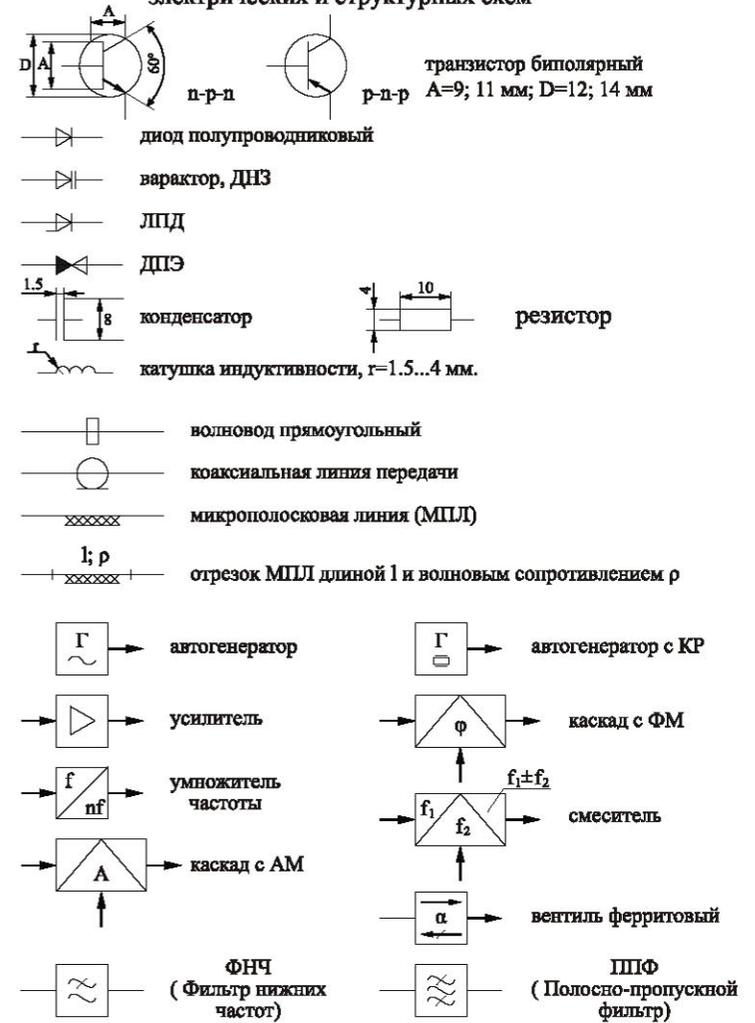


## Греческий алфавит

$\text{A } \alpha$ альфа	$\text{B } \beta$ бета	$\text{Г } \gamma$ гамма	$\Delta \delta$ дельта
$\text{E } \varepsilon$ эпсилон	$\text{Z } \zeta$ дзета	$\text{H } \eta$ эта	$\Theta \theta$ тэта
$\text{I } \iota$ иота	$\text{K } \kappa$ каппа	$\Lambda \lambda$ ламбда	$\text{M } \mu$ ми (мю)
$\text{N } \nu$ ни (ню)	$\Xi \xi$ кси	$\text{O } \omicron$ омикрон	$\text{П } \pi$ пи
$\text{P } \rho$ ро	$\Sigma \sigma$ сигма	$\text{T } \tau$ тау	$\Upsilon \upsilon$ ипсилон
$\Phi \varphi$ фи	$\text{X } \chi$ хи	$\Psi \psi$ пси	$\Omega \omega$ оме'га

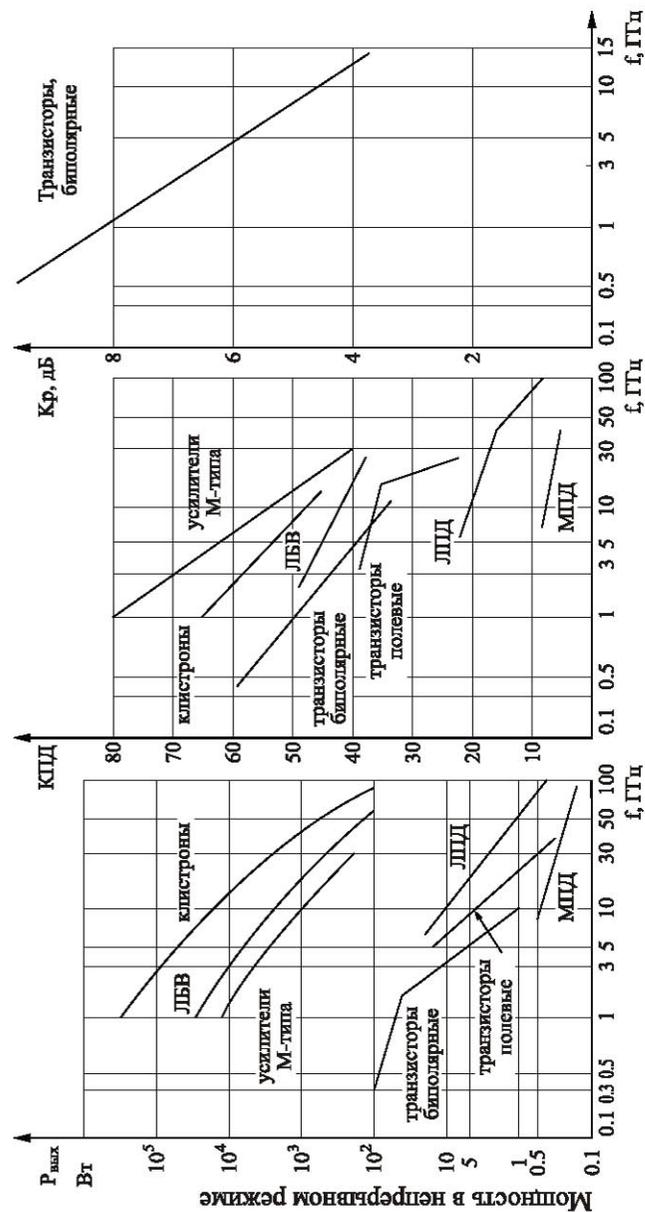
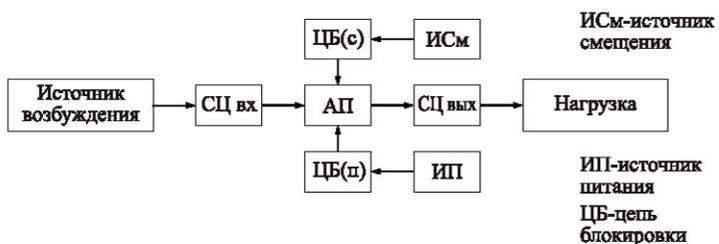
## Условные обозначения для электрических и структурных схем



## Элементная база генераторных устройств (ГУ)

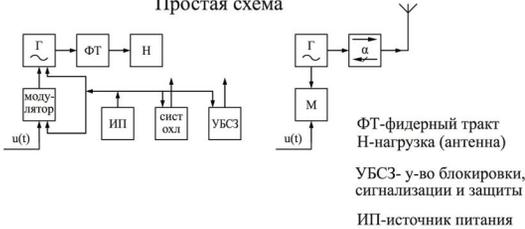


### Структурная схема генератора с внешним возбуждением

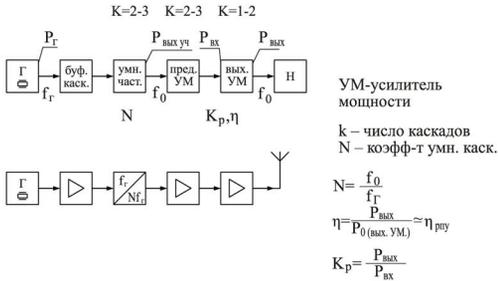


# Структурные схемы РПУ

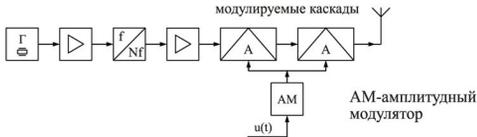
## Простая схема



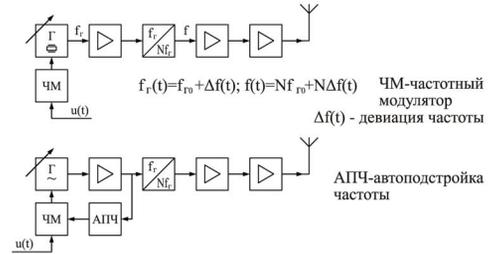
## Сложная схема (ВЧ-тракт)



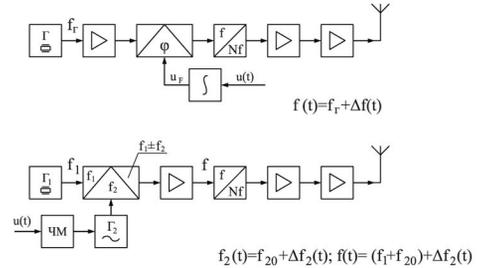
## РПУ с АМ



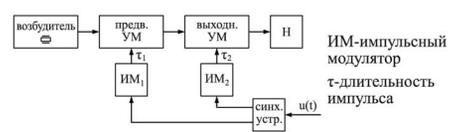
## РПУ с ЧМ (прямой метод)



## РПУ с ЧМ (косвенный метод)

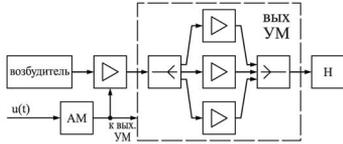


## РПУ с ИМ

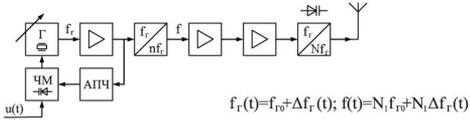


## Полупроводниковые РПУ

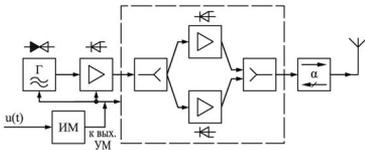
РПУ со сложением мощностей на выходе



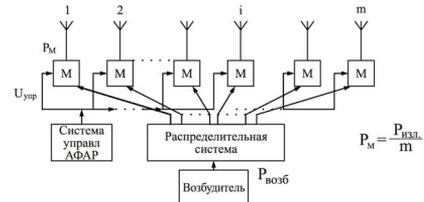
РПУ с ЧМ и варакторным умножением частоты на выходе



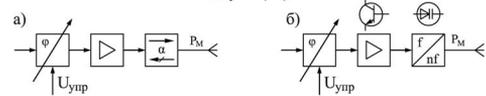
РПУ с ИМ на ЛПД и ДПЭ



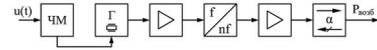
## Передающая АФАР



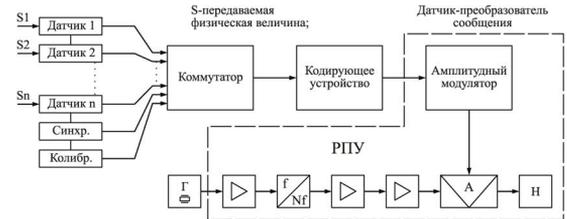
Модуль (М)



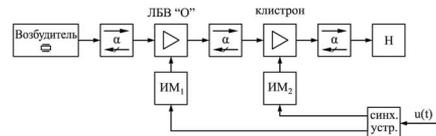
Возбудитель с кварцевым АГ

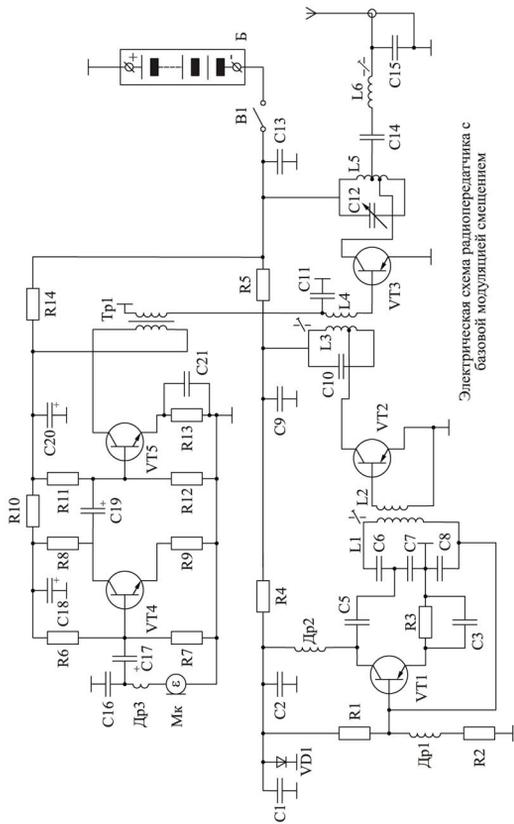


РПУ телеметрической системы



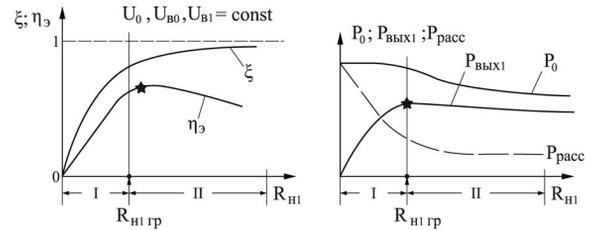
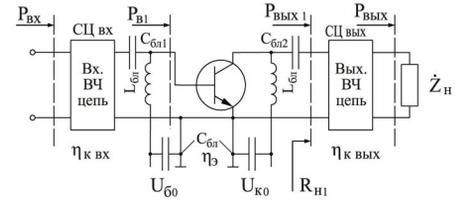
РПУ на ЭВП СВЧ с ИМ





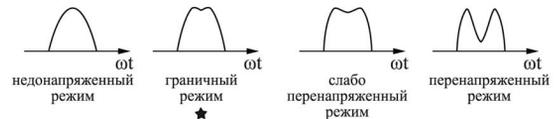
Электрическая схема радиопередатчика с базовой модуляцией смещением

### Нагрузочные характеристики генераторов с внешним возбуждением (усилителей мощности)

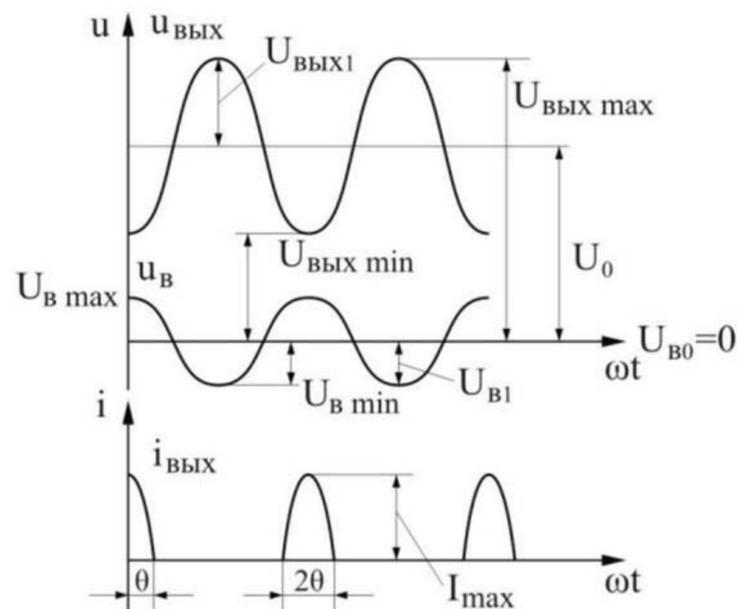


I - недонапряженный режим  
 II - перенапряженный режим

### Форма импульса коллекторного (анодного) тока



### Временные диаграммы напряжений и тока АП



$$u_B = U_{B0} + U_{B1} \cos(\omega t)$$

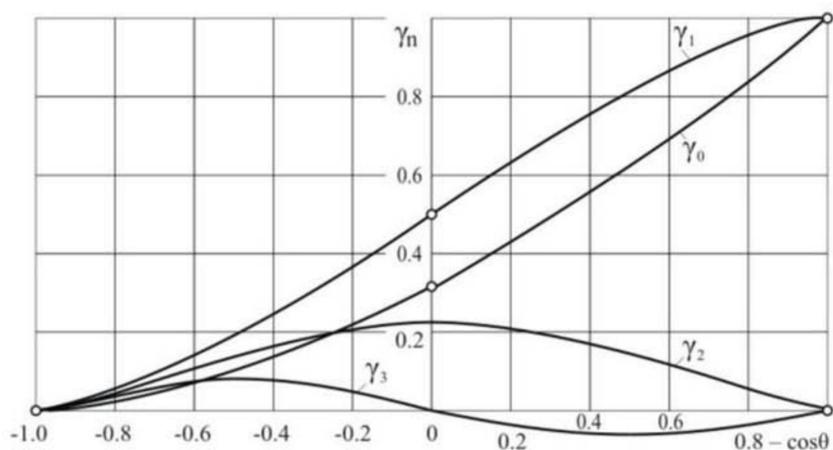
$$U_{B \max} = U_{B0} + U_{B1}$$

$$U_{B \min} = U_{B0} - U_{B1}$$

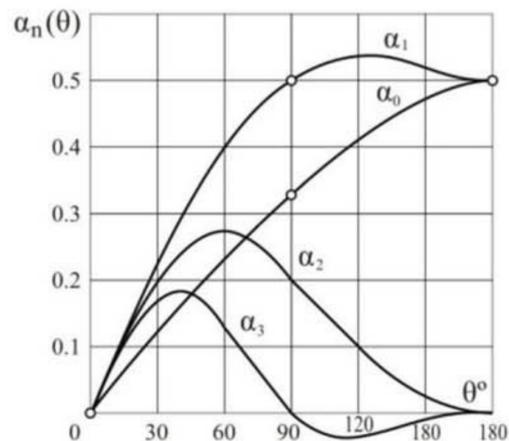
$$u_{\text{ВЫХ}} = U_0 - U_{\text{ВЫХ1}} \cos(\omega t)$$

$$U_{\text{ВЫХ max}} = U_0 + U_{\text{ВЫХ1}}$$

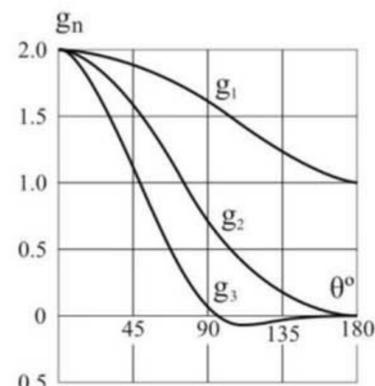
$$U_{\text{ВЫХ min}} = U_0 - U_{\text{ВЫХ1}}$$



Зависимость коэффициентов разложения  $\gamma_n$  косинусоидального импульса от  $-\cos(\theta) = (U_{B0} - U') / U_{B1}$



Зависимости коэффициентов разложения  $\alpha_n$  косинусоидального импульса от угла отсечки  $\theta$



Зависимости коэффициентов формы  $g_n$  косинусоидального импульса от угла отсечки  $\theta$

### Гармонический анализ импульса тока

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega t); \text{ при } \omega t \text{ от } 0 \text{ до } \theta. \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$I_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^\theta i(\omega t) d\omega t; \quad I_n = \frac{2}{\pi} \int_0^\theta i(\omega t) \cos(n\omega t) d\omega t; \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$I_n = I_{\max} \alpha_n(\theta); \quad I_{\max} = S U_{B1} (1 - \cos(\theta))$$

$$I_n = S U_{B1} \gamma_n(\theta), \text{ при } \gamma_n(\theta) = \alpha_n(\theta) (1 - \cos(\theta))$$

### Расчет режима безынерционного активного прибора (АП) на выходную мощность $P_{\text{ВЫХ1}}$

Заданы: выходная мощность генератора  $P_{\text{ВЫХ}}$   
рабочая частота  $f$ .

I. Выбор АП по выходной мощности  $P_{\text{ВЫХ1}}$  и частоте  $f$

$$P_{\text{ВЫХ1}} = P_{\text{ВЫХ зад.}} / \eta_{\text{к вых ц.}}; \text{ принимаем } \eta_{\text{к вых ц.}} = 0.7-0.8.$$

Проверка на рассеиваемую допустимую мощность:

$$P_{\text{расс. доп.}} > P_{\text{ВЫХ1}} (1 - \eta_{\text{э}}) / \eta_{\text{э}}; \text{ принимаем } \eta_{\text{э}} = 0.6-0.7.$$

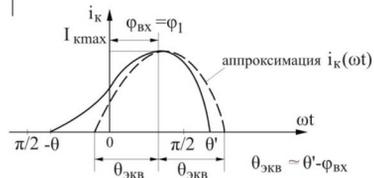
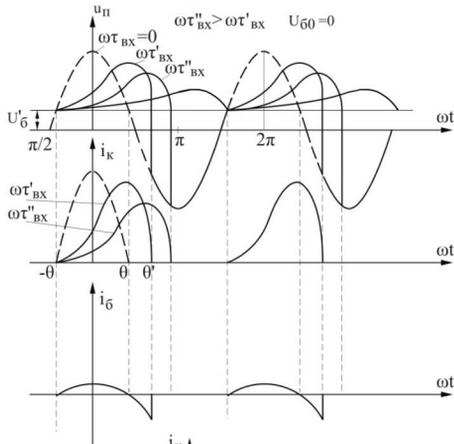
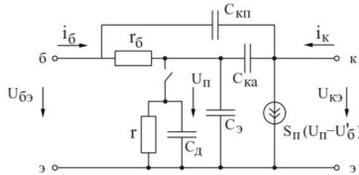
II. Выписываем параметры АП:  $P_{\text{ВЫХ1}}, P_{\text{расс. доп.}}, U_0, S, S_{\text{Гр}}, U'$ .

Дополнительно задаем угол  $\theta$  и определяем  $\alpha_0(\theta), \alpha_1(\theta), \gamma_1(\theta), g_1(\theta)$ .

Порядок расчета:

1.  $\xi_{\text{Гр}} = 0.5(1 + \sqrt{1 - 8P_{\text{ВЫХ1}} / \alpha_1(\theta) S_{\text{Гр}} U_0^2})$ ;
2.  $\eta_{\text{э}} = 0.5 \xi_{\text{Гр}} g_1(\theta)$ ;
3.  $P_{\text{расс.}} = P_{\text{ВЫХ1}} (1 - \eta_{\text{э}}) / \eta_{\text{э}} < P_{\text{расс доп.}}$ ;
4.  $U_{\text{ВЫХ1}} = U_0 \xi_{\text{Гр}}$ ;
5.  $I_{\text{ВЫХ1}} = 2P_{\text{ВЫХ1}} / U_{\text{ВЫХ1}}$ ;
6.  $I_{\text{ВЫХ0}} = I_{\text{ВЫХ1}} / g_1(\theta)$ ;
7.  $P_0 = I_{\text{ВЫХ0}} U_0$ ;
8.  $R_{\text{Н1}} = U_{\text{ВЫХ1}} / I_{\text{ВЫХ1}}$ ;
9.  $U_{\text{В1}} = I_{\text{ВЫХ1}} / S \gamma_1(\theta)$ ;
10.  $U_{\text{В0}} = -U_{\text{В1}} \cos(\theta) + U'$ .

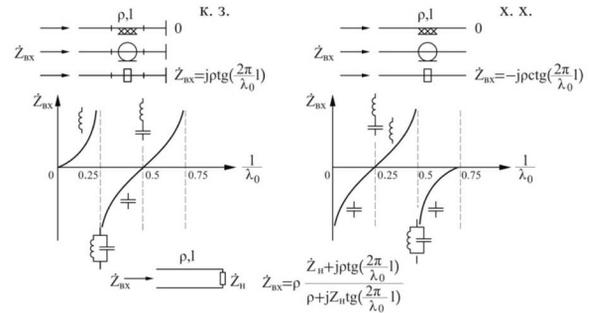
## Инерционный биполярный транзистор



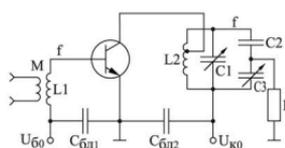
## Согласующие ВЧ цепи

Тип схемы	Расчетные формулы
<p>Т-цепь</p> <p>Входная цепь</p> <p>Схема применяется при <math>R1 &gt; R2</math></p>	$X1 = -R1 \sqrt{\frac{R2}{R1} (1+Q^2)} - 1}$ $X3 = \frac{R1}{(R1/R2) - 1} (Q + \sqrt{\frac{R2}{R1} (1+Q^2)} - 1)}$ $X2 = QR2$ $Q^2 > (R1/R2) - 1 \quad (1)$
<p>Π-цепь</p> <p>Выходная цепь</p> <p>При <math>R1 &gt; R2</math> <math>Q^2 &gt; R1/R2 - 1</math></p>	$X1 = -R1/Q; X2 = -\sqrt{\frac{R2}{R1} (1+Q^2)} - 1}$ $X3 = \frac{R1}{Q^2 + 1} (Q + \sqrt{\frac{R2}{R1} (1+Q^2)} - 1)}$ <p>При <math>R1 &gt; R2</math> <math>Q^2 &gt; R1/R2 - 1</math> (3)</p> $X2 = -R2/Q; X1 = -\frac{R1}{\sqrt{\frac{R1}{R2} (1+Q^2)} - 1}$ $X3 = \frac{R2}{Q^2 + 1} (Q + \sqrt{\frac{R1}{R2} (1+Q^2)} - 1)}$

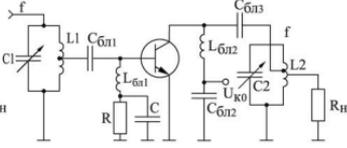
## Свойства колебательных систем СВЧ



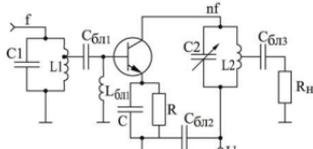
## Схемы генераторов с внешним возбуждением



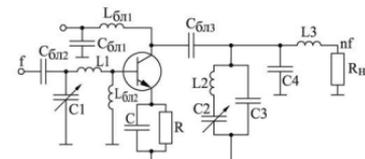
Усилитель мощности ВЧ с последовательным питанием



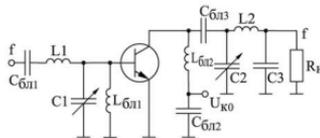
Усилитель мощности ВЧ с параллельным питанием



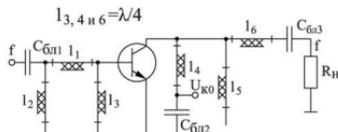
Умножитель частоты ВЧ



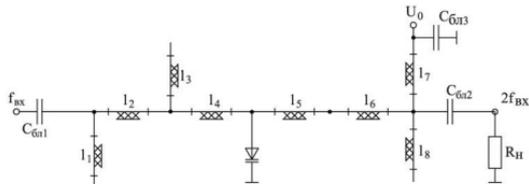
Умножитель частоты ВЧ с режекторным фильтром



Усилитель мощности ВЧ на ячейках фильтра НЧ

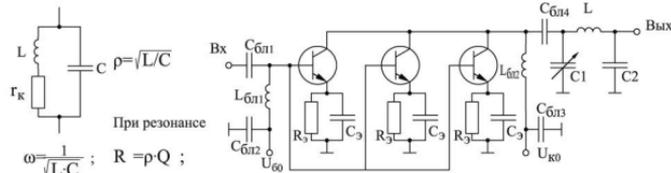


Усилитель мощности СВЧ на отрезках полосковой линии



$$l_4 = l_3 = \lambda_{\text{вых}}/4; l_8 = \lambda_{\text{вх}}/4; l_7 = \lambda_{\text{вых}}/4;$$

Варакторный удвоитель частоты параллельного типа на отрезках полосковой линии

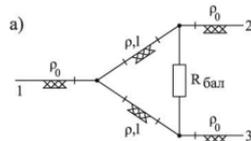


При резонансе  
 $\omega = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$ ;  $R = \rho \cdot Q$ ;  
 $Q = \frac{\rho}{\Gamma_K} = \frac{\omega L}{\Gamma_K} = \frac{1}{\omega C \Gamma_K}$

Параллельный колебательный контур

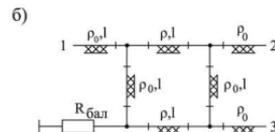
Усилитель мощности на параллельно включенных транзисторах с симметрированием режимов

## Сумматоры и делители мощности



$$l = 0.25 \lambda; R_{\text{бал}} = 2\rho_0$$

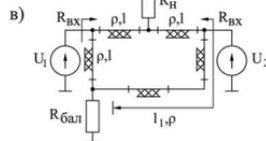
$$\rho = \rho_0 / \sqrt{2};$$



$$l = 0.25 \lambda; R_{\text{бал}} = \rho_0$$

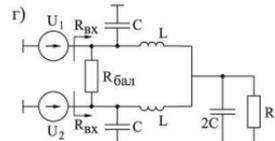
$$\rho = \rho_0 / \sqrt{2};$$

$R_{\text{бал}}$  - балластное сопротивление

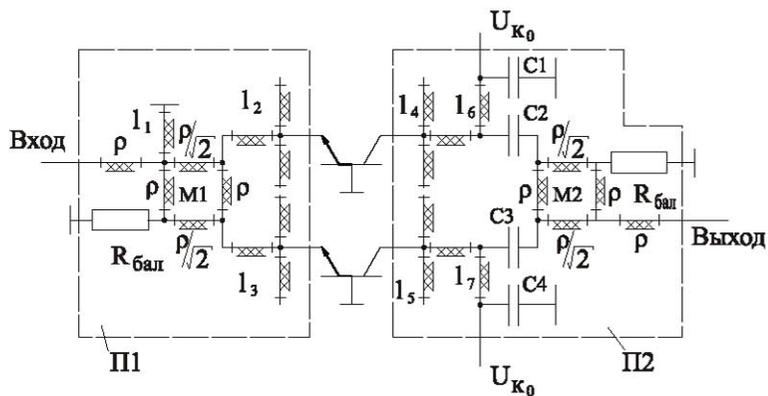


$$\rho = R_H / \sqrt{2}; R_{\text{бал}} = R_H;$$

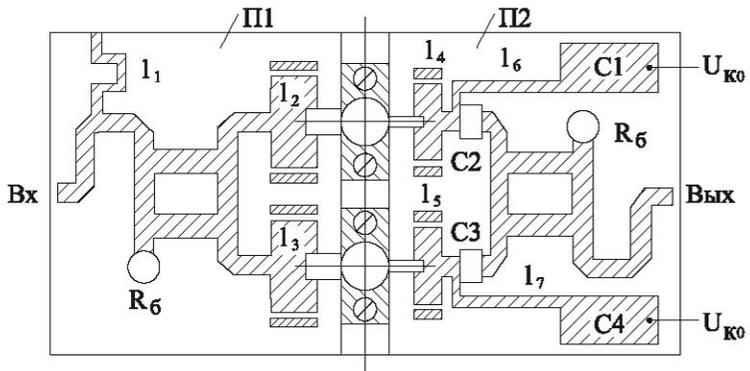
$$l = 0.25 \lambda; l_1 = 0.75 \lambda; R_{\text{ВХ}} = R_H;$$



$$X_L = |X_C| = R_H / \sqrt{2}; R_{\text{ВХ}} = R_H$$



Балансная схема усилителя: М1, М2-квадратурные мосты на входе и выходе схемы;  $l_1$ -четвертьволновый короткозамкнутый шлейф;  $l_2, l_3$ -согласующие разомкнутые шлейфы во входной цепи;  $l_4, l_5$ -трансформирующие разомкнутые шлейфы в выходной цепи;  $l_6, l_7$ -четвертьволновые шлейфы в цепи питания;  $C_1, C_4$ -блокировочные конденсаторы;  $C_2, C_3$ -разделительные конденсаторы; П1 П2-входная и выходная платы.



Эскиз конструкции усилителя

Рабочие характеристики ламповых и транзисторных усилителей

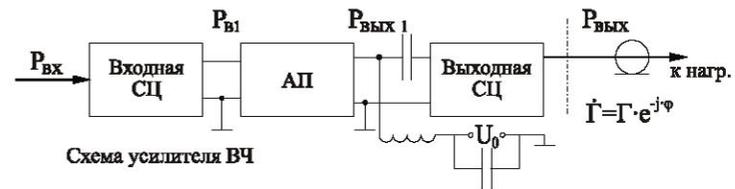
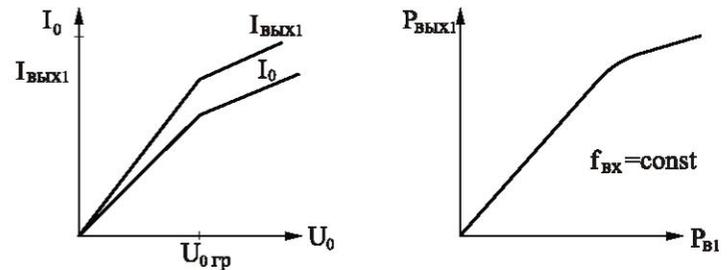
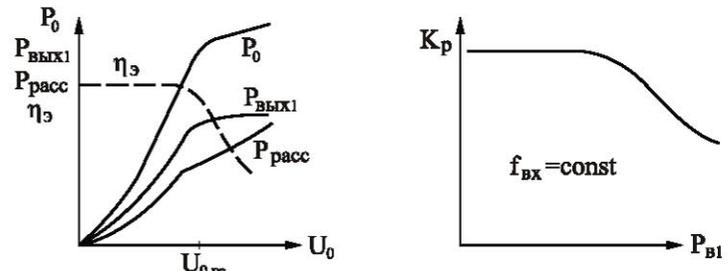


Схема усилителя ВЧ



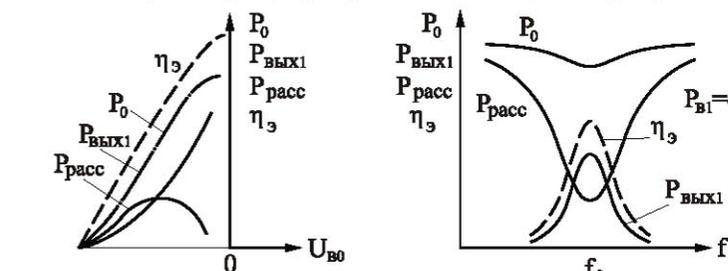
Анодная (коллекторная) характеристика

Амплитудная характеристика



Анодная (коллекторная) характеристика

Амплитудная характеристика



Сеточная характеристика

Частотные характеристики

### Рабочие характеристики ЛБВ "О"

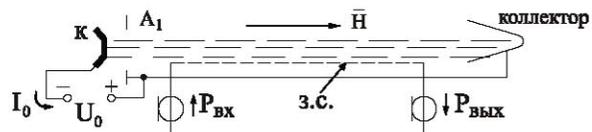
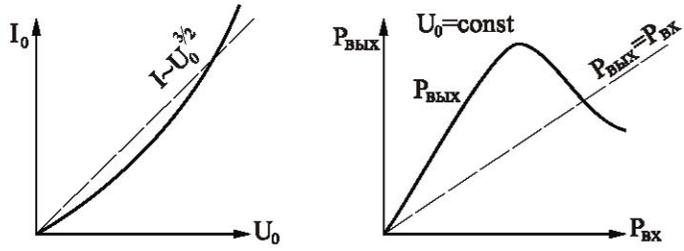
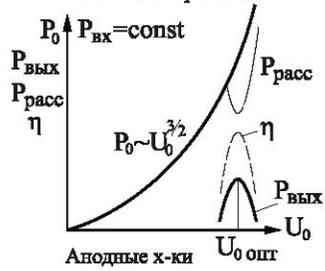


Схема устройства ЛБВ "О"



Вольт-амперная х-ка

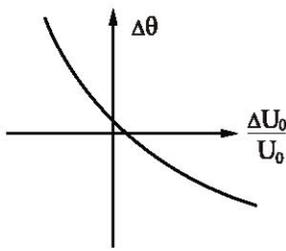
Амплитудная х-ка



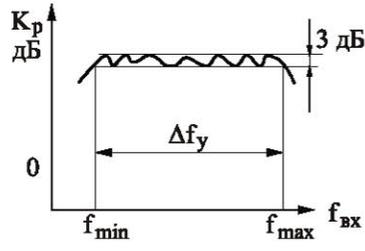
Анодные х-ки



Амплитудная х-ка



Фазовая х-ка



Частотная х-ка

### Рабочие характеристики клистронных усилителей

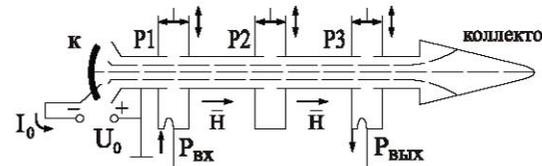
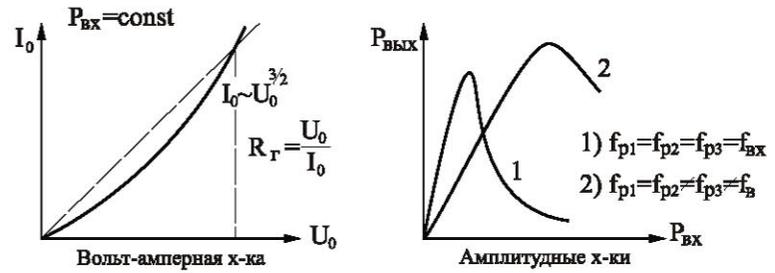
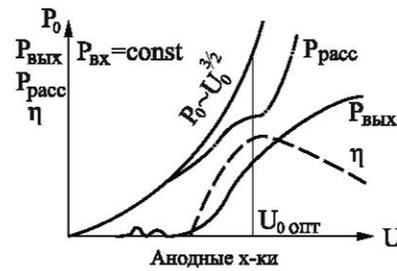


Схема устройства 3-х резонаторного клистрона

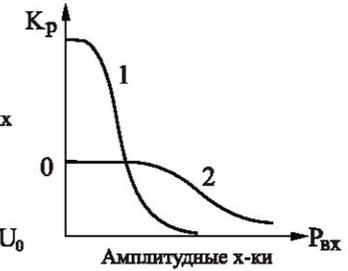


Вольт-амперная х-ка

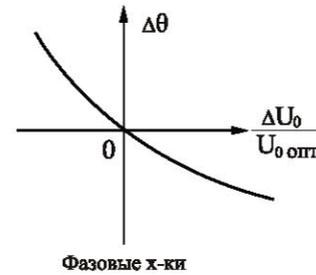
Амплитудные х-ки



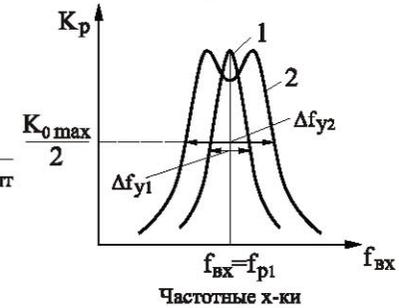
Анодные х-ки



Амплитудные х-ки



Фазовые х-ки



Частотные х-ки

### Нагрузочные характеристики усилителей СВЧ

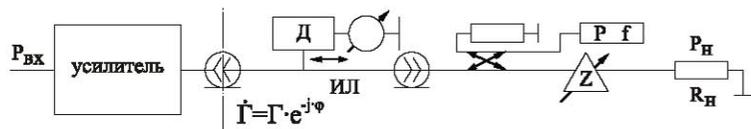
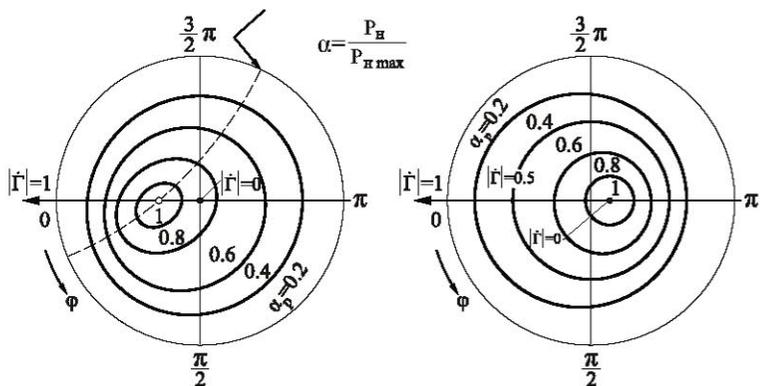
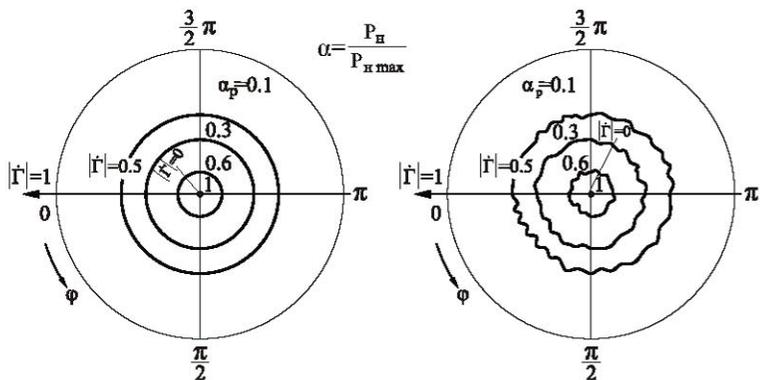


Схема установки для снятия нагрузочных характеристик  
ИЛ-измерительная линия; Z-регулируемая неоднородность; Д-детектор



Нагрузочные характеристики ламповых и транзисторных усилителей

Нагрузочные характеристики клистронного усилителя



Нагрузочные характеристики ЛЕВ"О"

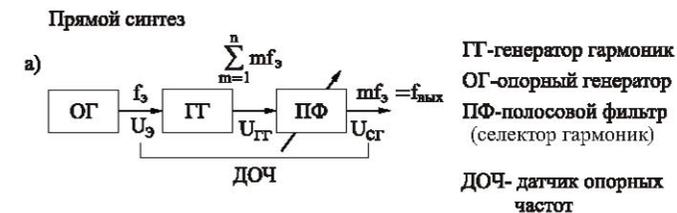
Нагрузочные характеристики амплитрона

### Возбудитель с синтезатором частот



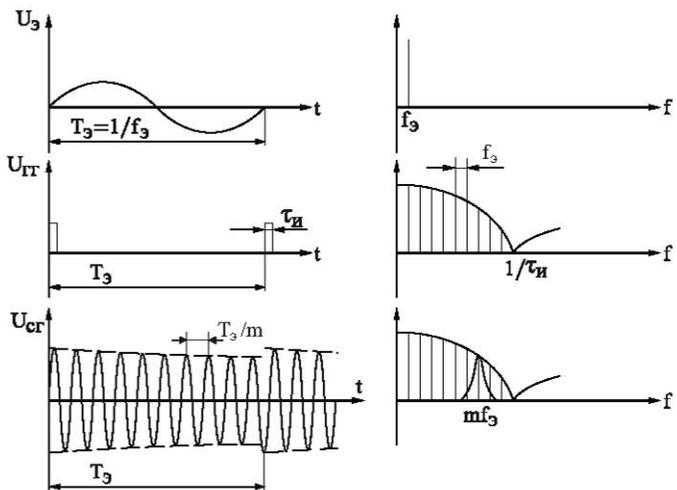
ФВР-формирователь вида работ на поднесущей частоте  $f_{подп}$   
ТПЧ-тракт переноса частоты  
 $U_{\Omega}$  - сигнал информации

### Структурные схемы синтезатора частот

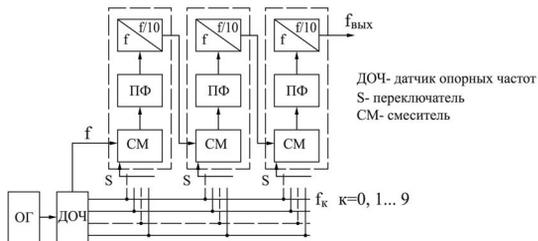


ГГ-генератор гармоник  
ОГ-опорный генератор  
ПФ-полосовой фильтр (селектор гармоник)  
ДОЧ- датчик опорных частот

### Временные и частотные характеристики сигнала (схема а)

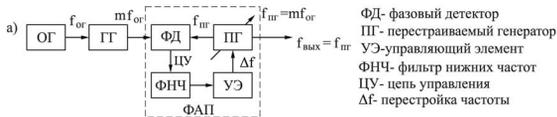


б) декадный синтезатор



ДОЧ- датчик опорных частот  
S- переключатель  
СМ- смеситель

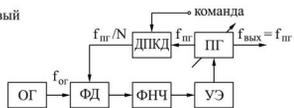
Косвенный синтез



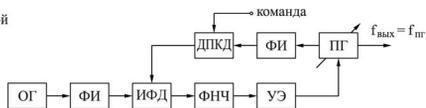
ФД- фазовый детектор  
ПГ- перестраиваемый генератор  
УЭ-управляющий элемент  
ФНЧ- фильтр нижних частот  
ЦУ- цепь управления  
ДФ- перестройка частоты

б) Синтезатор с делением частоты в тракте анализа

аналоговый

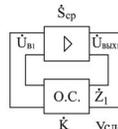


цифровой



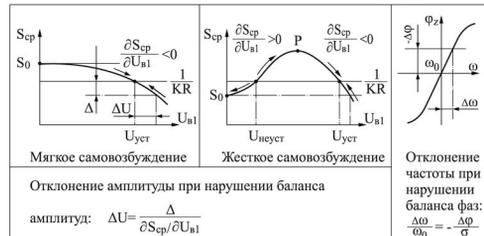
ДПКД- делитель частоты с переменным коэффициентом деления N  
ФИ- формирователь импульсов  
ИФД- импульсный фазовый детектор

ТРИОДНЫЕ АВТОГЕНЕРАТОРЫ

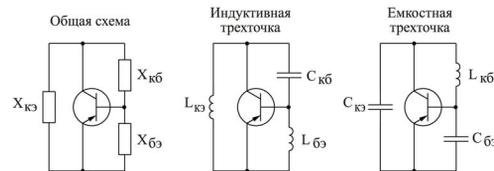


Соотношение для установившегося режима:  
 $\dot{S}_{cp} \dot{Z}_1 \dot{K} = 1$ ; при  $\dot{Z}_1 = R_1$   
Баланс амплитуд:  $S_{cp} R_1 K = 1$   
Баланс фаз:  $\sum \varphi = \varphi_g + \varphi_z + \varphi_k = 2\pi n$ ;  $n=0, 1, 2, \dots$   
Условие самовозбуждения:  $S_0 > 1/(KR_1)$

Условие устойчивости амплитуды и частоты:  
 $\frac{\partial S_{cp}}{\partial U_{вх}} < 0$ ;  $\frac{\partial (\sum \varphi)}{\partial \omega} > 0$ ;  $\frac{\partial \varphi_z}{\partial \omega} > 0$ ;  $\frac{\partial \varphi_k}{\partial \omega} - \omega \approx 2Q$  - ф-фиксирующая способность по частоте



Обобщенная схема триодного автогенератора



$X_{кз} + X_{бз} + X_{кб} = 0$

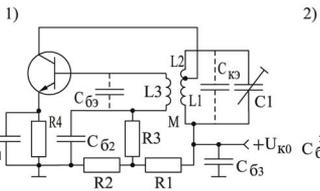
$K = \frac{X_{бз}}{X_{кз}} > 0$

K - коэфф-т ОС  
 $\omega_0$  - резонансная частота

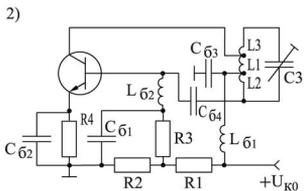
$X_{кз} = \omega_0 L_{кз}$   
 $X_{бз} = \omega_0 L_{бз}$   
 $X_{кб} = 1/\omega_0 C_{кб}$

$X_{кз} = 1/\omega_0 C_{кз}$   
 $X_{бз} = 1/\omega_0 C_{бз}$   
 $X_{кб} = \omega_0 L_{кб}$

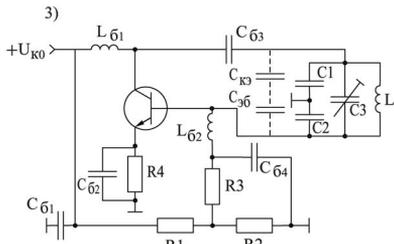
## Схемы одноконтурных автогенераторов



С индуктивной обратной связью



С кондуктивной обратной связью



С емкостной обратной связью

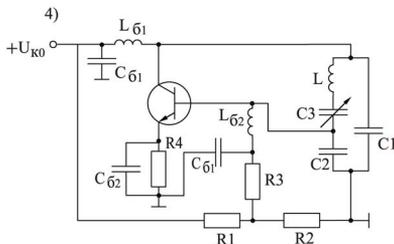


Схема Клаппа

Основные соотношения:

1)  $K = \pm M/L1$ ;  $L = L1 + L2$ ;  
 $p = L1/L$  – коэфф-т включения

2)  $K = L2/L1$ ;  $L = L1 + L2 + L3$ ;  
 $p = L1/L$

3)  $K = C1/C2$ ;  $C_k = C3 + \frac{C1C2}{C1+C2}$

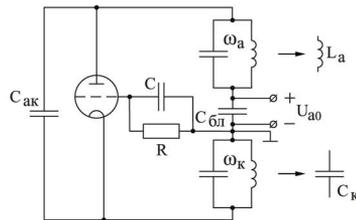
4)  $K = C1/C2$

$K = U_{в1}/U_{вых1}$

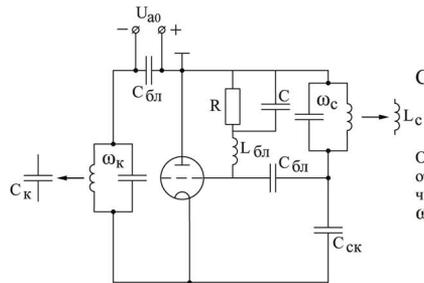
$K$  – коэффициент обратной связи

## Схемы двухконтурных автогенераторов

С общей сеткой

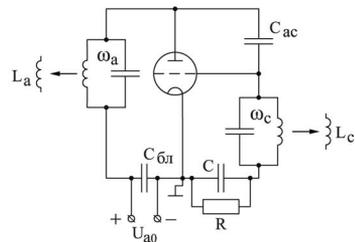


Отстройка контура от генерируемой частоты:  
 $\omega_k < \omega_0 < \omega_a$



С общим анодом

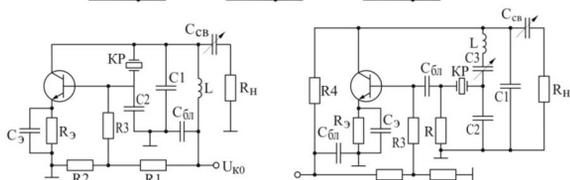
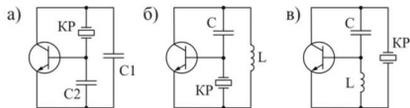
Отстройка контура от генерируемой частоты:  
 $\omega_k < \omega_0 < \omega_c$



С общим катодом

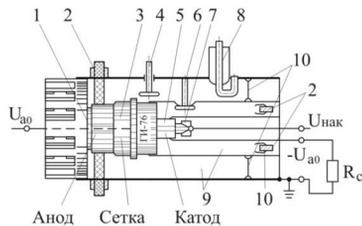
Отстройка контура от генерируемой частоты:  
 $\omega_0 < \omega_a, \omega_c$

Схемы автогенераторов с кварцевым резонатором (КР):  
эквивалентные схемы (а,б,в), КР- индуктивность



Осцилляторная схема

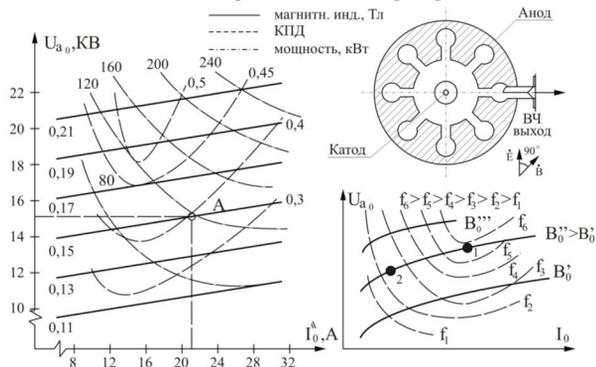
Фильтровая схема



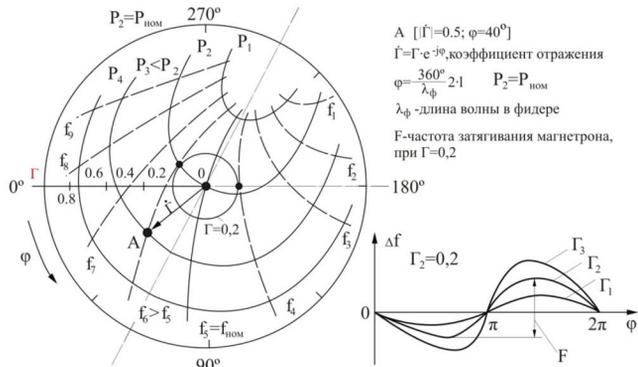
- 1-анод
- 2-блокировочные конденсаторы
- 3-сетка
- 4-подстроечный элемент
- 5-катод
- 6-емкость обратной связи
- 7-накал
- 8-выход на нагрузку
- 9-резонаторы
- 10-подстроечные поршни

Схема автогенератора на металло-керамическом триоде

### Магнетронный автогенератор

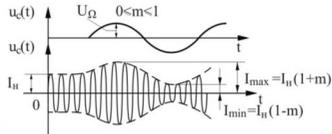
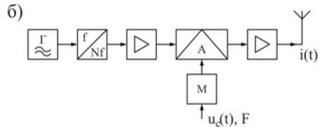
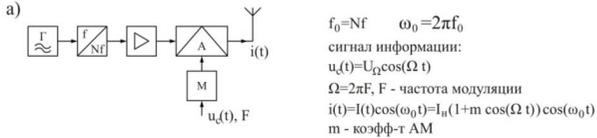


Пример рабочих характеристик магнетрона

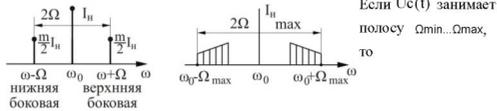


Нагрузочная характеристика магнетрона

## Амплитудная модуляция (АМ) генераторов с внешним возбуждением



$$i(t) = I_n [\cos(\omega_0 t) + 0.5m \cos(\omega_0 - \Omega)t + 0.5m \cos(\omega_0 + \Omega)t]; \quad m = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$



$\Delta f = 2F$ ,  $\Delta f$  - полоса частот, занимаемая спектром АМ колебания

### Режимы работы при АМ

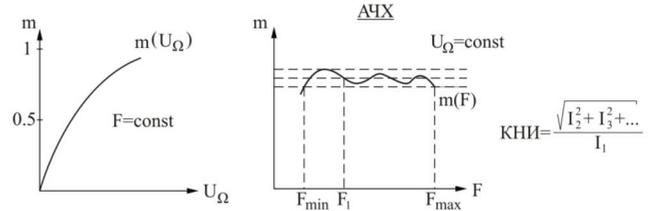
1. Режим несущей частоты:  $I_{\text{выхн}}$ ;  $P_{\text{н}} = 0.5 I_{\text{выхн}}^2 R_{\text{н}}$
2. Максимальный режим:  $I_{\text{выхлmax}}$ ;  $P_{\text{max}} = P_{\text{н}} (1+m)^2$
3. Минимальный режим:  $I_{\text{выхлmin}}$ ;  $P_{\text{min}} = P_{\text{н}} (1-m)^2$

среднее значение P1 за период модулирующего сигнала

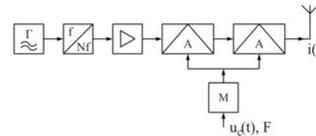
$$P1_{\text{ср}} := \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P1_{\text{н}} (1 + m \cos \Omega t)^2 d(\Omega t) = P1_{\text{н}} (1 + 0,5m^2)$$

## Модуляционные характеристики

- а) Статическая (СМХ) - зависимость тока  $I_{\text{выхл}}$  от модулирующего фактора
- б) Динамическая (амплитудная) - зависимость m от амплитуды модулирующего напряжения  $U_{\Omega}$

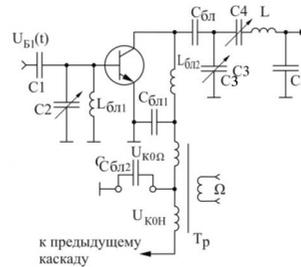


## Комбинированная АМ (синфазная, одновременная модуляция двух каскадов)

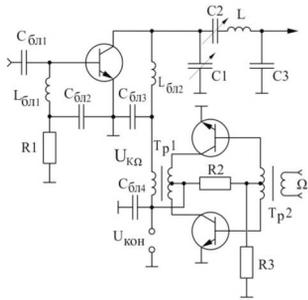


$$\begin{cases} U_{\text{Б1}}(t) = U_{\text{Б1н}} (1 + m_{\text{F}} \cos(\Omega t)) \\ U_{\text{К0}}(t) = U_{\text{К0н}} (1 + m \cos(\Omega t)) \end{cases}$$

одновременное изменение  $U_{\text{Б1}}(t)$ ,  $U_{\text{К0}}(t)$  выходного каскада.



## Коллекторная АМ



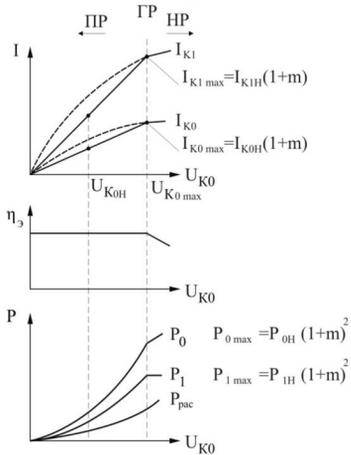
$$U_{K0}(t) = U_{K0H} + U_{K0\Omega} \cos(\Omega t)$$

$$P_{\Omega} = 0.5 I_{\Omega} U_{\Omega} = 0.5 m^2 P_{0H}$$

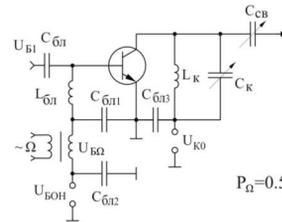
$$U_{K0H} \leq \frac{U_{кз, доп}}{(1 + \xi_{rp})(1 + m)}$$

$$U_{\Omega} = m U_{K0}; I_{\Omega} = m I_{K0}$$

CMX (идеализованные)



## АМ смещением на базе транзистора

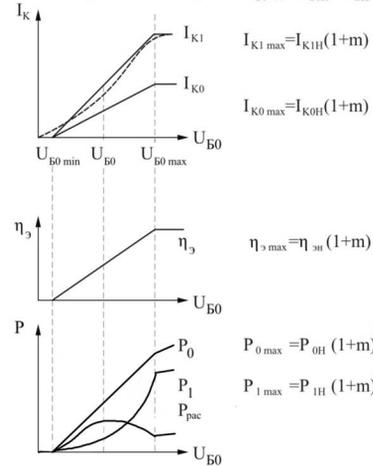


$$P_{\Omega} = 0.5 I_{\Omega} U_{\Omega}$$

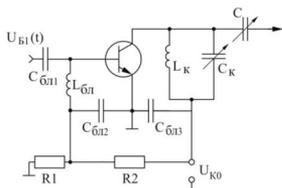
CMX (идеализованные)

$$U_{K0} = \text{const}$$

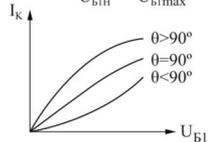
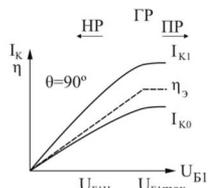
$$U_{б0}(t) = U_{б0H} + U_{б0\Omega} \cos(\Omega t)$$



### Усиление АМ



СМХ (идеализированные)

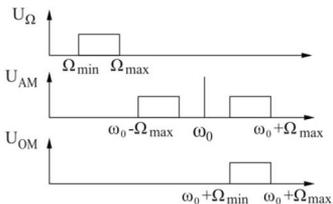


$$U_{K0} = \text{const}$$

$$u_{B1}(t) = U_{B1H} + U_{B1\Omega} \cos(\Omega t)$$

$$\cos(\theta) = -\frac{U_{B0} - U_{B1}}{U_{B1}}$$

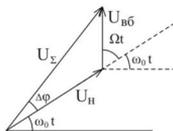
### Однополосная модуляция



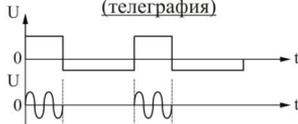
$$u_{в\delta} = U_{в\delta} \cos((\omega_0 + \Omega)t) \text{ или}$$

$$u_{\Sigma} = U_{в\delta} \cos((\omega_0 + \Omega)t) + U_{H} \cos(\omega_0 t)$$

(при восстановленной несущей)



### Амплитудная манипуляция (телеграфия)



### Частотная и фазовая модуляции (ЧМ и ФМ)

Мгновенная частота и фаза колебаний:  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ ;  $\varphi = \int_0^t \omega dt + \varphi_0$ .

Мгновенные значения тока:  $i = I \cos(\varphi)$ , (примем  $\varphi_0 = 0$ ),  $\omega = 2\pi f$ .

Модулирующее напряжение частоты  $\Omega = 2\pi F$ ,  $u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos(\Omega t)$ .

**ЧМ**  $\omega = \omega_0 + \Delta\omega_{\Delta} \cos(\Omega t)$ ;  $\Delta\omega_{\Delta}$  - девиация частоты,  $\omega_0$  - несущая частота.

$i = I \cos(\int_0^t \omega dt) = I \cos(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega_{\Delta}}{\Omega} \sin(\Omega t)) = I \cos(\omega_0 t + M \sin(\Omega t))$ , при этом фаза

$\varphi = \int_0^t (\omega_0 + \Delta\omega_{\Delta} \cos(\Omega t)) dt = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega_{\Delta}}{\Omega} \sin(\Omega t) = \omega_0 t + \Delta\varphi_{\Delta} \sin(\Omega t)$ ,

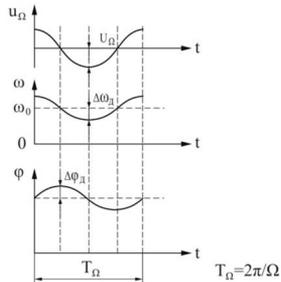
$M = \frac{\Delta\omega_{\Delta}}{\Omega}$  - индекс ЧМ;  $\Delta\varphi_{\Delta} = \frac{\Delta\omega_{\Delta}}{\Omega}$

**ФМ**  $\varphi = \omega_0 t + \Delta\varphi_{\Delta} \cos(\Omega t)$

$i = I \cos(\omega_0 t + \Delta\varphi_{\Delta} \cos(\Omega t)) = I \cos(\omega_0 t + \Phi \cos(\Omega t))$ ;  $\Phi = \Delta\varphi_{\Delta}$  - индекс ФМ.

При этом частота  $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \omega_0 - \Delta\varphi_{\Delta} \Omega \sin(\Omega t) = \omega_0 - \Delta\omega_{\Delta} \sin(\Omega t)$ ,  $\Delta\omega_{\Delta} = \Delta\varphi_{\Delta} \Omega$ .

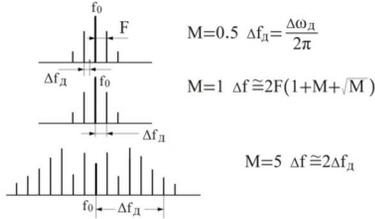
**ЧМ**



### Спектр ЧМ-колебаний

$$i = I \left\{ J_0(M) \cos(\omega_0 t) + \sum_{k=1}^{\infty} J_k(M) \left[ \cos((\omega_0 + k\Omega)t) + (-1)^k \cos((\omega_0 - k\Omega)t) \right] \right\},$$

$J_k(M)$  – функция Бесселя первого рода  $k$ -того порядка аргумента  $M$ .

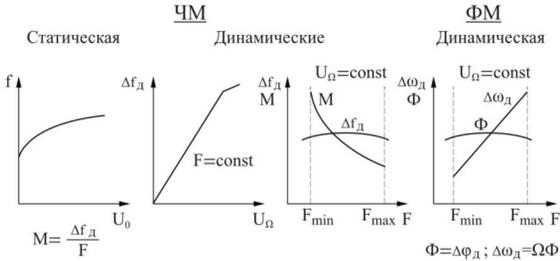


$\Delta f$  - ширина спектра.

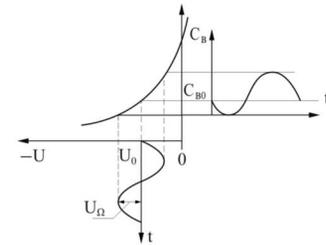
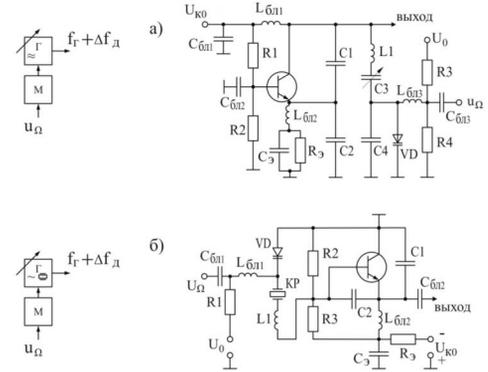
Узкополосная модуляция  $M < 1 \div 2$

Широкополосная модуляция  $M > 1$

### Модуляционные характеристики

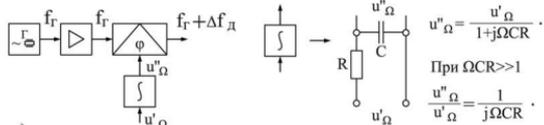


### Прямой метод ЧМ

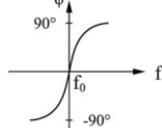
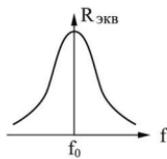
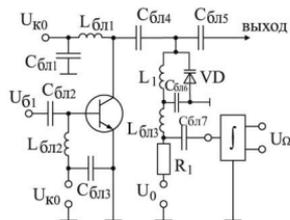


Вольтфарадная характеристика варикапа

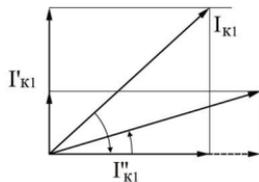
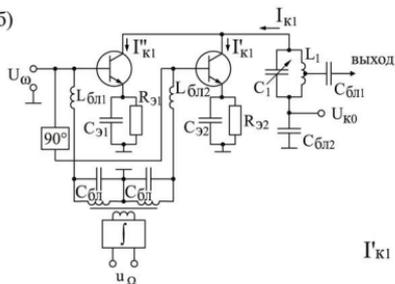
## Косвенный метод ЧМ



а)



б)

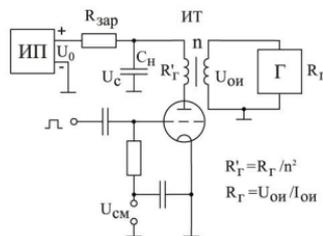


## Импульсные модуляторы для передатчиков с большой скважностью

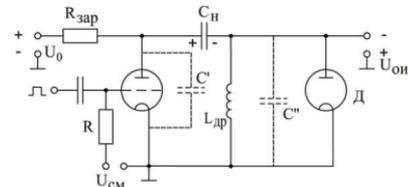


ИП - источник питания; Г - генератор СВЧ; К - ключ; Н - накопитель энергии; R<sub>зар</sub> - зарядное сопротивление.

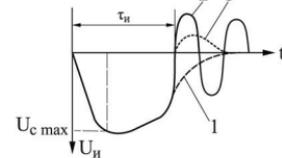
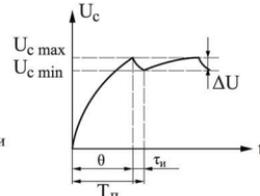
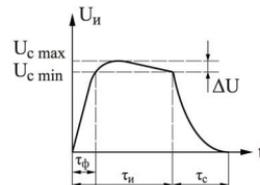
## Импульсные модуляторы с частичным разрядом накопительной емкости



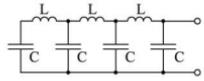
ИТ - импульсный трансформатор.



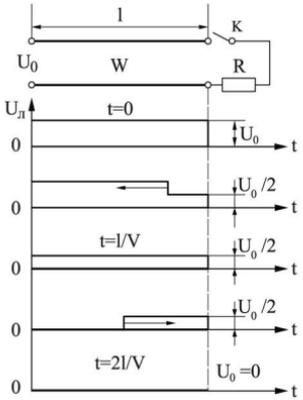
- 1 - R вместо L др
- 2 - с L др без Д
- 3 - с L др и Д



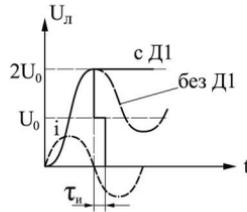
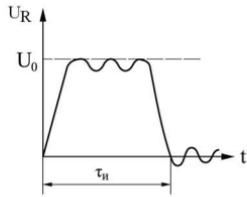
**Импульсные модуляторы с полным разрядом накопителя  
в виде искусственной длинной линии (ИЛ)**



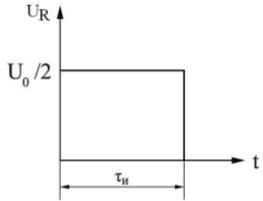
Искусственная линия (ИЛ)



Процесс разряда линии длиной  $l$   
(к-замкнут)  
 $W$ - волновое сопротивление  
линии



Форма импульса при разряде на  
активное сопротивление  $R, R=W$ .  
 $U_R = U_0$



$\tau_n = 2l/V, V=c \cdot 10^8$  м/с  
 $V=c$ - скорость света

$U_R = \frac{U_0}{2}$   
 $R=W$

