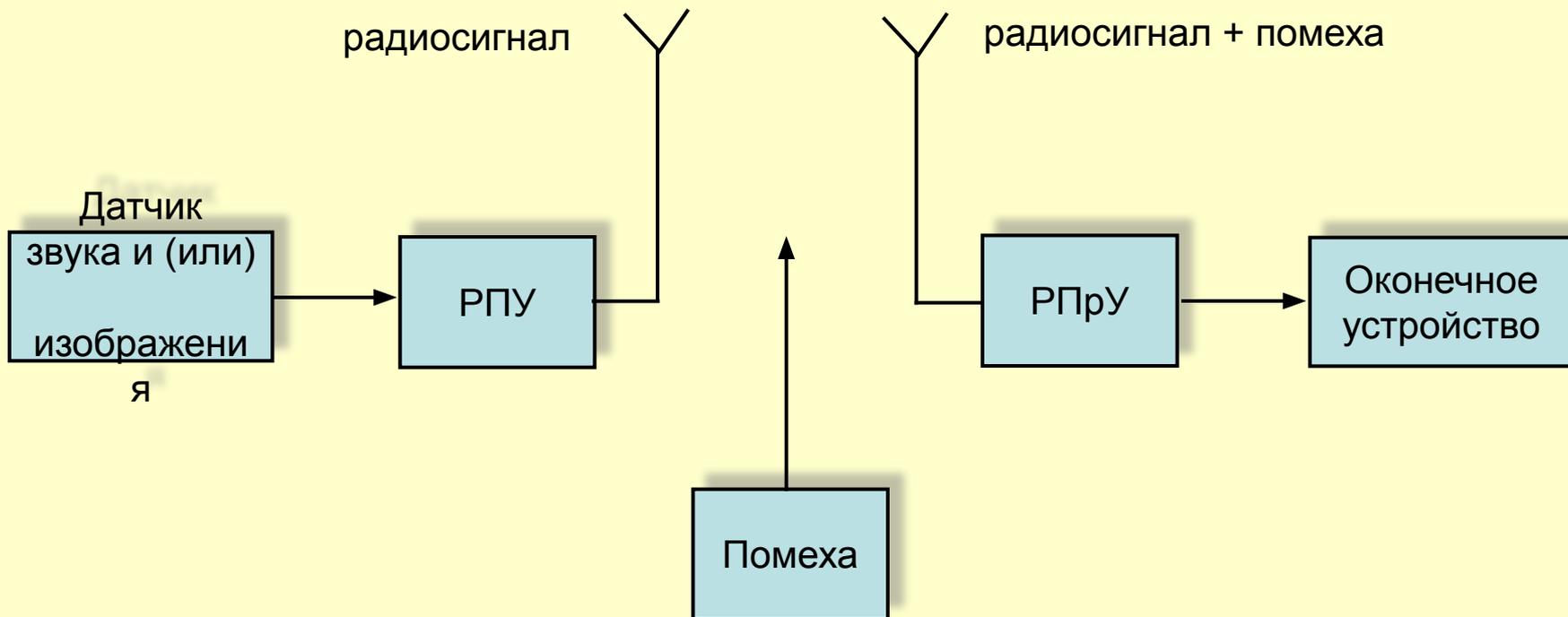


в)

Кварцевый автогенератор



Структурная схема радиоканала телерадиовещания



Классификация РПрУ

По назначению: - профессиональные (связные, радиолокационные, радионавигационные, телевизионные, радиомониторинга и др.);

- широковещательные.

По виду сигнала: - РПрУ простых сигналов (база сигналов $V_c=1$);

- РПрУ сложных сигналов ($V_c > 1$).

По способу обработки: -корреляционный

-фильтровой

-корреляционно-фильтровой

По диапазону частот: декаметровый; метровый; дециметровый; сантиметровый; миллиметровый, субмиллиметровый.

По методу передачи сигналов вещания: -аналоговые

-цифровые

По виду модуляции: АМ; ФМ; ЧМ; ОБП-АМ, КАМ и т.д.

По схемной реализации: - детекторные (прямого детектирования)

- прямого усиления

- супергетеродинные

- прямого преобразования (гомодинные или гетеродинные)

- с положительными ОС (регенеративные и суперрегенеративные)

- SDR (Software Defined Radio)

Основные функции РПрУ: избирательность (выделение полезного сигнала); усиление (до уровня, необходимого для нормальной работы ОУ); преобразование (для обеспечения повышенной избирательности и устойчивого усиления); выделение закона модуляции либо измерение параметров сигнала

Основные параметры РПрУ

Чувствительность – минимальная мощность или напряжение на входе РПрУ, при которых обеспечивается заданное качество обработки сигнала

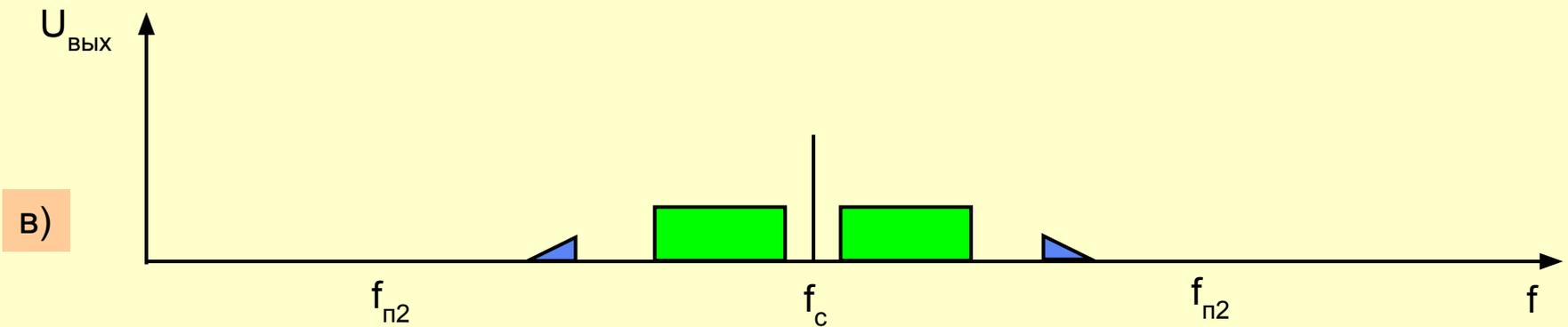
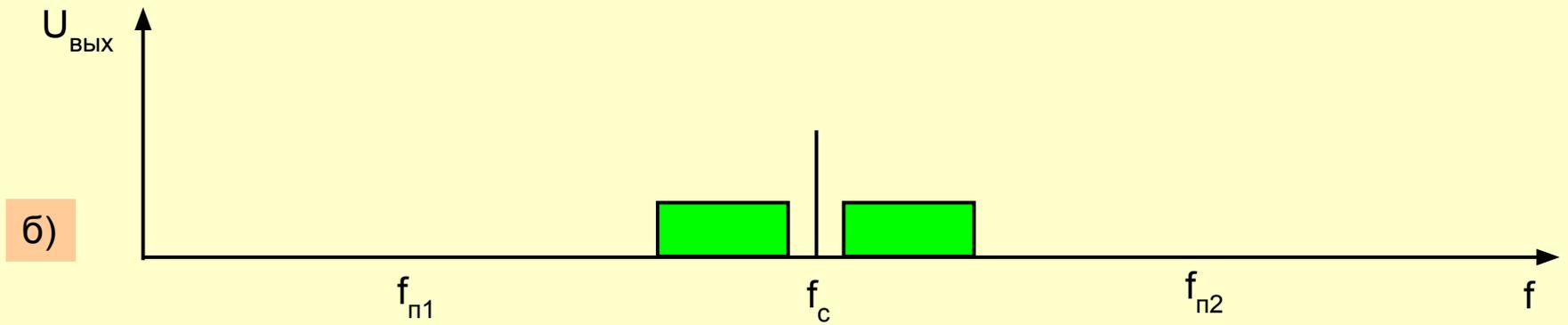
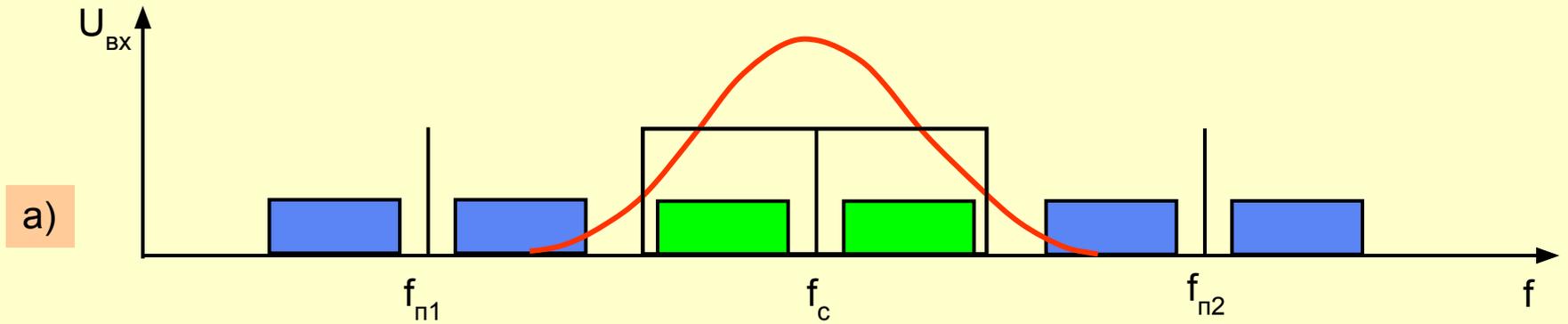
Предельная чувствительность – минимальная мощность P_c мин или напряжение U_c мин на входе приемника, при которых отношение сигнал/шум на выходе линейной части РПрУ равняется единице ($P_c/P_{ш}=1$ или $U_c/U_{ш}=1$);

Реальная (пороговая) чувствительность – минимальная мощность или напряжение на входе приемника, при которых обеспечивается заданное качество приема (заданное отношение сигнал/шум на выходе линейной части РПрУ).

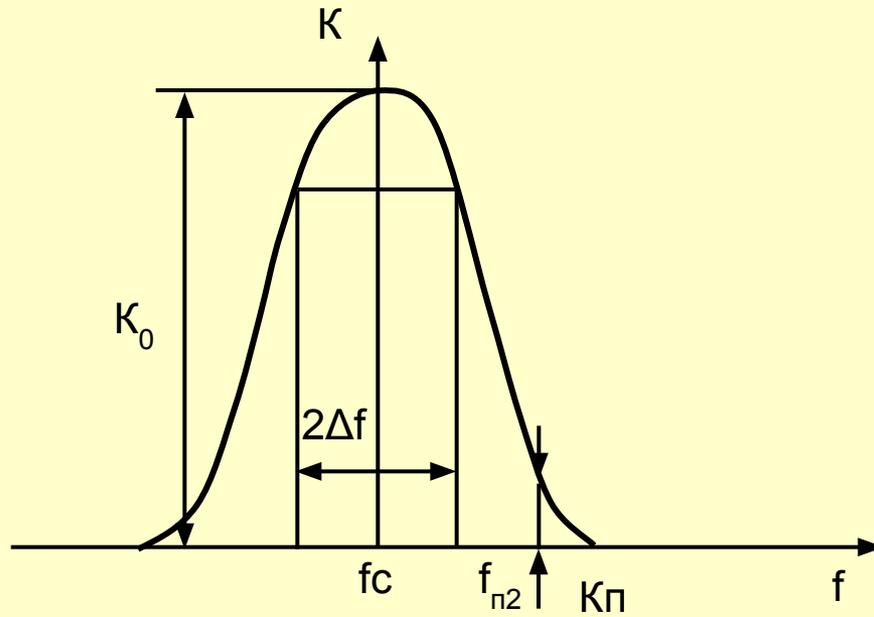
При длине волны $\lambda > 1$ м, когда резонансные цепи РПрУ можно считать системами с сосредоточенными параметрами, чувствительность принято выражать в единицах напряжения - микровольтах или милливольтмах U_c мин. При $\lambda < 1$ м – в единицах мощности P_c мин.

Реальная чувствительность радиовещательных приемников находится в пределах 50...300 мкВ в зависимости от класса качества. Чувствительность приемников спутникового телевидения может составлять 10^{-14} ... 10^{-15} Вт. Для радиовещательных приемников с ферритовой антенной используется понятие чувствительности по напряженности поля. Она имеет значение от 0,3 до 5 мВ/м.

Частотная избирательность РПрУ



Резонансная характеристика приемника

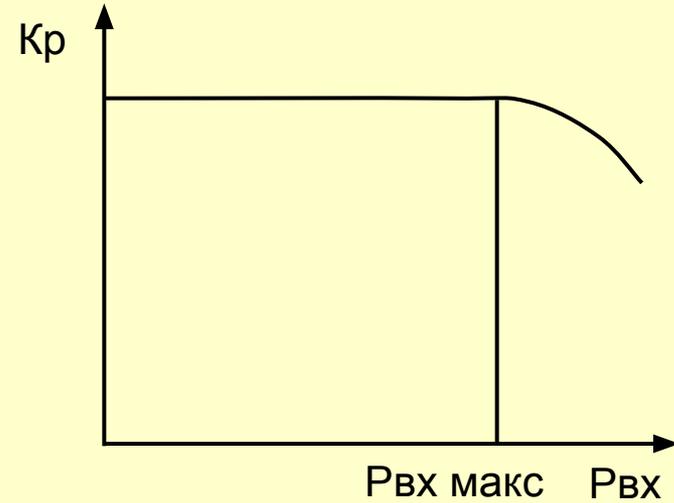
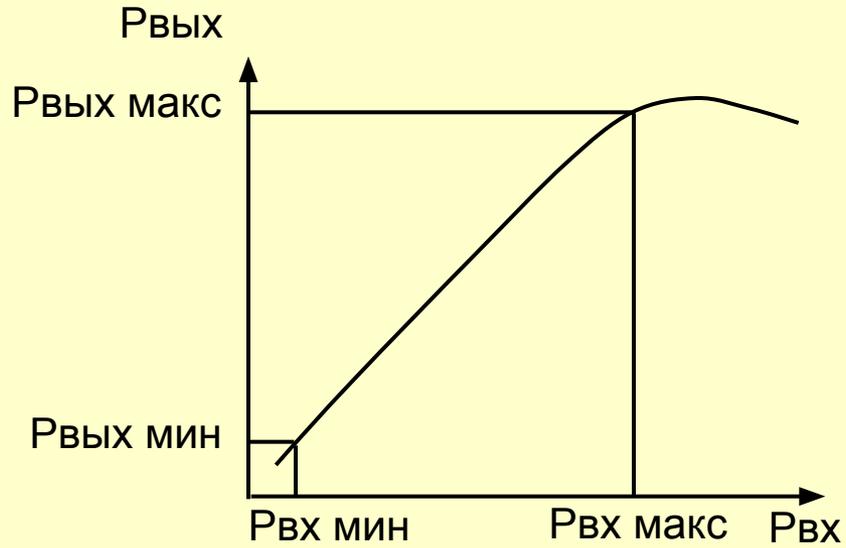


$$Se = K_0 / K_{п}$$

$$Se_{дБ} = 20 \lg Se = K_{0дБ} - K_{пдБ}$$

$$Q = f_0 / 2\Delta f$$

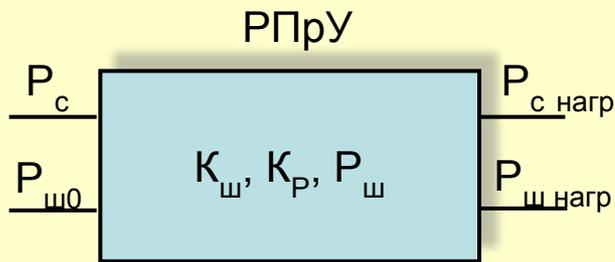
Динамический диапазон



$$D = P_{вх\ макс} / P_{вх\ мин}$$

$$D_{дБ} = 10 \lg(P_{вх\ макс} / P_{вх\ мин}) \sim 60 \dots 110 \text{ дБ}$$

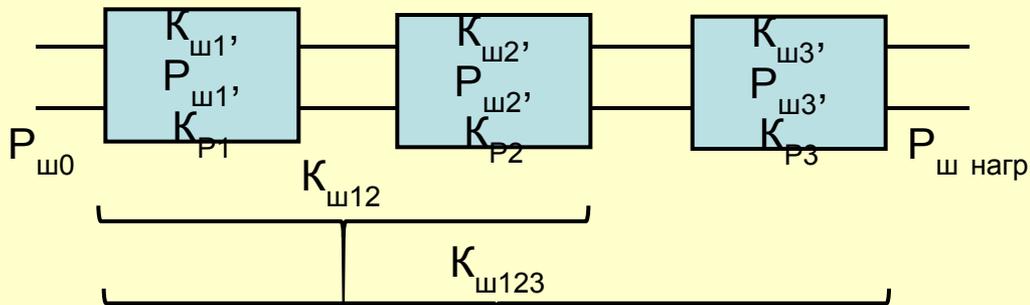
Коэффициент шума РПРУ



$$K_{ш} = \frac{(P_c / P_{ш})_{\text{вх}}}{(P_c / P_{ш})_{\text{вых}}} = 1 + \frac{P_{ш}}{K_p P_{ш0}}$$

Для пассивного четырехполюсника : $K_{ш\text{пас}} = \frac{P_{ш0}}{K_p P_{ш0}} = \frac{1}{K_p}$

$$K_p < 1 \quad K_{ш} > 1$$

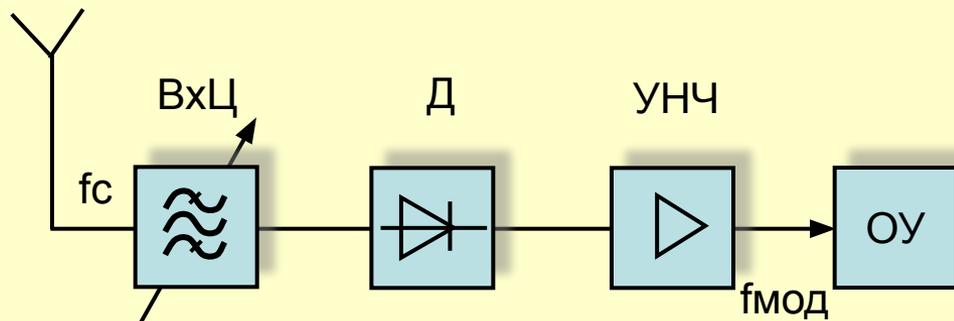


$$K_{ш12} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2} - 1}{K_{p1}}$$

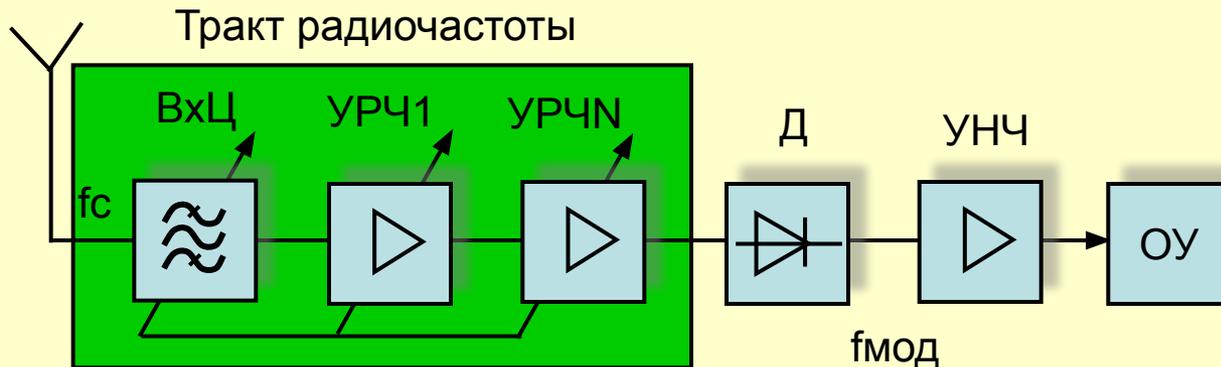
$$K_{ш123} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2} - 1}{K_{p1}} + \frac{K_{ш3} - 1}{K_{p1} K_{p2}}$$

$$K_{шN} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2} - 1}{K_{p1}} + \frac{K_{ш3} - 1}{K_{p1} K_{p2}} + \dots + \frac{K_{шN} - 1}{K_{p1} K_{p2} \dots K_{p(N-1)}}$$

Структурные схемы РПрУ СРТВ

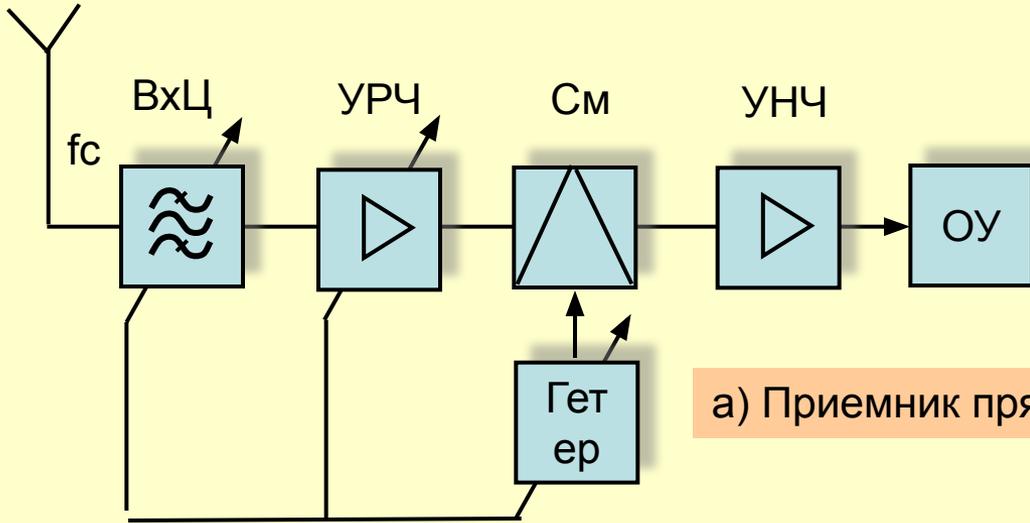


а) Приемник прямого детектирования



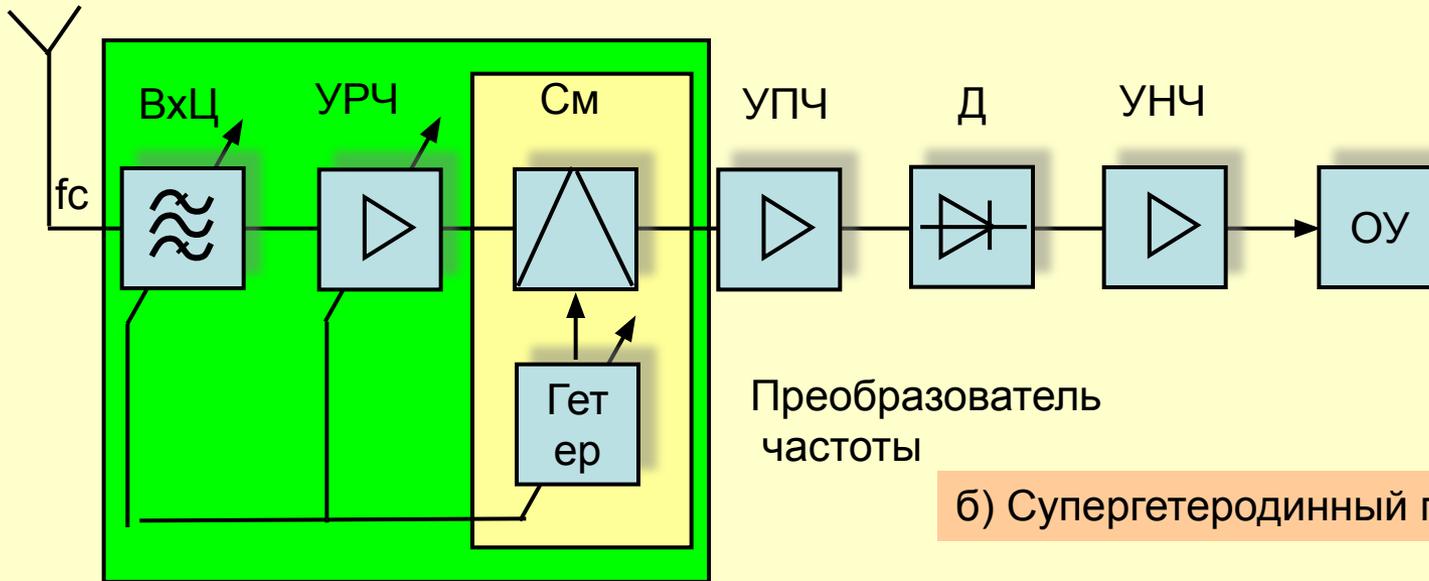
б) Приемник прямого усиления

Структурные схемы РПрУ СРТВ



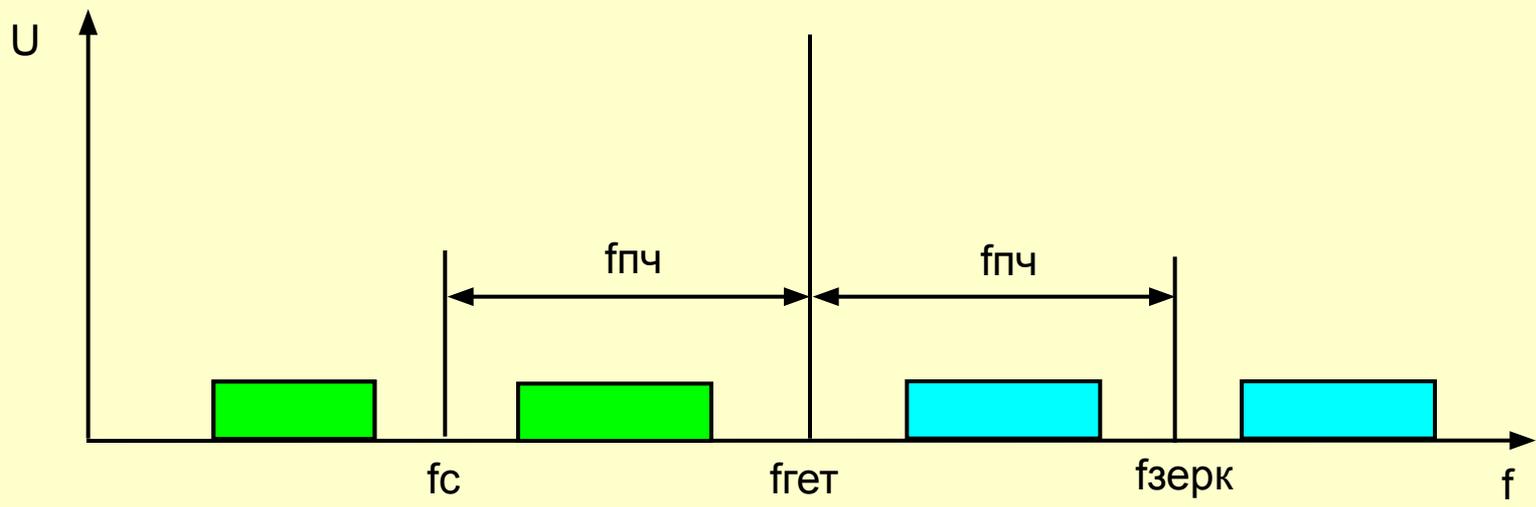
а) Приемник прямого преобразования

Тракт радиочастоты

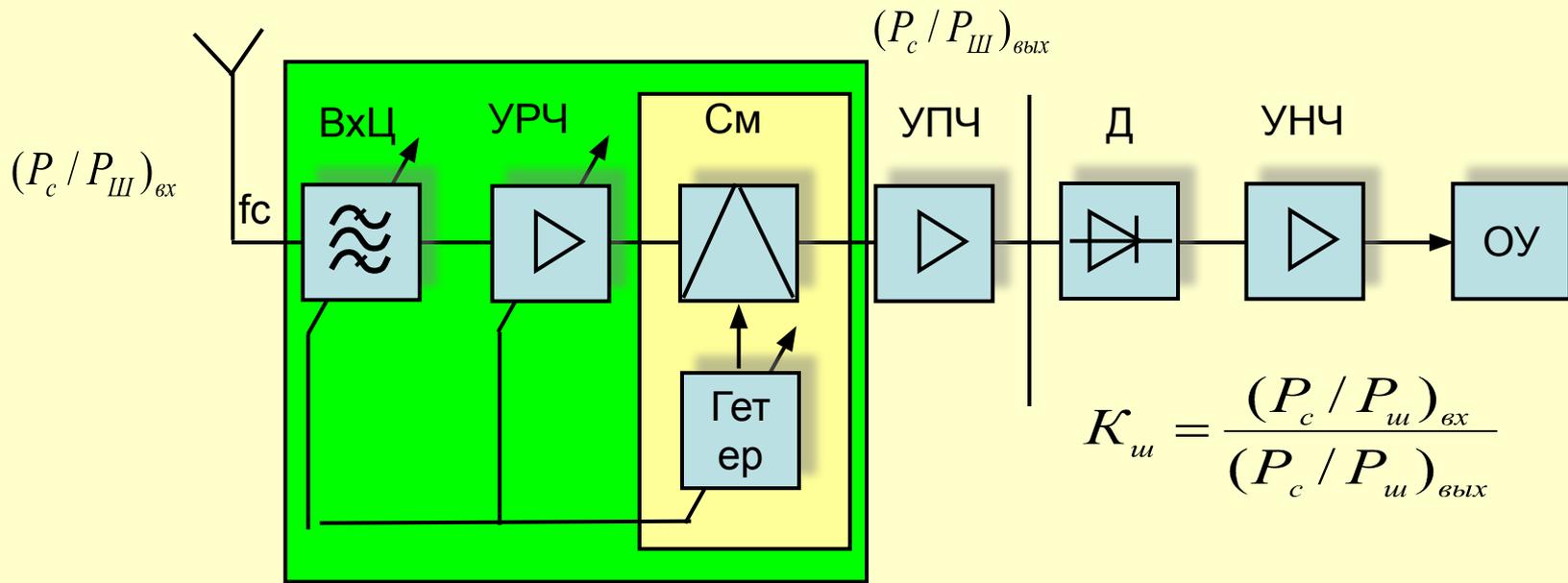


б) Супергетеродинный приемник

Помеха по зеркальному каналу



Коэффициент шума супергетеродинного приемника



$$K_{ш} = K_{шВх} + \frac{K_{шУРЧ} - 1}{K_{pВх}} + \frac{K_{шСМ} - 1}{K_{pВх} K_{pУРЧ}} + \frac{K_{шУПЧ} - 1}{K_{pВх} K_{pУРЧ} K_{pСМ}} \dots \quad K_{шВх} = 1 / K_{pВх}$$

$$K_{pВх} < 1$$

При $K_{pВх} \approx 1$

$$K_{ш} = K_{шУРЧ} + \frac{K_{шПЧ} - 1}{K_{pУРЧ}} + \frac{K_{шУПЧ} - 1}{K_{pУРЧ} K_{pПЧ}} + \dots$$

SDR – программно определяемое радиооборудование (Software Defined Radio)

Оборудование SDR – это элементы беспроводной сети, режимы работы и параметры которой могут быть изменены или расширены уже после изготовления элементов с помощью программного обеспечения

