

## **Лекция 3**

### **Радиопередающие и радиоприемные устройства СРТВ**

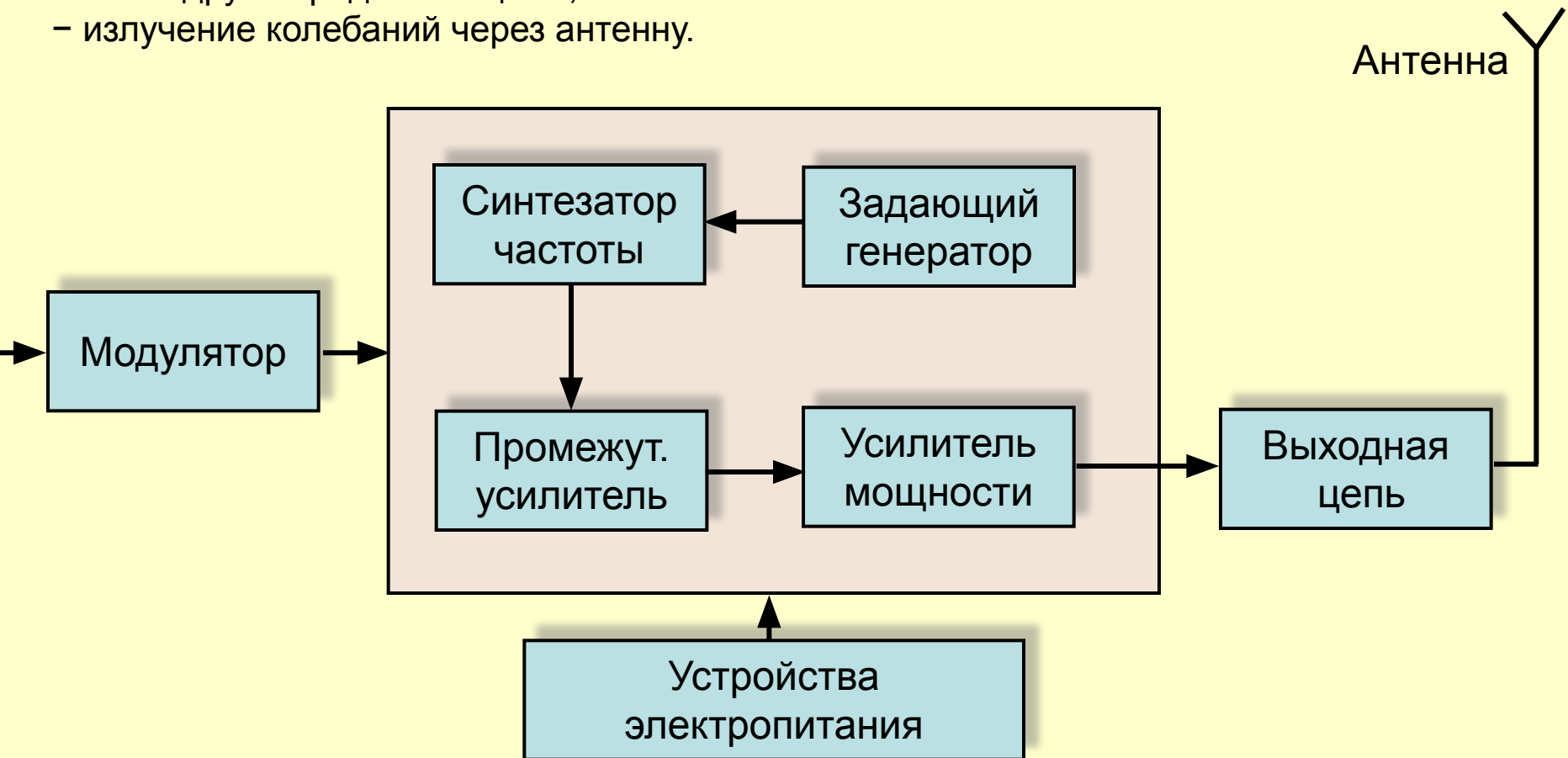
**1. Радиопередающие устройства (РПУ) СРТВ**

**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

$$\pm \Delta f_n$$

$$\Delta f_n / f_0$$

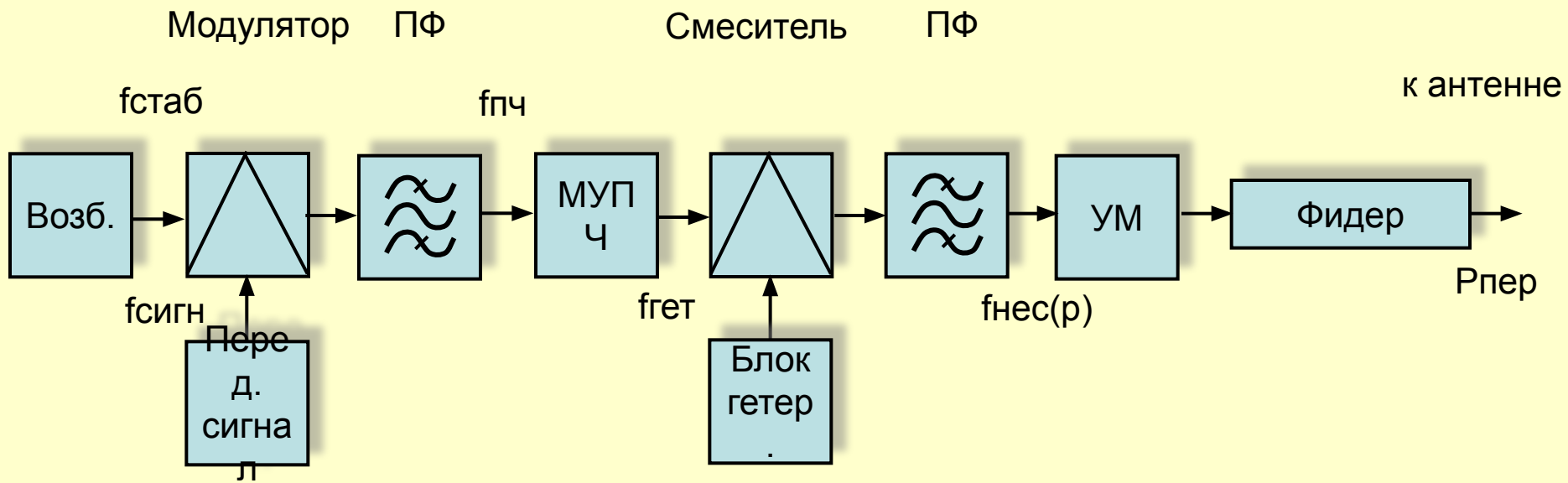
составляет  **$10^{-5} \dots 10^{-8}$**

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

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

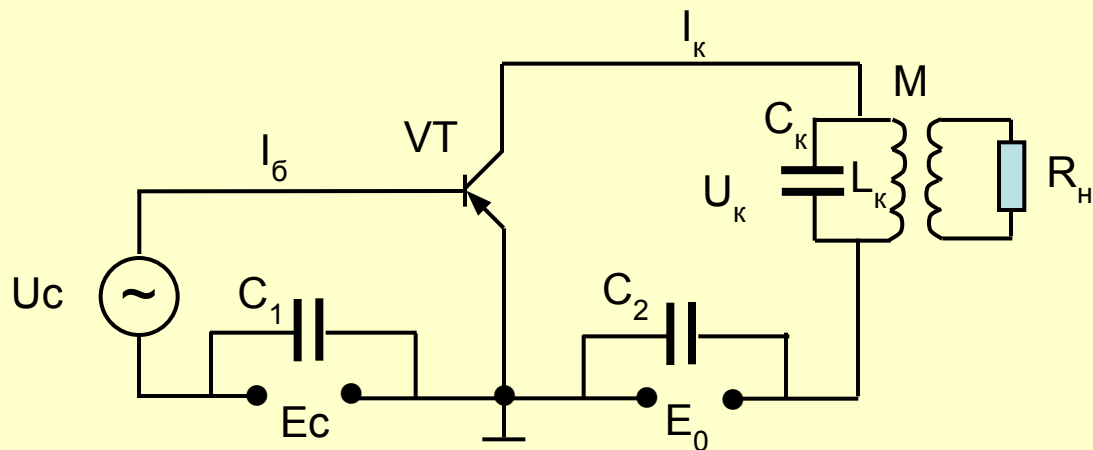
**Стабильность частоты.** По международным нормам отклонение от номинала частоты РПУ для радиосвязи на гектометровых волнах не должно превышать 0,005 %; для радиовещательных передатчиков отклонение частоты в этом диапазоне не должно превышать 10 Гц. На декаметровых волнах допустимая нестабильность частоты 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

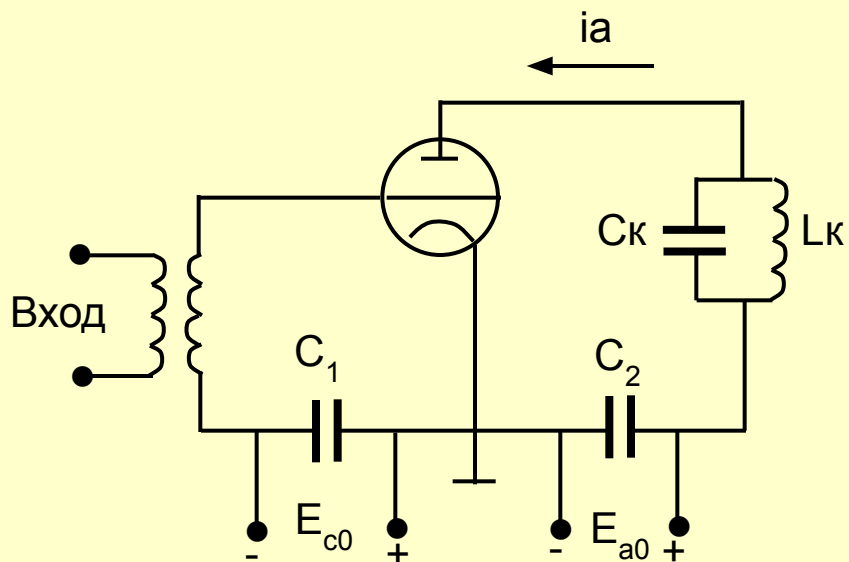


## Особенности усилителей мощности РПУ

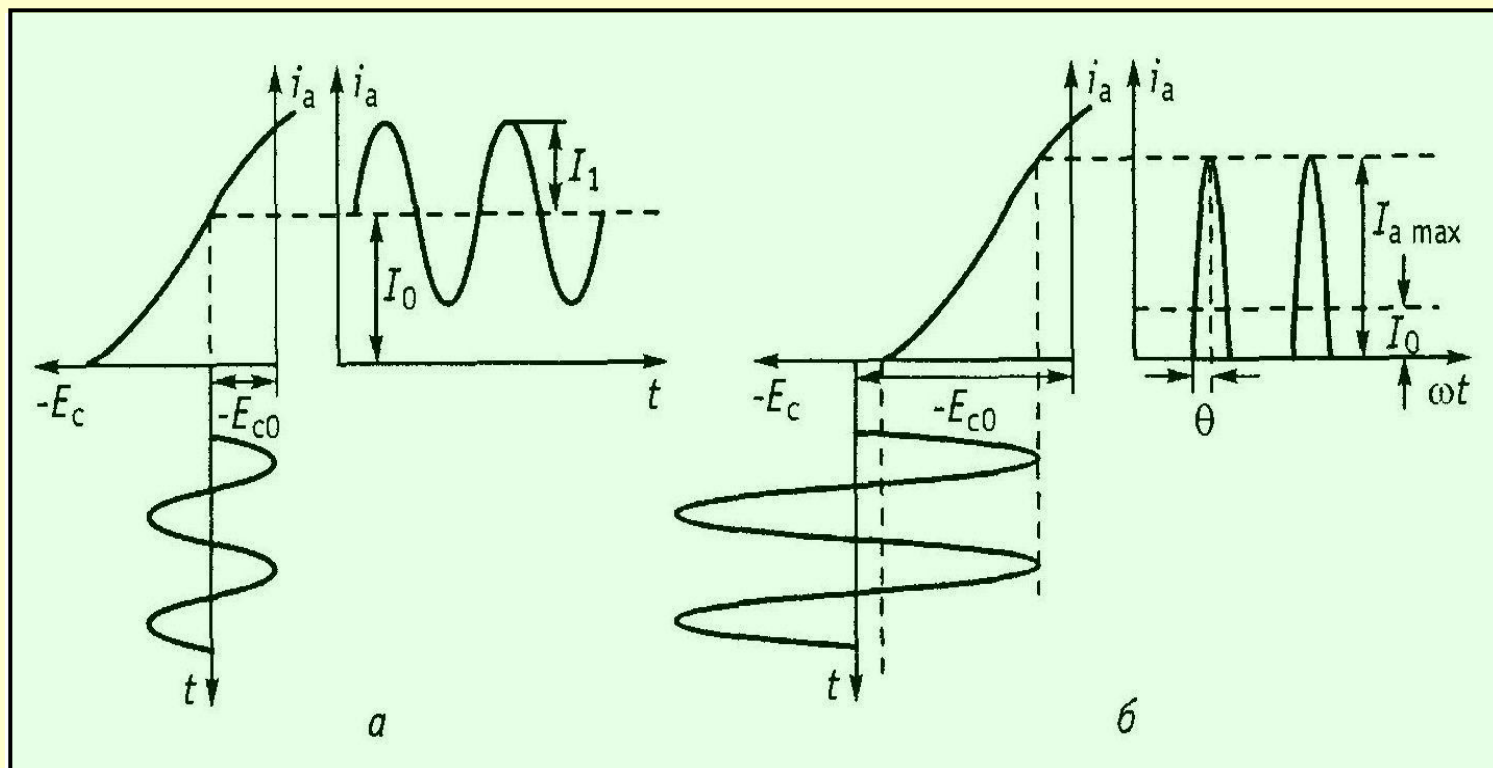
а)



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  $\theta$ .

## Параметры ГВВ

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

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

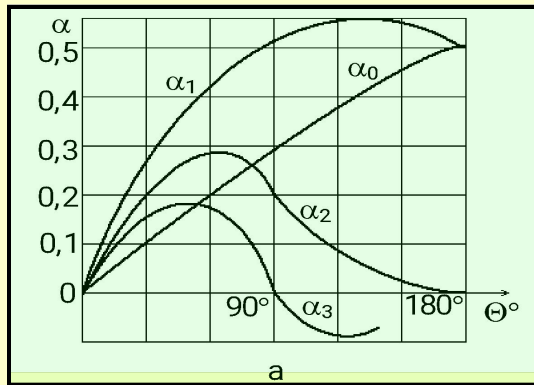
Основными энергетическими характеристиками ГВВ являются:

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

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

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

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

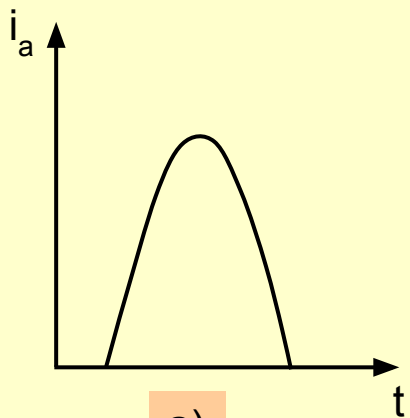


При  $0 < \theta < 120^\circ$  и  $\xi = const$  полезная мощность падает с уменьшением  $\theta$ , а  $\gamma$  и, следовательно,  $\eta$  растет

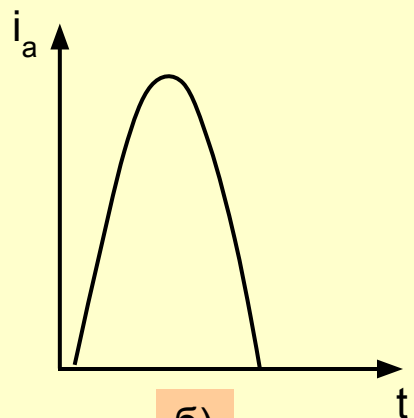
На практике выбирают  $\theta \approx 90^\circ$ . При этом полезная мощность меньше максимально возможной на 7 %, а  $\eta$  выше почти в 1,2 раза ( $\eta \approx 73\%$ ).



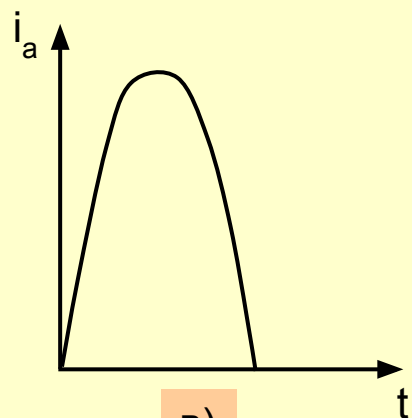
# Параметры ГВВ



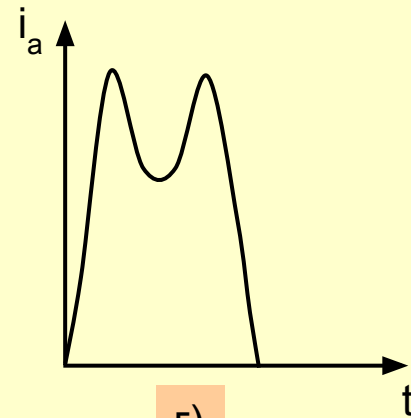
a)



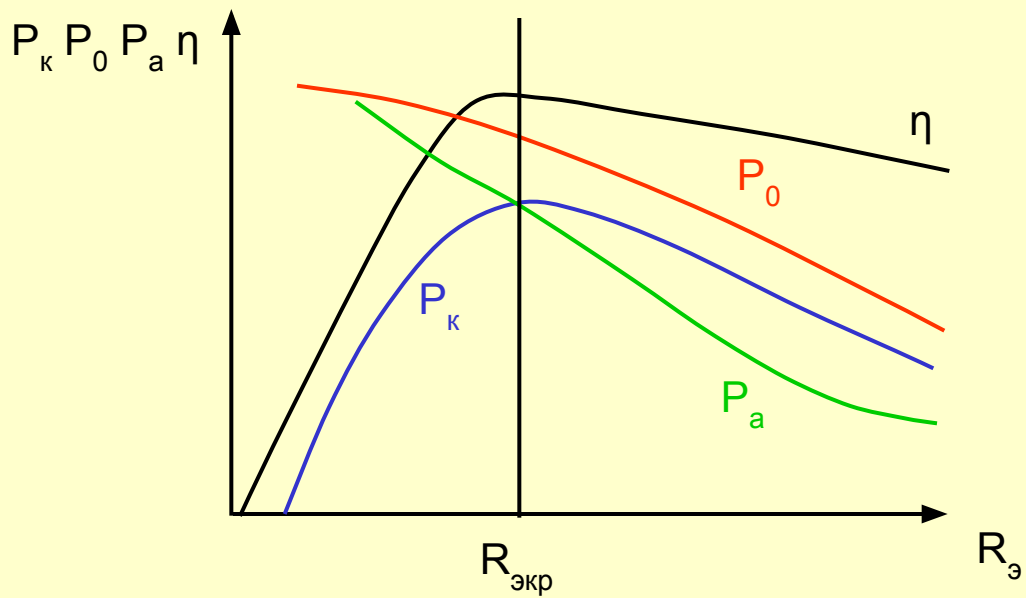
б)



в)

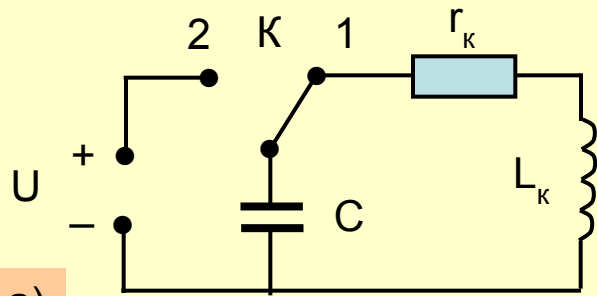


г)



$$P_{\text{а}} = P_0 - P_{\text{к}}$$

# Автогенераторы

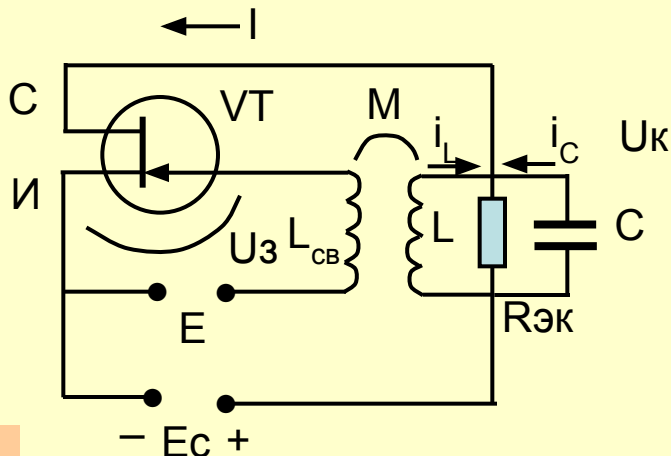


а)

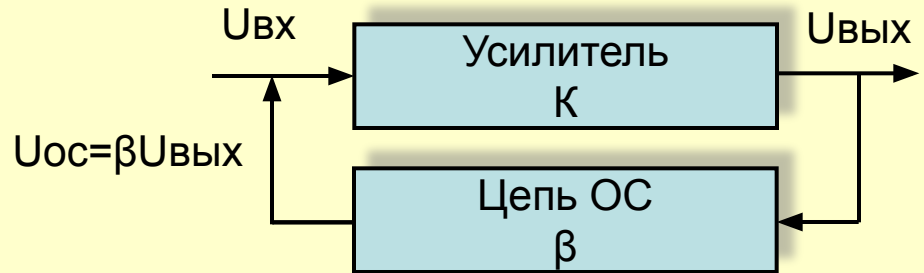
$$\frac{d^2 u}{dt^2} + 2\alpha \frac{du}{dt} + \omega_0^2 u = 0,$$

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

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)

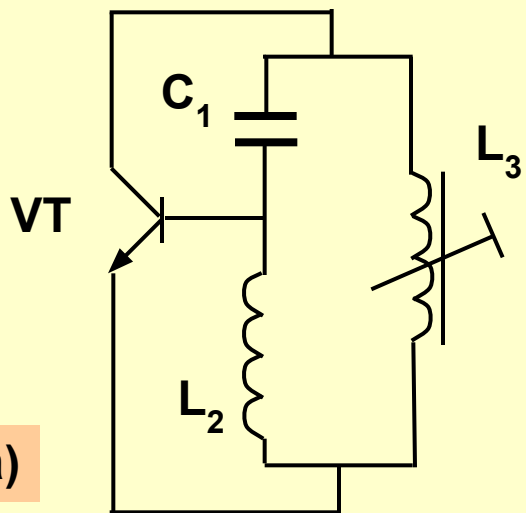


в)

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

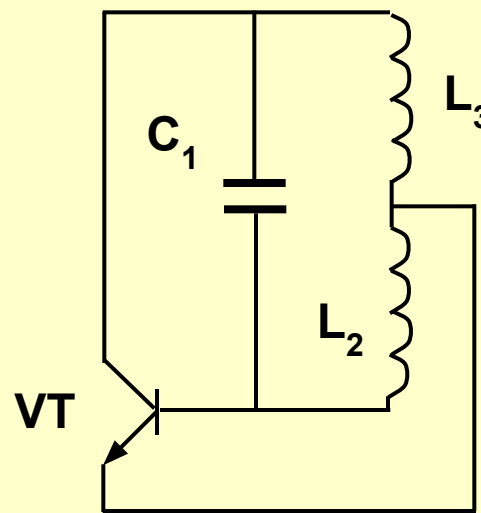
$$\beta U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} = U_{\text{вых}} / K$$

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



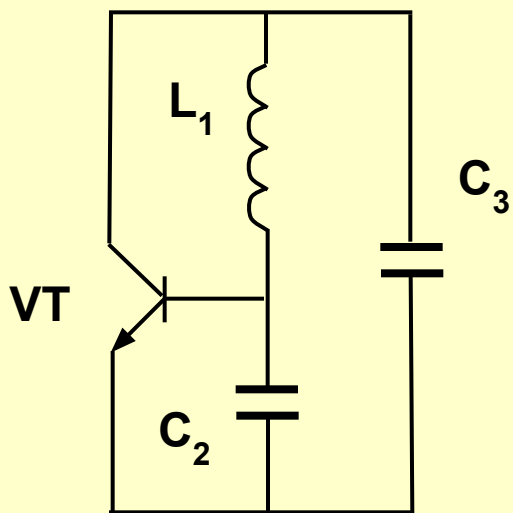
а)

индуктивная



б)

автотрансформаторная

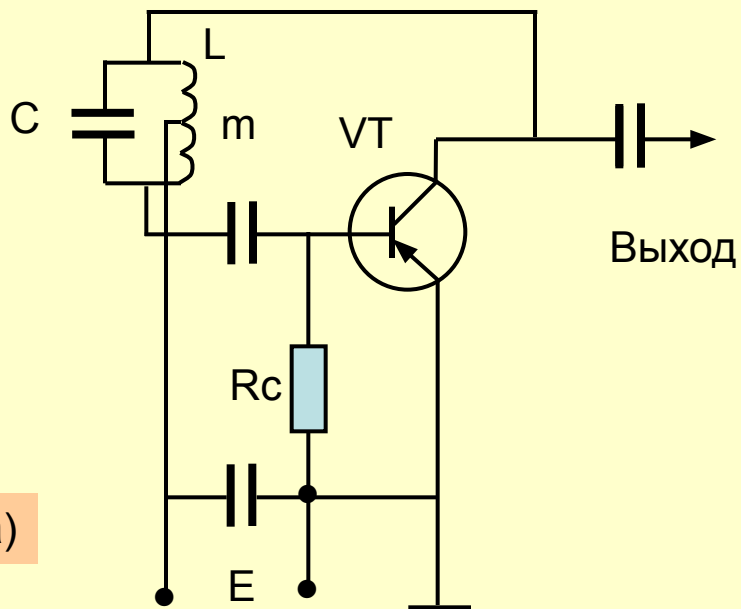


в)

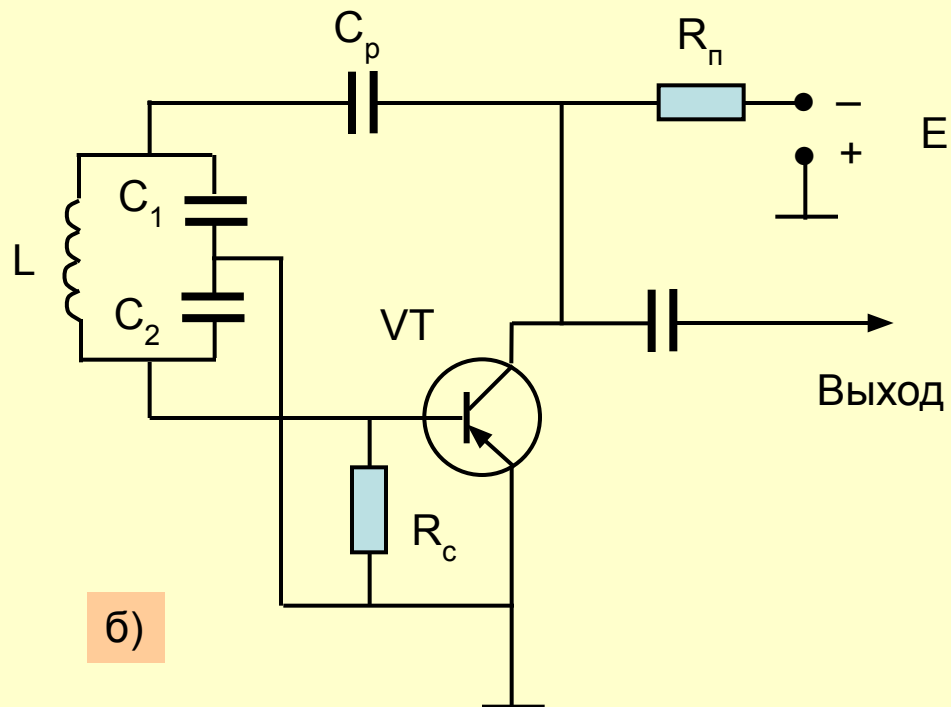
емкостная

# Автогенераторы

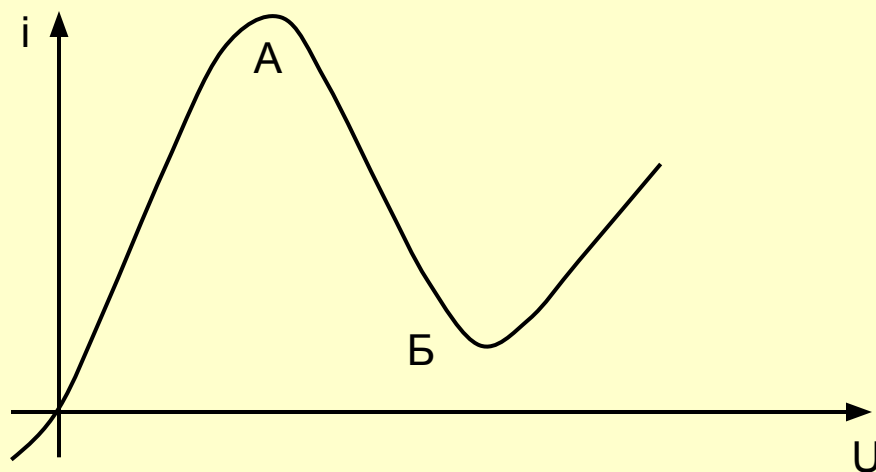
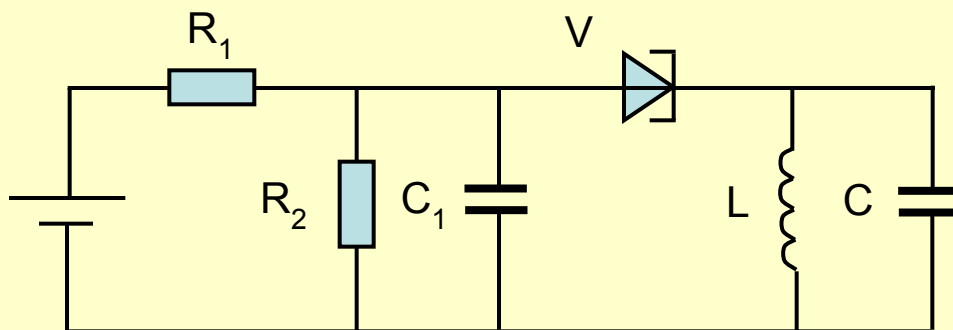
a)



б)

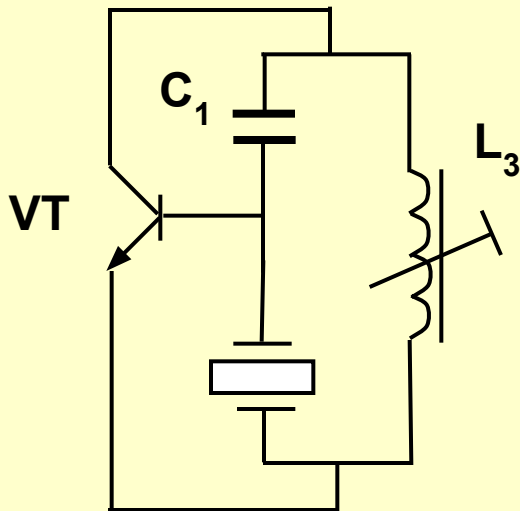
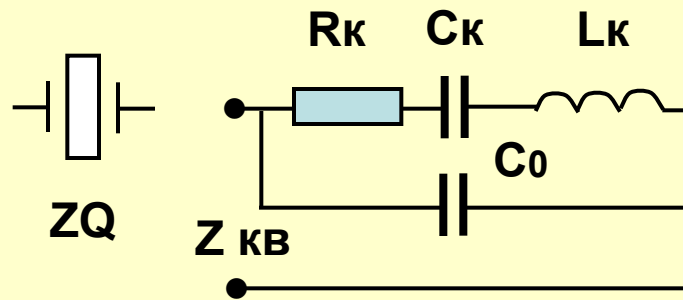


# Автогенераторы

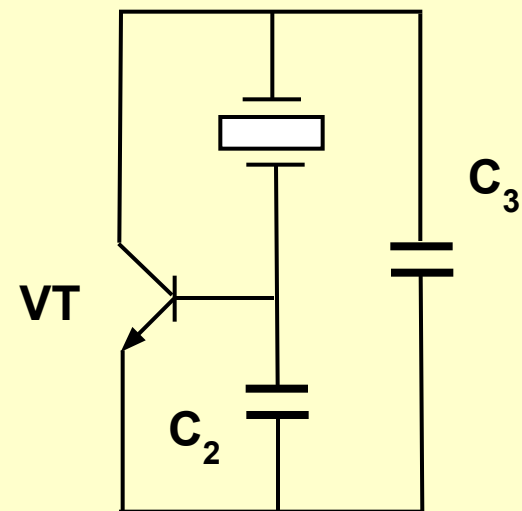


# Кварцевая стабилизация частоты

а)

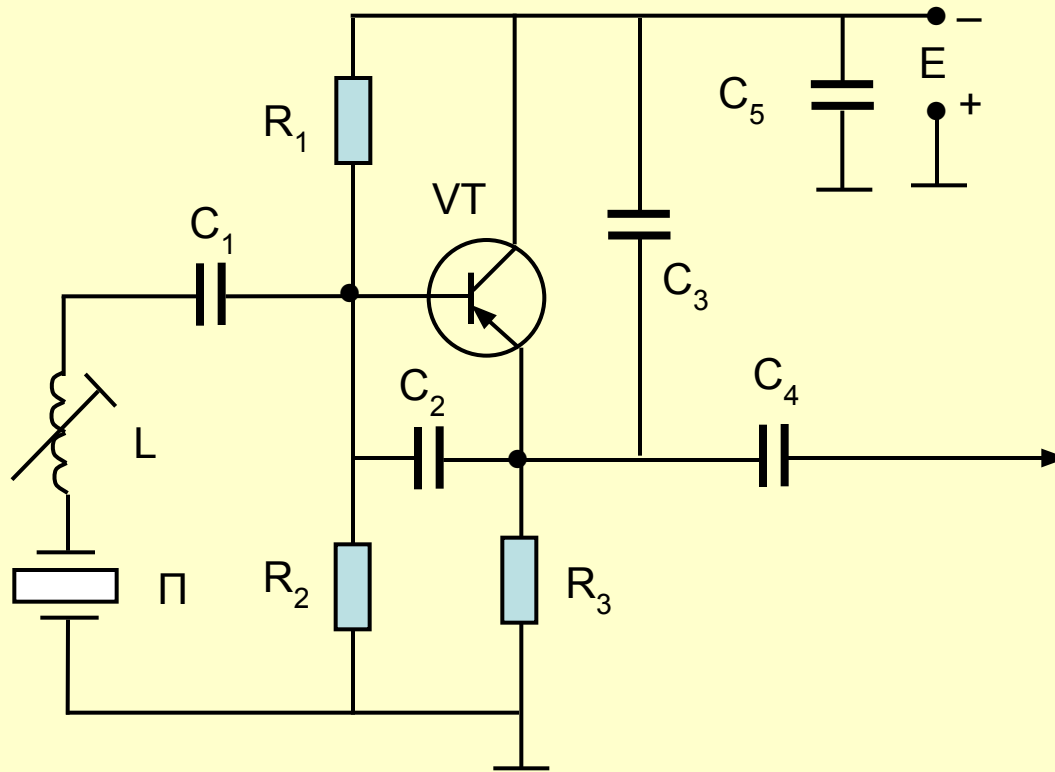


б)

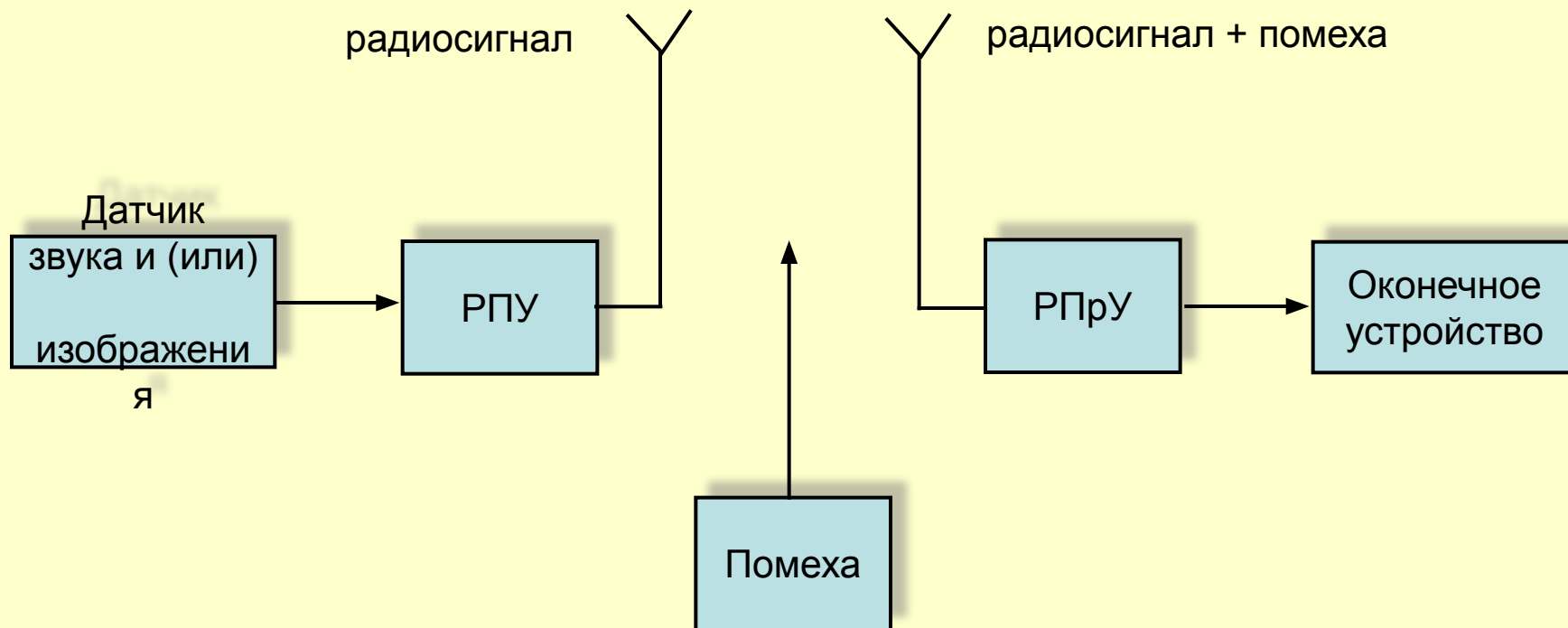


в)

# 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

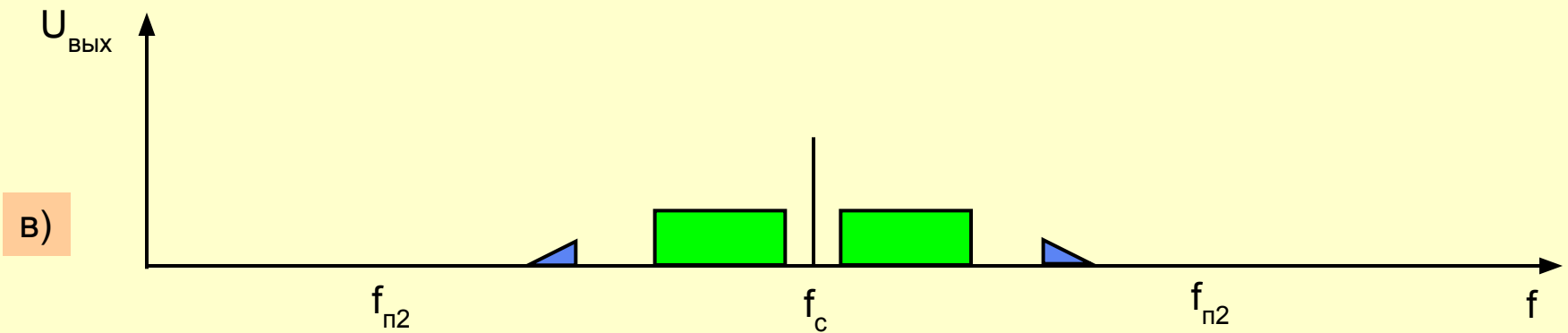
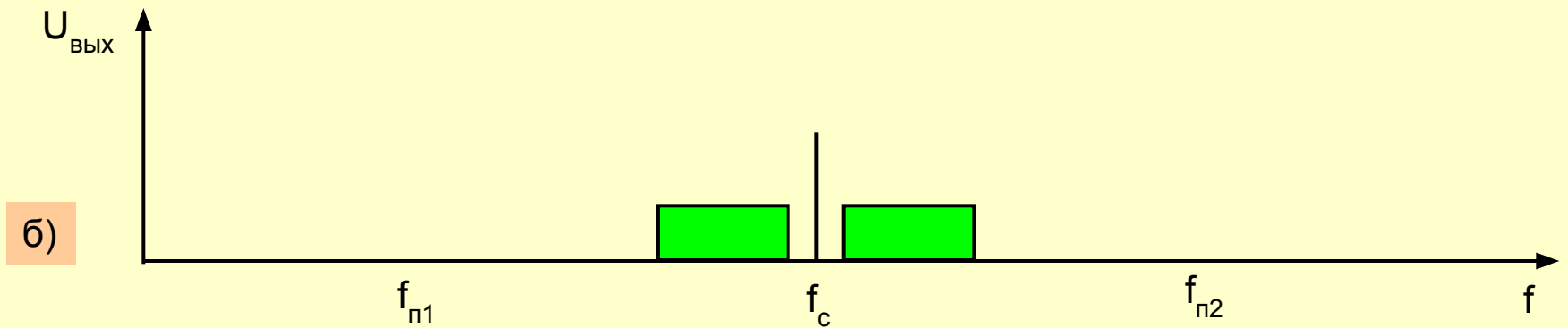
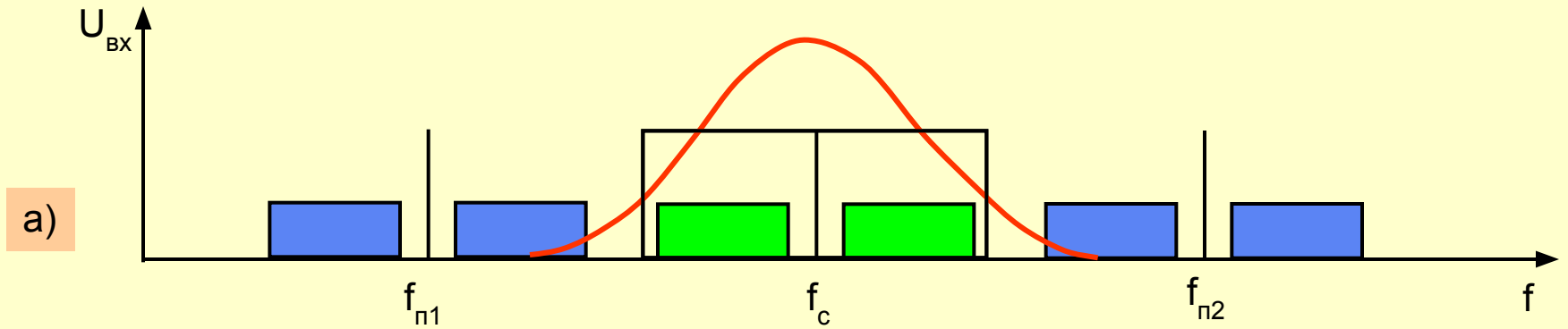
**Предельная чувствительность** – минимальная мощность  $P_c$  мин или напряжение  $U_c$  мин на входе приемника, при которых отношение сигнал/шум на выходе линейной части РПрУ равняется единице ( $P_c/P_{ш}=1$  или  $U_c/U_{ш}=1$ );

**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).

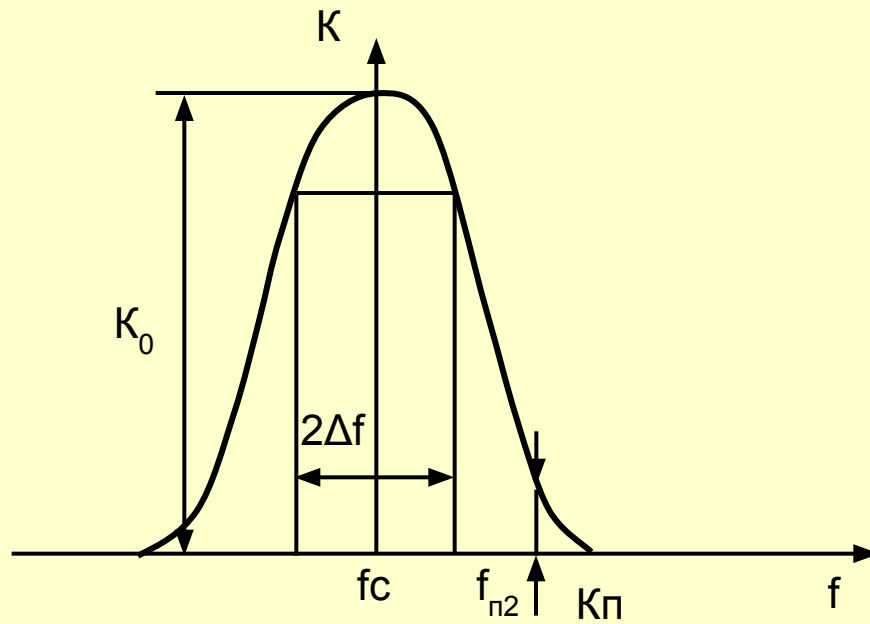
При длине волны  $\lambda > 1$  м, когда резонансные цепи РПрУ можно считать системами с сосредоточенными параметрами, чувствительность принято выражать в единицах напряжения - микровольтах или милливольтмах  $U_c$  мин. При  $\lambda < 1$  м – в единицах мощности  $P_c$  мин.

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

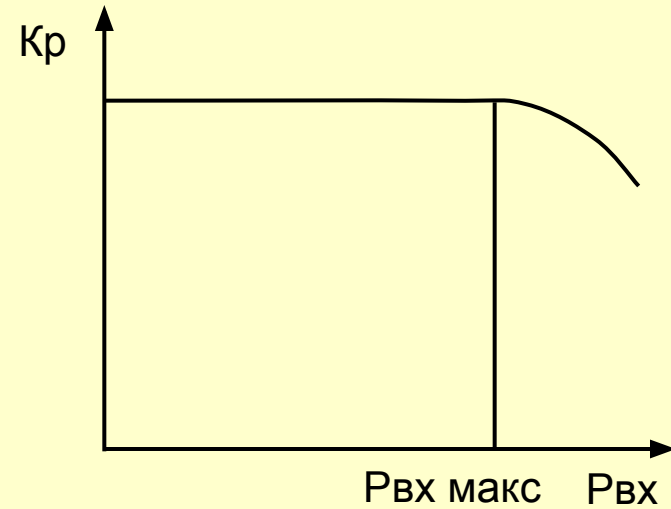
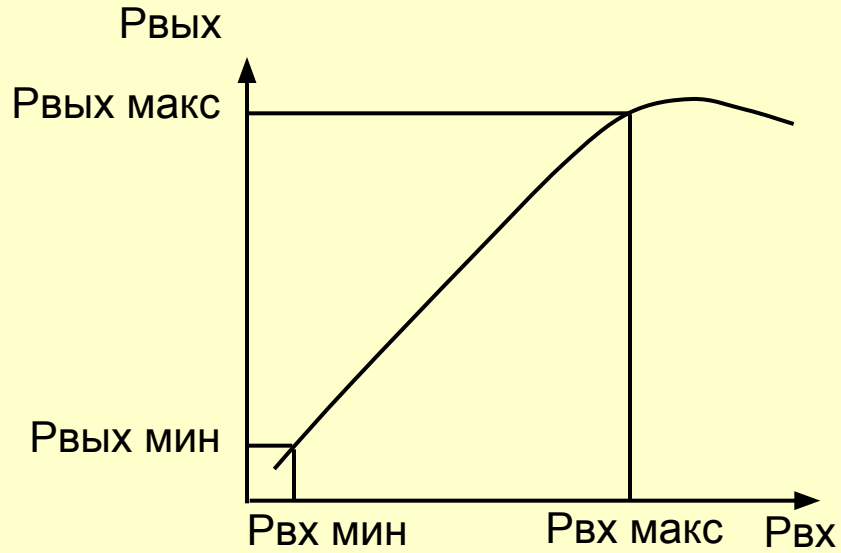


$$Se = K_0 / K_{п}$$

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

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

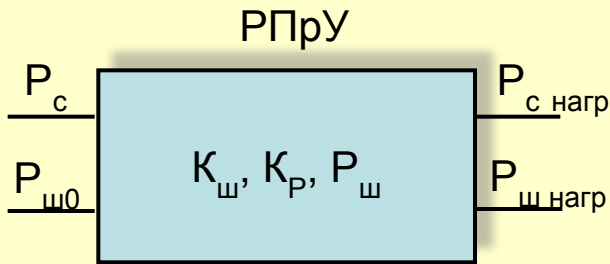
## Динамический диапазон



$$D = P_{вх\ макс} / P_{вх\ мин}$$

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

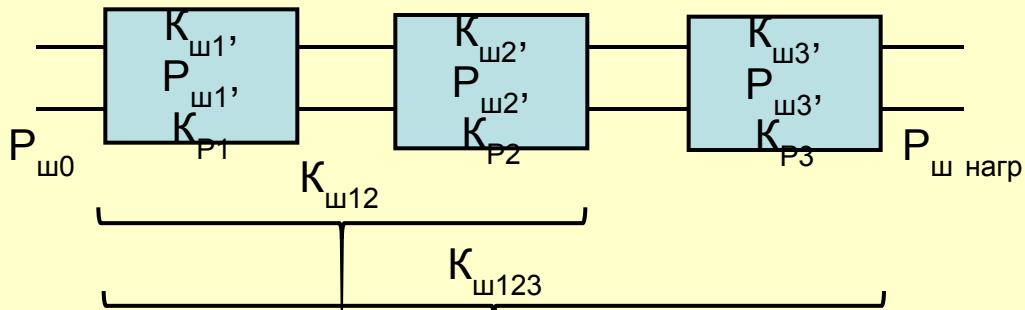
# Коэффициент шума РПРУ



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

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

$$K_p < 1 \quad K_{ш} > 1$$

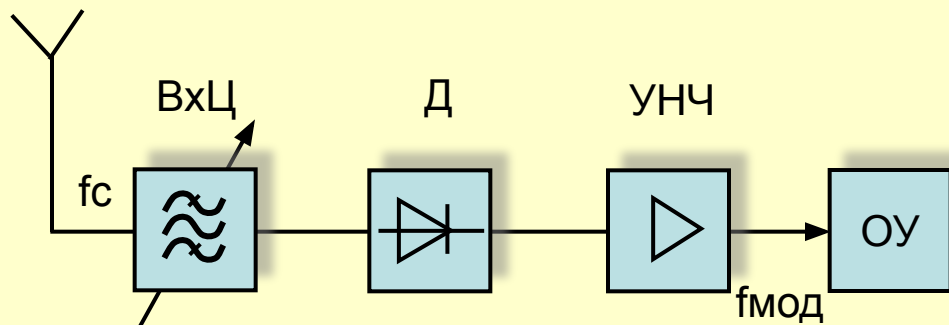


$$K_{ш12} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2} - 1}{K_{p1}}$$

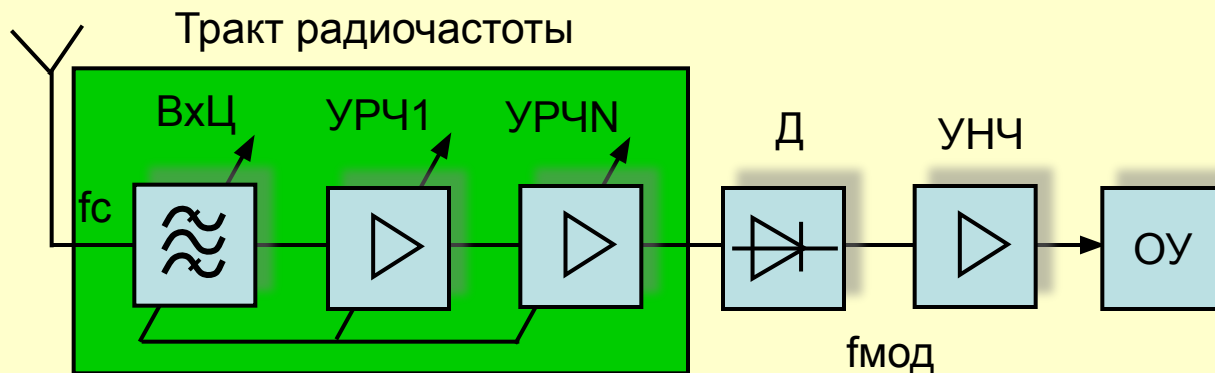
$$K_{ш123} = K_{ш1} + \frac{K_{ш2} - 1}{K_{p1}} + \frac{K_{ш3} - 1}{K_{p1} K_{p2}}$$

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

## Структурные схемы РПрУ СРТВ

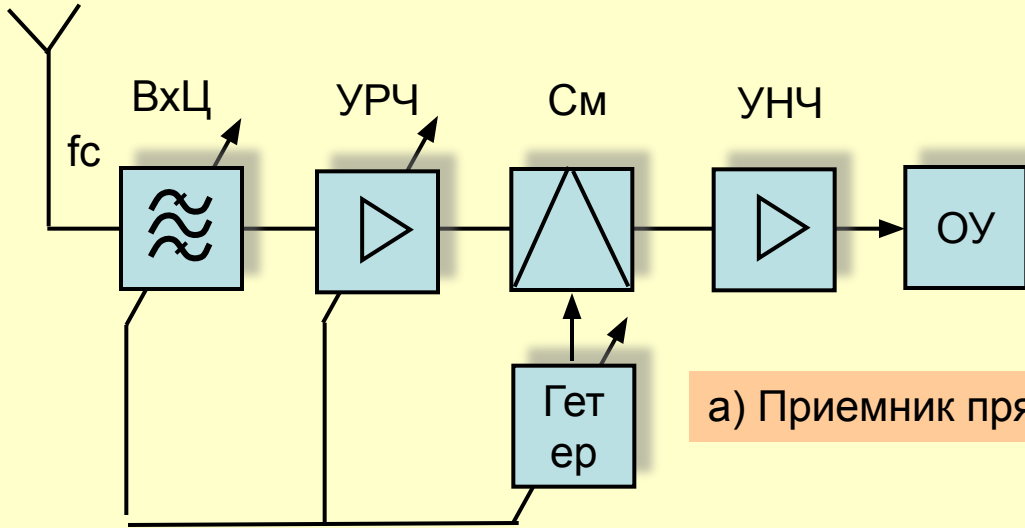


а) Приемник прямого детектирования



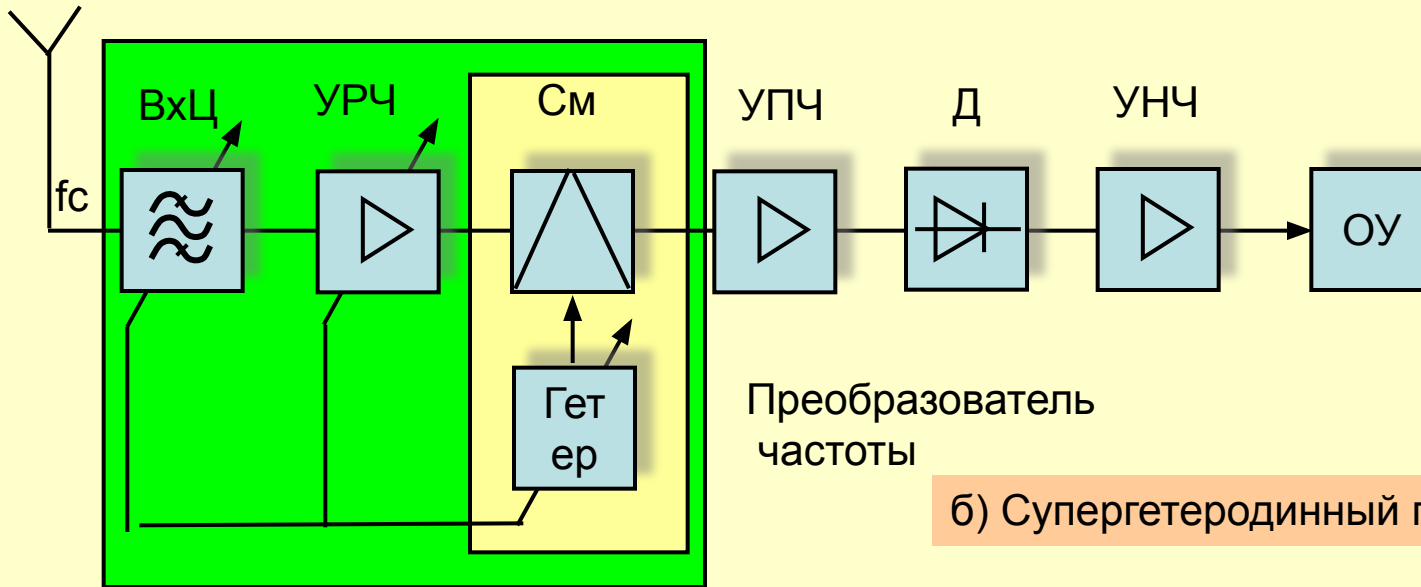
б) Приемник прямого усиления

# Структурные схемы РПрУ СРТВ



а) Приемник прямого преобразования

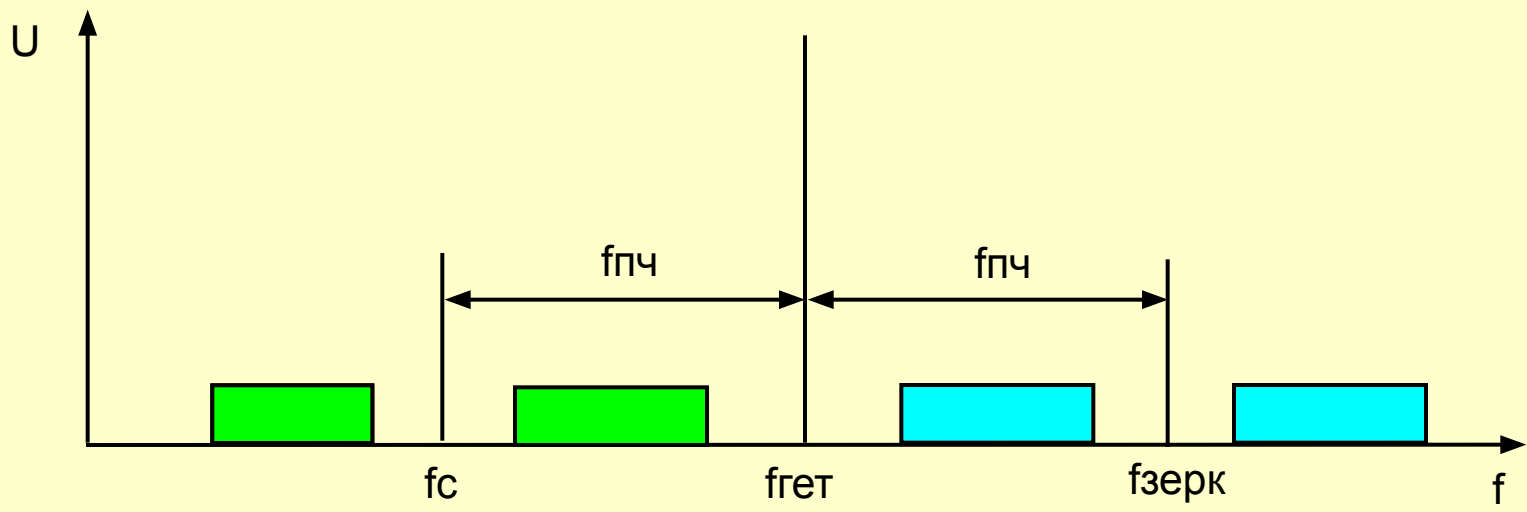
## Тракт радиочастоты



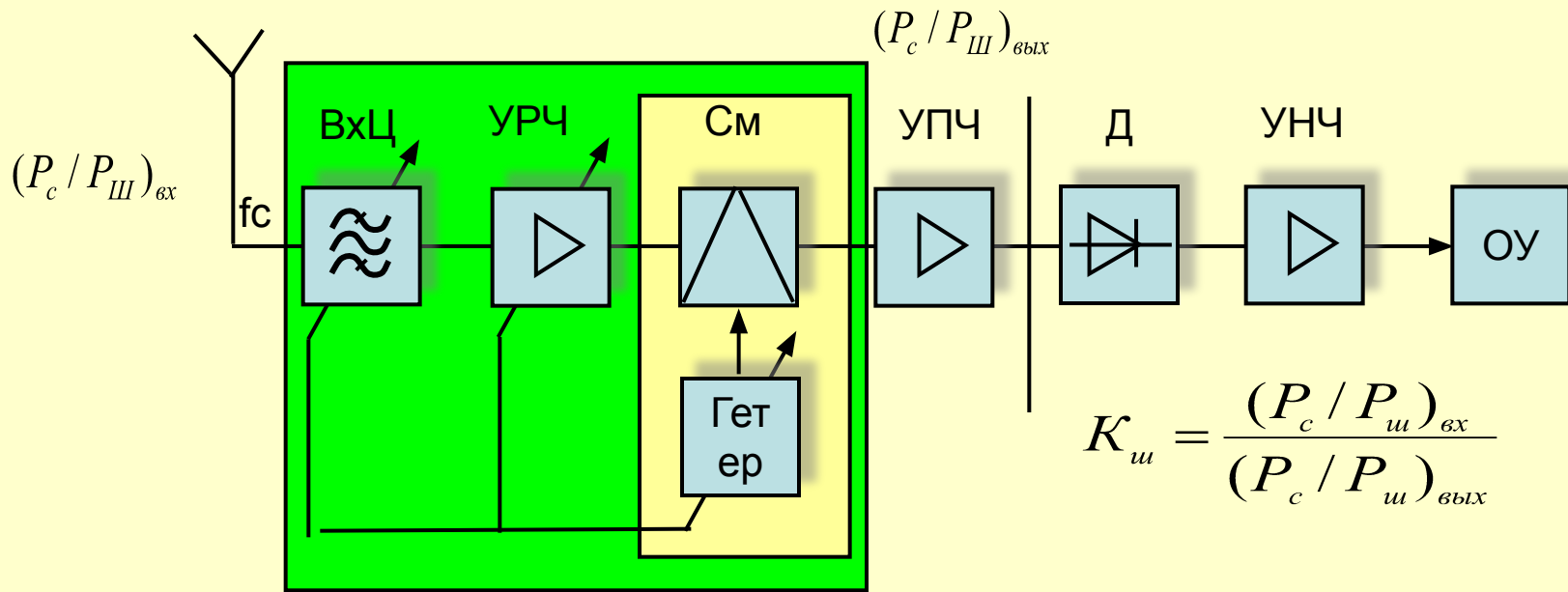
б) Супергетеродинный приемник



# Помеха по зеркальному каналу



# Коэффициент шума супергетеродинного приемника



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

$$K_{pBx} < 1$$

При  $K_{pBx} \approx 1$

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

# 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

