



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

***Измерительные генераторы (автогенераторы) (генераторы сигналов, от лат. *generator*-производитель) — источники сигналов различных форм и частот, предназначенные для работы с радиоэлектронными схемами.***

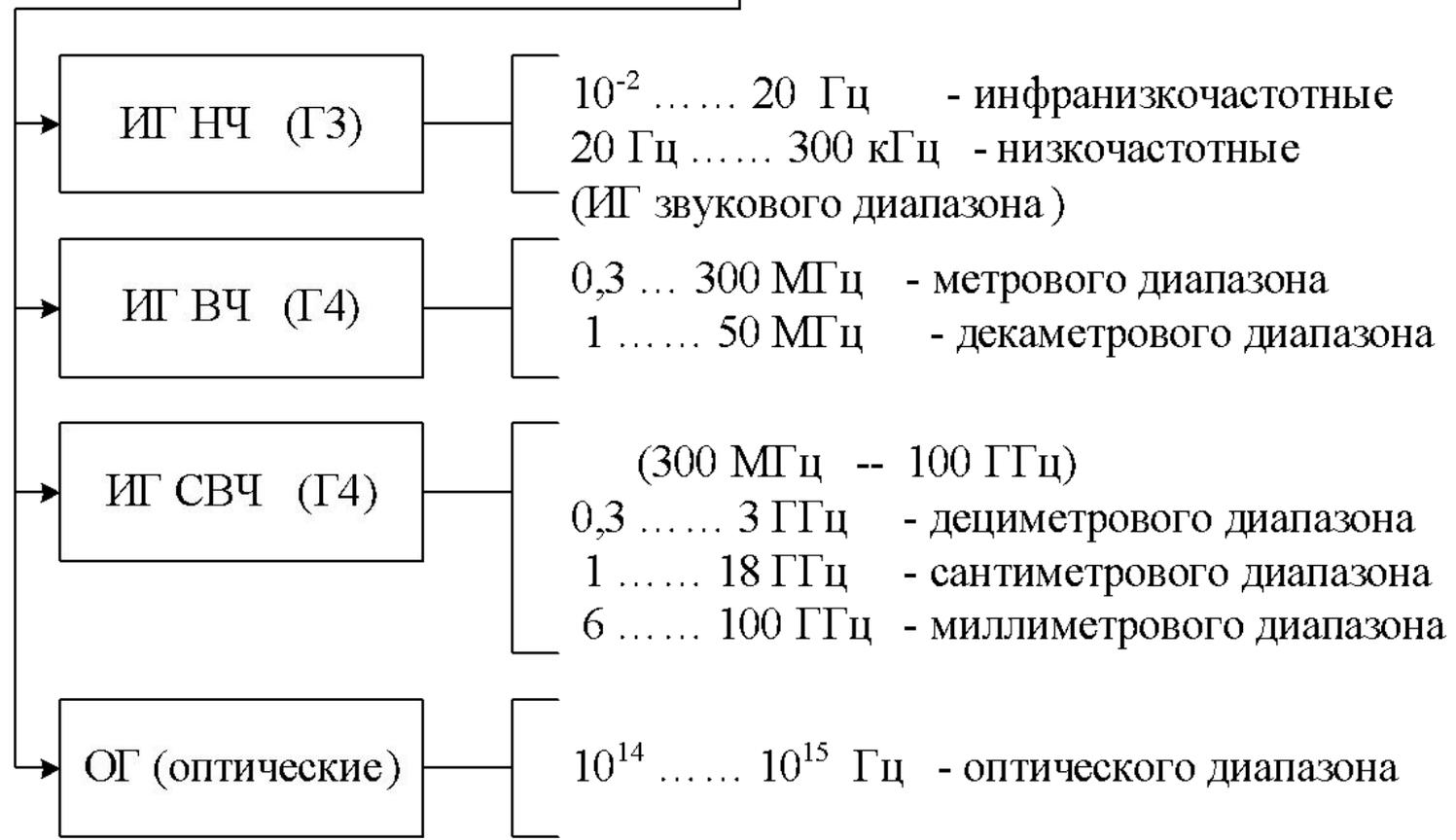
## **Типы ИГ по назначению (приборы группы Г):**

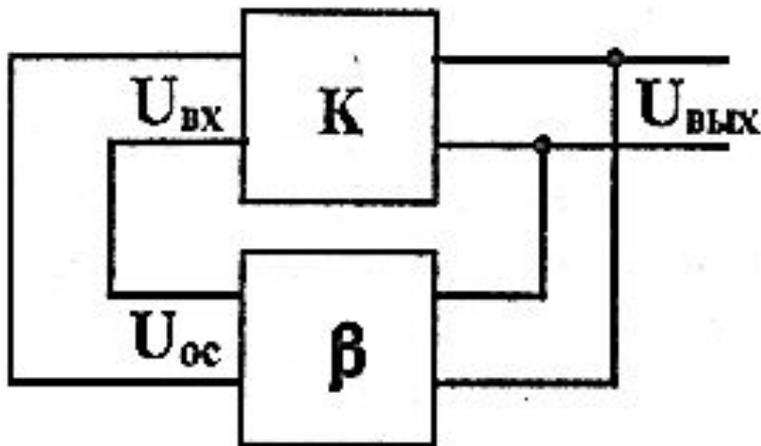
- Г1 - установка для поверки ИГ**
- Г2 - генератор шумовых сигналов**
- Г3 - генератор синусоидальных сигналов НЧ**
- Г4 - генератор синусоидальных сигналов ВЧ**
- Г5 - генератор импульсных сигналов**
- Г6 - генератор сигналов специальной формы**
- Г7 - синтезаторы частот**
- Г8 - генераторы качающейся частоты**
- Г9 – генераторы испытательных импульсов**
- ОГ — генераторы оптического диапазона**
- Генераторы отраслевого назначения**



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

## Классификация ИГ по частотному диапазону





Обобщенная структурная схема генератора

$K$ -комплексный коэффициент усиления  
 $\beta$ -комплексный коэффициент передачи по напряжению

$$U_{ос} = U_{вх} = \beta U_{вых}$$

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



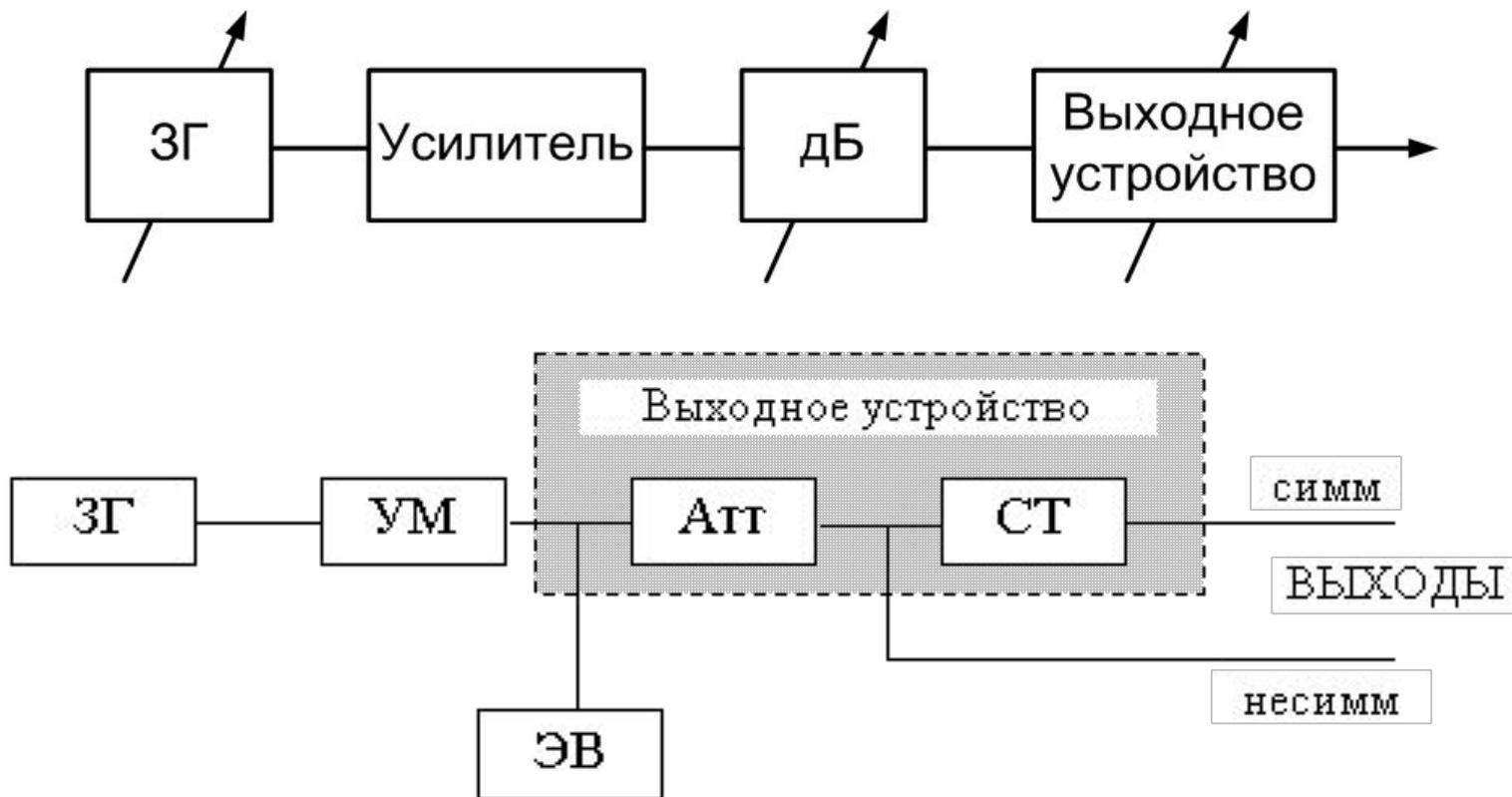
Условие работы генератора в стационарном режиме

$$K\beta = 1$$

**Состав любого генератора, независимо от назначения, принципа действия и схемотехнического выполнения:**

1. Нелинейный усилитель.
2. Цепи положительной обратной связи (ПОС).
3. Источник питания постоянного тока.

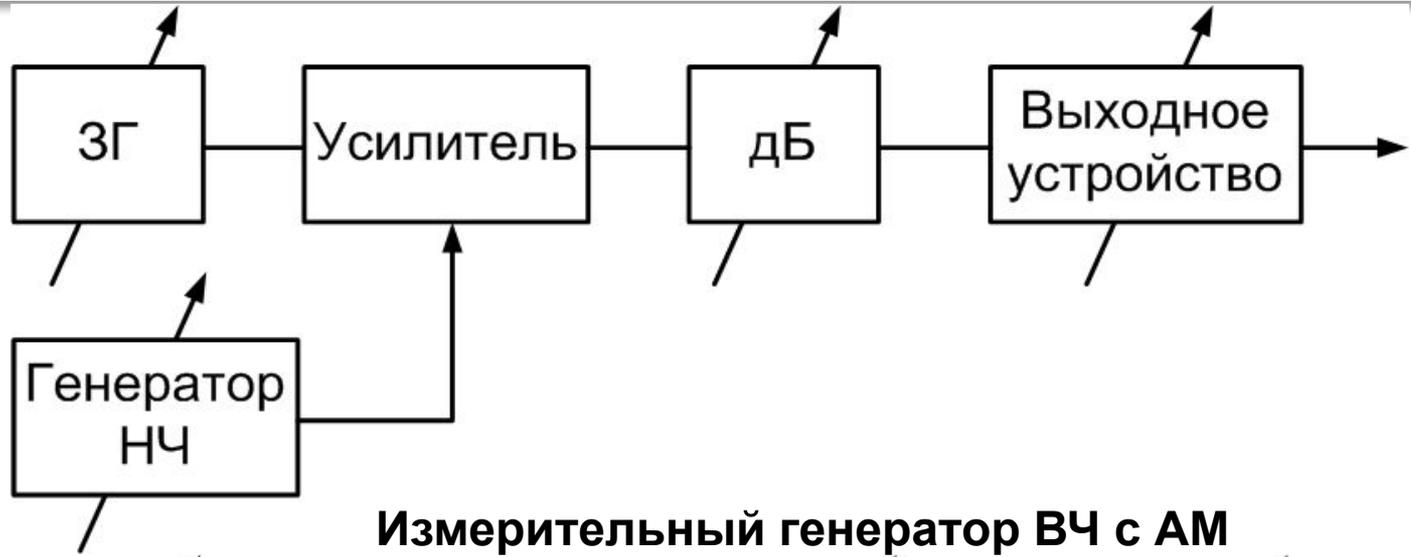
# Измерительные генераторы сигналов низких и высоких частот



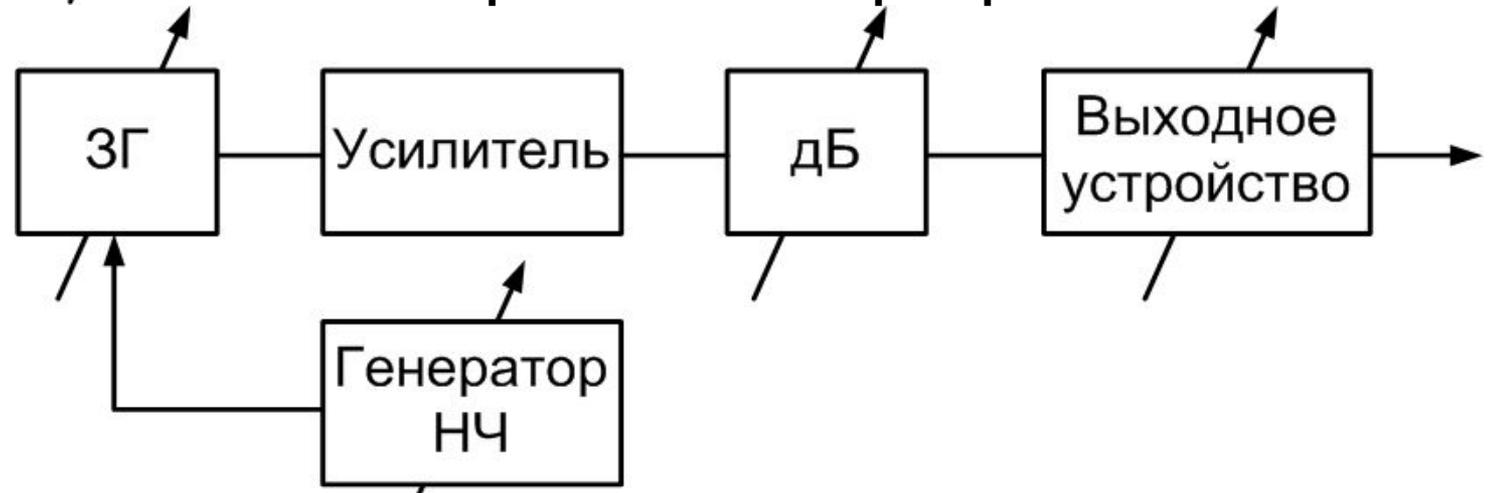
**Обобщенная структурная схема измерительного генератора НЧ-1**



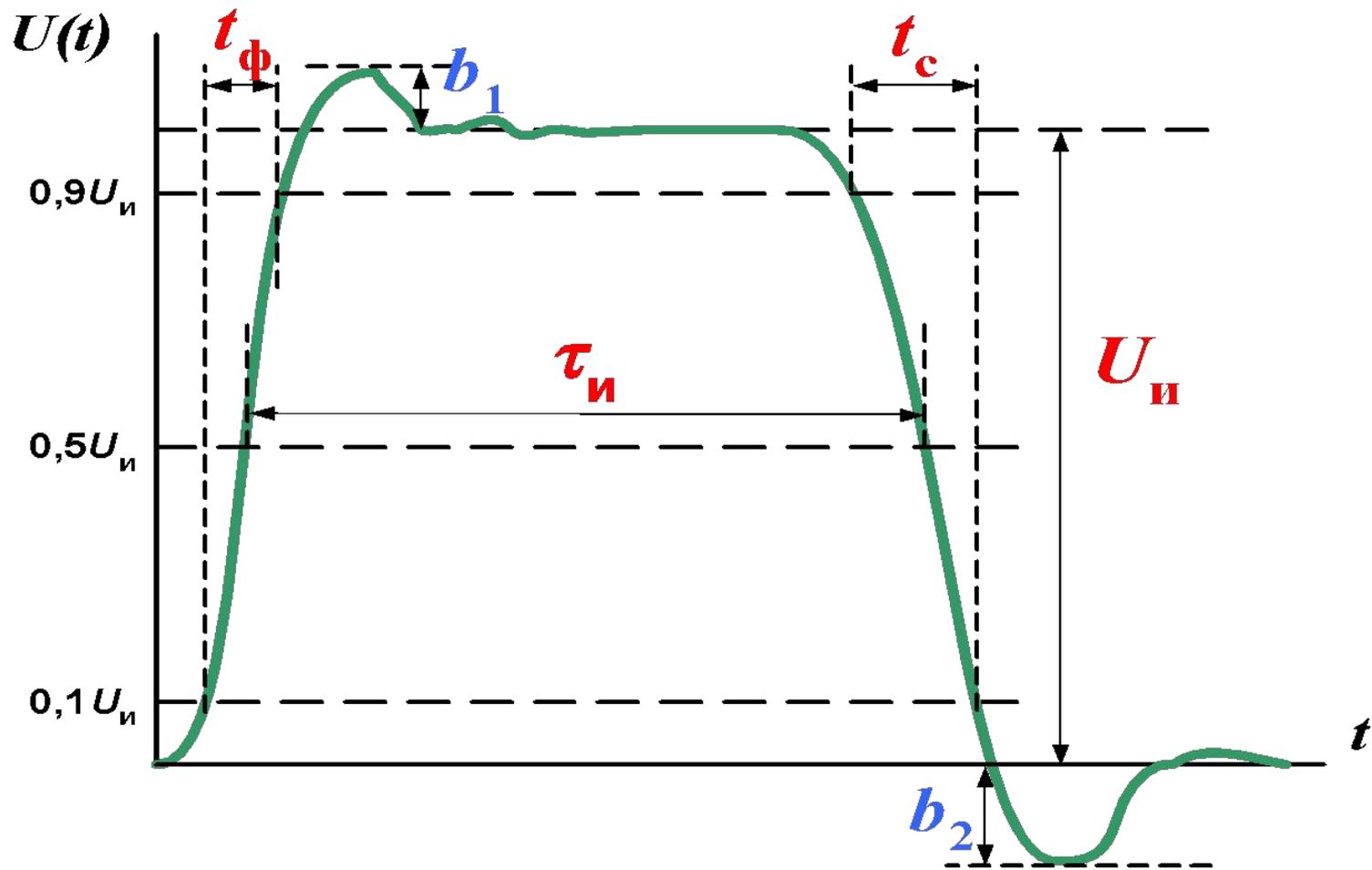
# Измерительные генераторы сигналов высоких частот



**Измерительный генератор ВЧ с АМ**



**Измерительный генератор ВЧ с ЧМ**



Нормируемые параметры импульсных сигналов



**ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ СВЯЗИ**

**42 КАФЕДРА**

# **Метрология, стандартизация и сертификация в инфокоммуникациях**



г. Санкт-Петербург

2016





## **Тема 03.** Приборы формирования стандартных измерительных сигналов

### **Занятие № 10.** Измерительные генераторы сигналов

#### **Цели занятия**

**Изучить назначение, классификацию и общие принципы построения измерительных генераторов сигналов, особенности построения и использования аналоговых генераторов сигналов низких и высоких частот**



1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов.
2. Измерительные генераторы сигналов низких и высоких частот.
3. Измерительные генераторы сигналов прямоугольной и специальной формы.



## **Основная:**

1. В. И. Бобровский, А. А. Захаров. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебное пособие. СПб, ВАС. 2010 г., с. 37 – 41.
2. Б.И. Нефедов и др. Метрология и радиоизмерения. Москва, Высшая школа. 2010 г., с. 215-240.

## **Дополнительная:**

1. Л.В. Жих. Техническая эксплуатация, надежность СС и АС. Ч.1. Электронные измерения.– М. ВИ. 1992 г. 233-249 с.
2. Информационно-измерительная техника и технологии: Учеб. для вузов / В. И. Калашников, С.Ф.Нефедов, А. Б. Путилин и др.; Под ред. Г. Г. Раннева. –М.: Высш. шк., 2002. – с. 244-323



# 1 учебный вопрос

1  
1



## Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

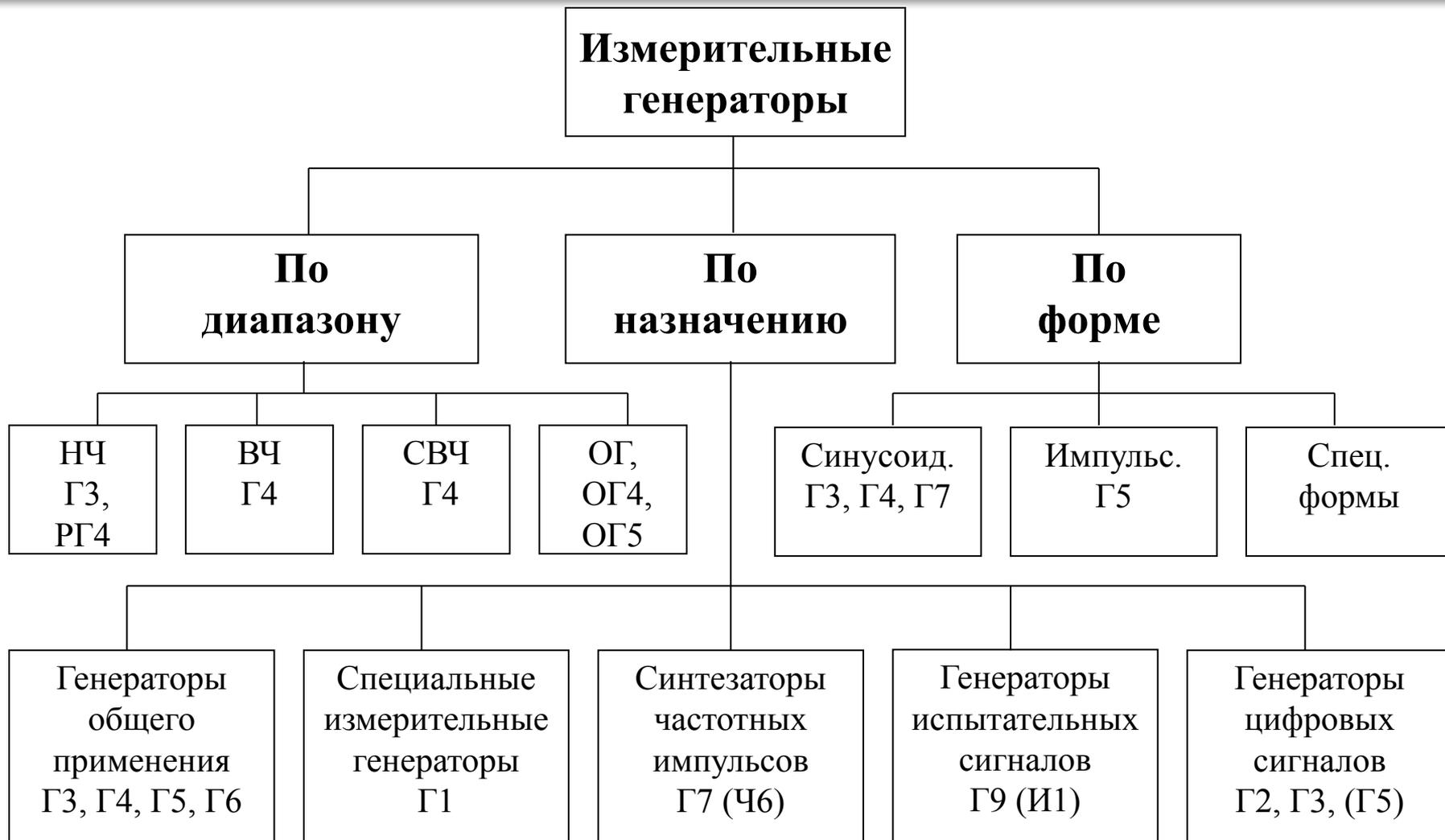
***Измерительные генераторы (автогенераторы) (генераторы сигналов, от лат. *generator*-производитель) — источники сигналов различных форм и частот, предназначенные для работы с радиоэлектронными схемами.***

## **Типы ИГ по назначению (приборы группы Г):**

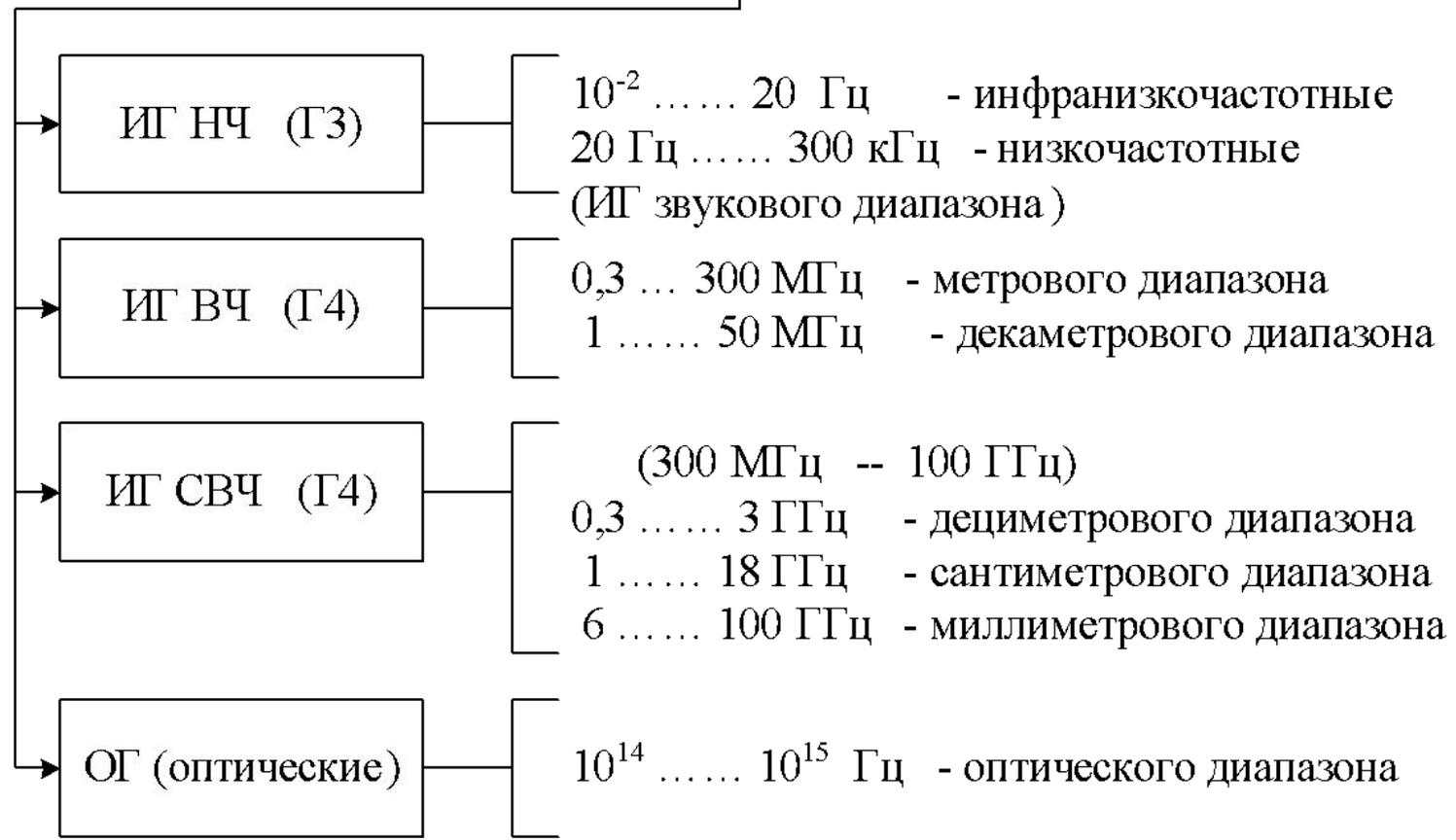
- Г1 - установка для поверки ИГ**
- Г2 - генератор шумовых сигналов**
- Г3 - генератор синусоидальных сигналов НЧ**
- Г4 - генератор синусоидальных сигналов ВЧ**
- Г5 - генератор импульсных сигналов**
- Г6 - генератор сигналов специальной формы**
- Г7 - синтезаторы частот**
- Г8 - генераторы качающейся частоты**
- Г9 – генераторы испытательных импульсов**
- ОГ — генераторы оптического диапазона**
- Генераторы отраслевого назначения**

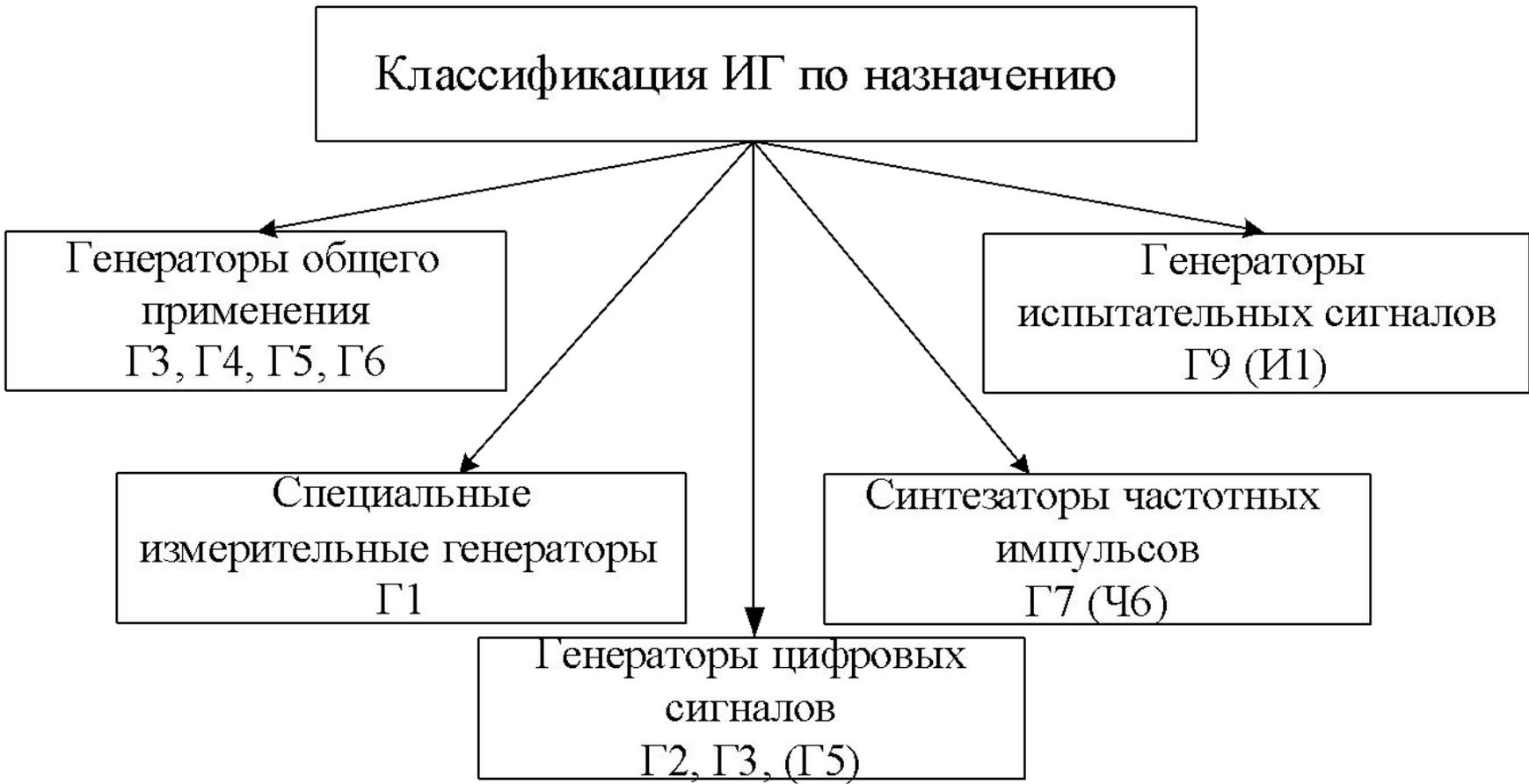


# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов



Классификация ИГ по частотному диапазону

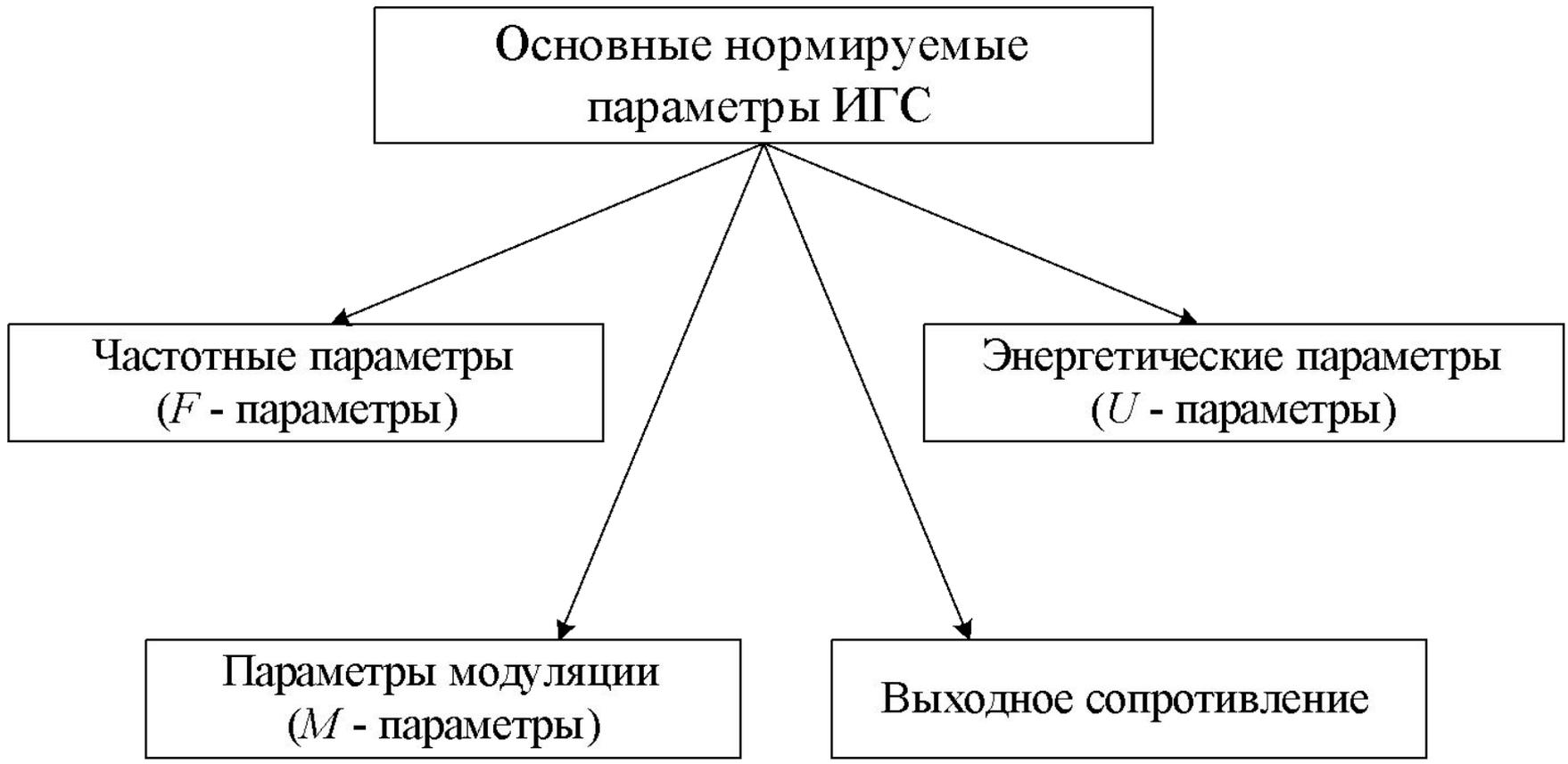






# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов







# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

## Параметры частоты (*F – параметры*)

### 1. Диапазон генерируемых частот

(частотный интервал, в котором сигнал ИГ соответствует всем нормам по точности, предписанным данному прибору)  $f_{\min} \div f_{\max}$

Коэффициент перекрытия по частотному диапазону:  $\eta = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}$

### 2. Точность установки частоты и её нестабильность

(абсолютное или относительное изменение частоты при изменении внешних условий за определенное время (1 мин, 10 (15) мин, 1 ч, 1 сут., 15 сут., 30 сут.)

$$\delta_{ft} \approx 10^{-3} \dots 10^{-5} \dots 10^{-9}$$

### 3. Погрешность установки частоты

Определяется:

- качеством шкальных устройств и механизмов приводов органов установки значения частоты сигнала (для ИГ с плавной установкой частоты)
- погрешностью дискретизации при ЦАП (для ИГ с дискретной настройкой)



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

## Нормирование погрешности установки частоты

(нормируется для всего прибора или отдельно для каждого поддиапазона)

Для ИГС НЧ - нормируется *абсолютная погрешность*

$$\Delta f = \pm \left( \frac{\delta_{\Gamma} \cdot f_{\text{н}}}{100} + C \right), \quad \delta_{\Gamma} = \frac{\Delta f}{f_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{f_{\text{д}} - f_{\text{н}}}{f_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

$$\delta_{\Gamma} = (0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3) 10^{-n}$$

где  $\delta_{\Gamma}$  - относительная погрешность;

$f_{\text{н}}$  - номинальное значение частоты, установленное по отсчетному устройству;

$C$  - минимальная абсолютная погрешность.

Для ИГС ВЧ - нормируется относительная погрешность

$$\delta_{\Gamma} = \pm P, \% \quad P = 0,01; 0,05; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0$$



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

20

## Энергетические параметры ( $U$ – параметры)

### 1. Пределы изменения выходного уровня (напряжения) сигнала

$$U_{\min} \div U_{\max}$$

### 2. Погрешность установки выходного уровня (напряжения)

Определяется:

погрешностью выходных устройств;

погрешностью установки опорного значения уровня (напряжения);

погрешностью отсчетных устройств.

Для ИГС НЧ - нормируется основная приведенная погрешность

$$\delta_{\Pi}, \% \quad (1,0; 2,0; 2,5; 4,0; 6,0)$$

Для ИГС ВЧ - нормируется погрешность установки опорного значения напряжения (как правило, в дБ)

$$\begin{aligned} \delta_U &= \pm P, \text{ дБ} & P &= 0,5; 1,0; 1,5 \\ \delta_{U, \text{дБ}} &= 20 \lg \frac{U_{\text{оп}}}{U_{\text{д}}} & \text{или} & P_{\text{оп}} - P_{\text{д}} \end{aligned}$$



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

## Параметры формы сигналов (*М – параметры*)

### 1. Коэффициент гармоник

Кг : 0,2 ... 2 %

$$K_g = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1}$$

### 2. Параметры модуляции

- ✓ вид модуляции,
- ✓ пределы регулировки,
- ✓ погрешность установки.

### Вид модуляции

амплитудная модуляция (АМ);

частотная модуляция (ЧМ);

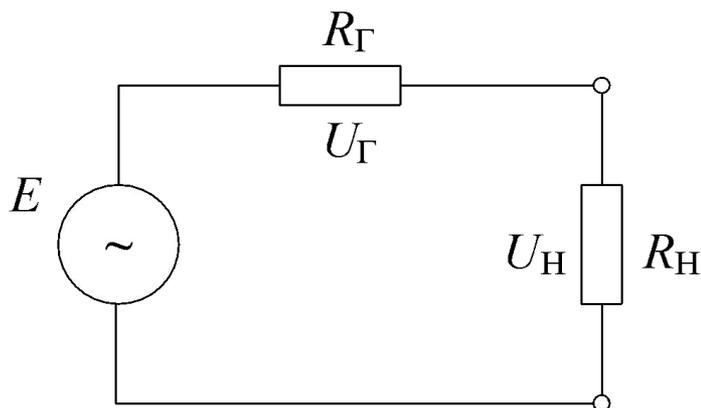
амплитудно-импульсная модуляция (АИМ);

частотно-импульсная модуляция (ЧИМ).



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

## Выходное сопротивление генератора $R_{\text{вых}}$



$$E = U_{\text{H}} + U_{\text{Г}}$$
$$U_{\text{H}} = U_{\text{Г}} = E/2$$

Для ИГС НЧ  
6; 60, 600, 6000 Ом;  
для ИГС ВЧ  
 $K_{\text{ВЫХ}} = 50 \text{ Ом.}$

Согласование генератора с нагрузкой

### Только в случае согласования выхода ИГ с нагрузкой:

измерительный прибор покажет истинное значение напряжения в нагрузке;  
в нагрузку отдается максимальная мощность;  
искажения выходного сигнала ИГ минимальны.

**Градуировка по напряжению отсчетных устройств генераторов производится при согласованной нагрузке, т.е. при равенстве сопротивления нагрузки  $R_{\text{H}}$  внутреннему сопротивлению генератора  $R_{\text{Г}}$ .**



# 1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

<i>Наименование параметра</i>	<i>Условное обозначение</i>	<i>Значения</i>	
		<i>Для генераторов НЧ, %</i>	<i>Для генераторов ВЧ</i>
<b>Частота</b>	<b>F</b>	<b>0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0</b>	<b>0,2; 0,5; 1,0; 2,0 %</b>
<b>Выходной уровень</b>	<b>U</b>	<b>1,0; 2,0; 2,5; 4,0; 6,0</b>	<b>0,5; 1,0; 2,0 дБ</b>
<b>Параметр модуляции</b>	<b>M</b>	<b>-</b>	<b>5; 10; 20 %</b>

**Для ИГС НЧ**

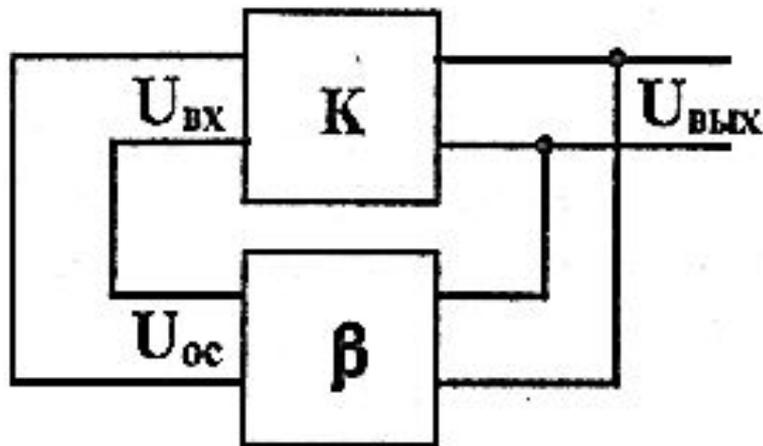
$F_{\delta, \%} U_{\delta, \%}$ , например  $F_{0,1} U_{0,5}$

**Для ИГС ВЧ**

$F_{\delta, \%} U_{\delta, \text{дБ}} AM_{\delta, \%}$ , например  $F_{0,01} U_1 AM_{10}$



# Измерительные генераторы сигналов НИЗКИХ И ВЫСОКИХ ЧАСТОТ



Обобщенная структурная схема генератора

$K$ -комплексный коэффициент усиления  
 $\beta$ -комплексный коэффициент передачи по напряжению

$$U_{ос} = U_{вх} = \beta U_{вых}$$

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

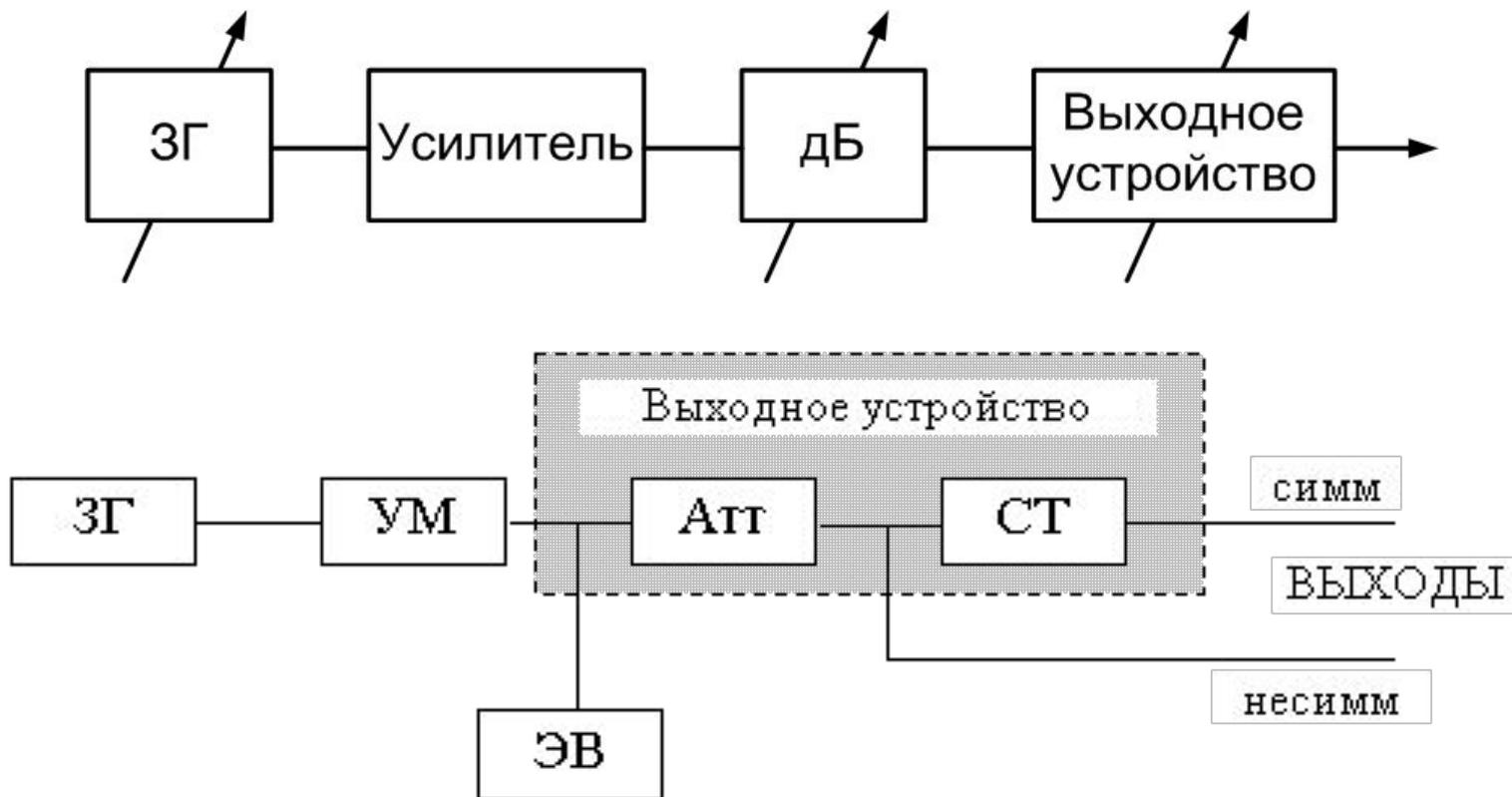


Условие работы генератора в стационарном режиме

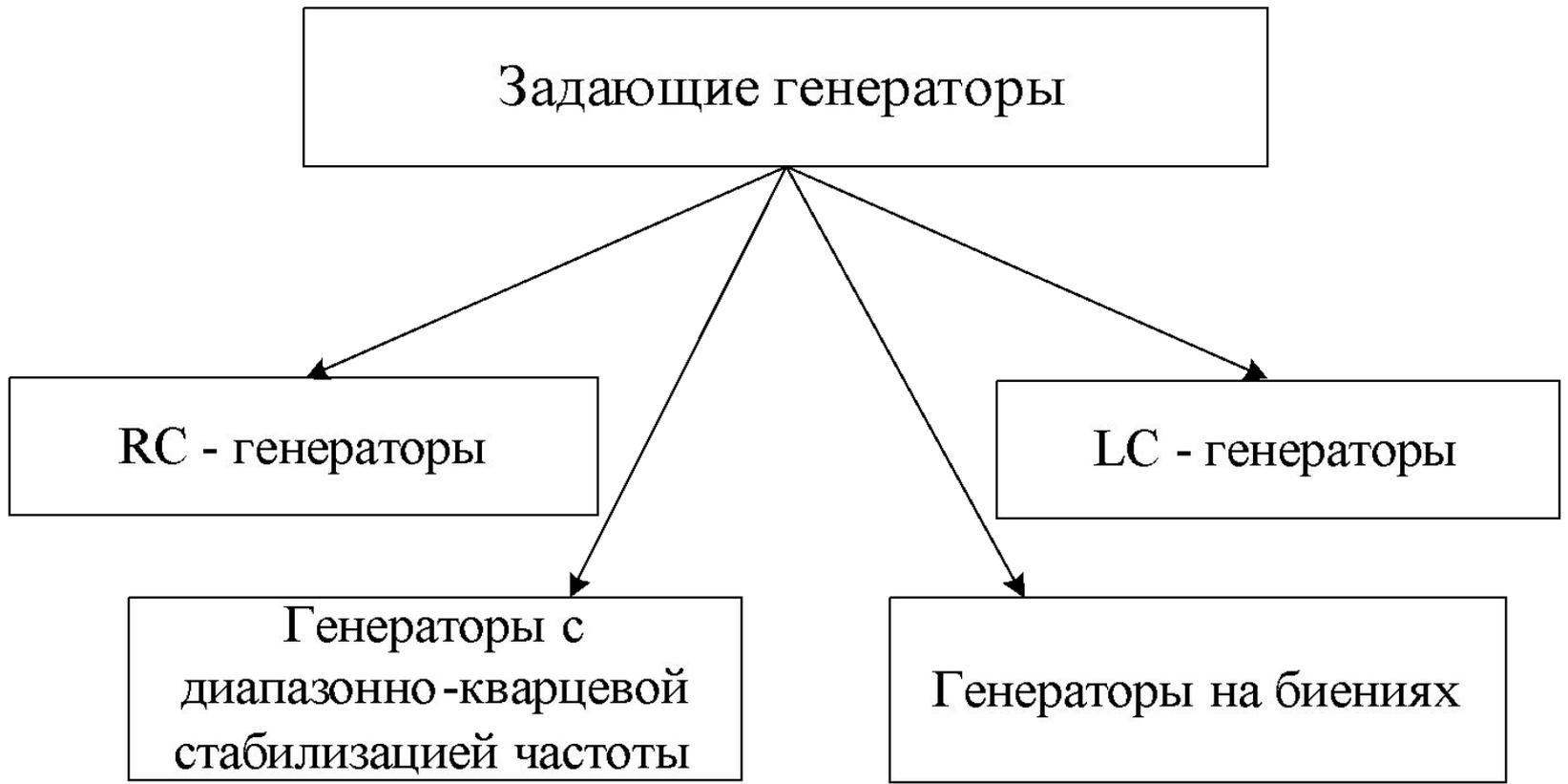
$$K\beta = 1$$

**Состав любого генератора, независимо от назначения, принципа действия и схемотехнического выполнения:**

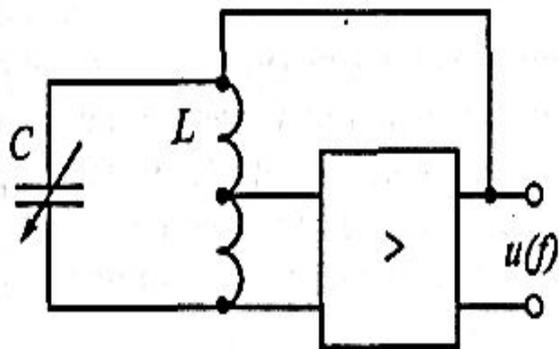
1. Нелинейный усилитель.
2. Цепи положительной обратной связи (ПОС).
3. Источник питания постоянного тока.



**Обобщенная структурная схема измерительного генератора НЧ-1**



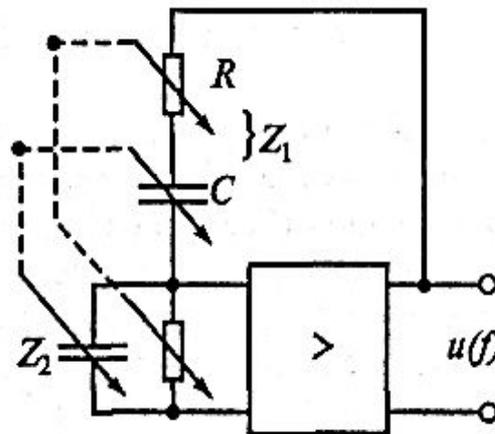
**Обобщенная классификация ЗГ**



Упрощенная структурная схема LC-генератора

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Частота LC-контура



Упрощенная структурная схема RC-генератора

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

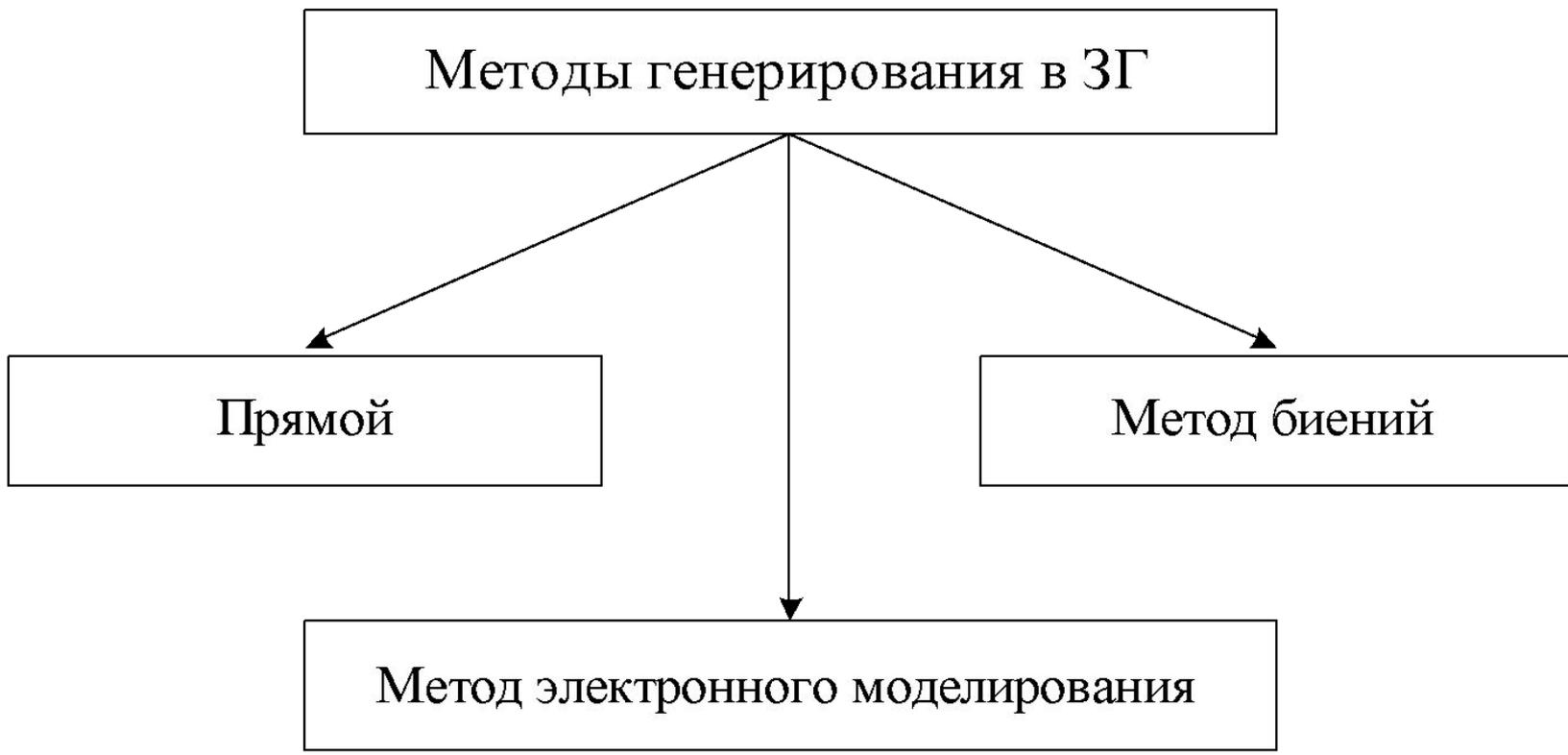
Частота RC-контура



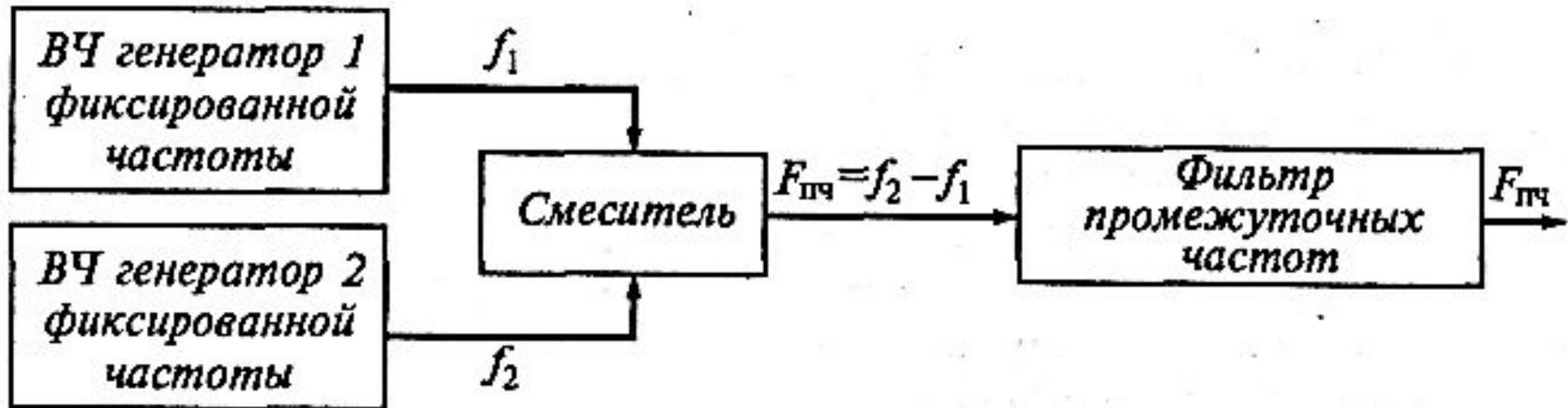
## 2. Измерительные генераторы сигналов низких частот



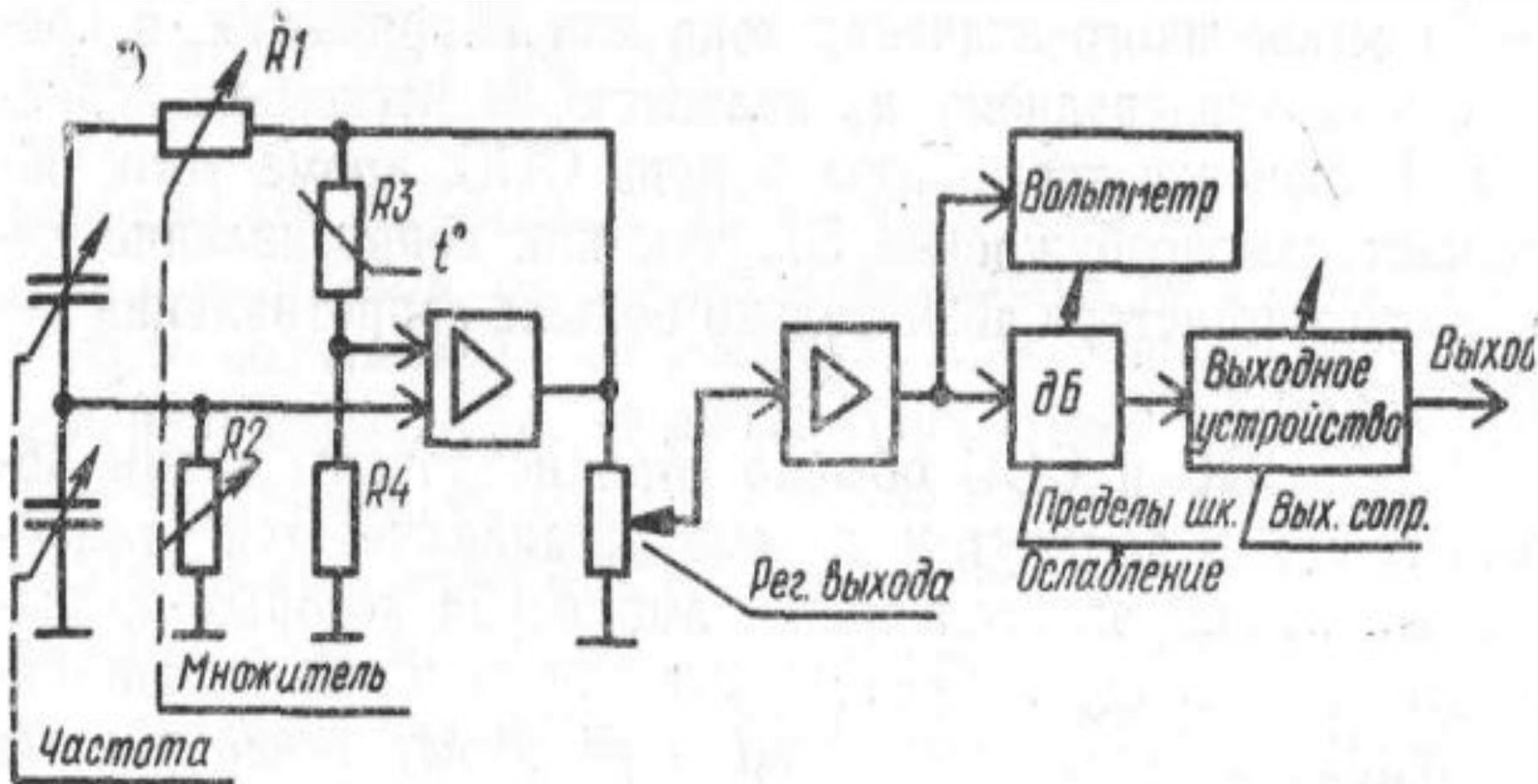
**Генератор ГЗ-109**



**Методы генерирования в ЗГ**



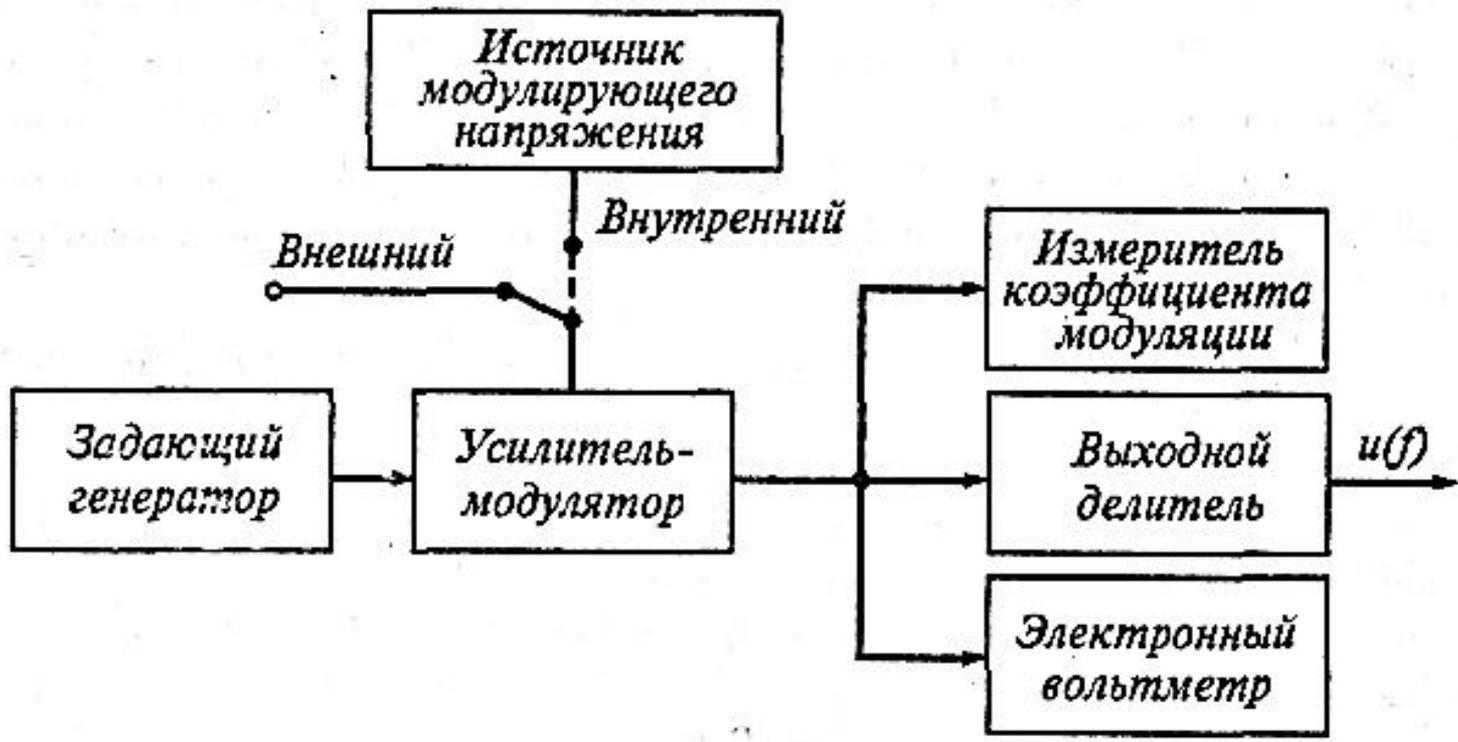
Структурная схема генератора на биениях



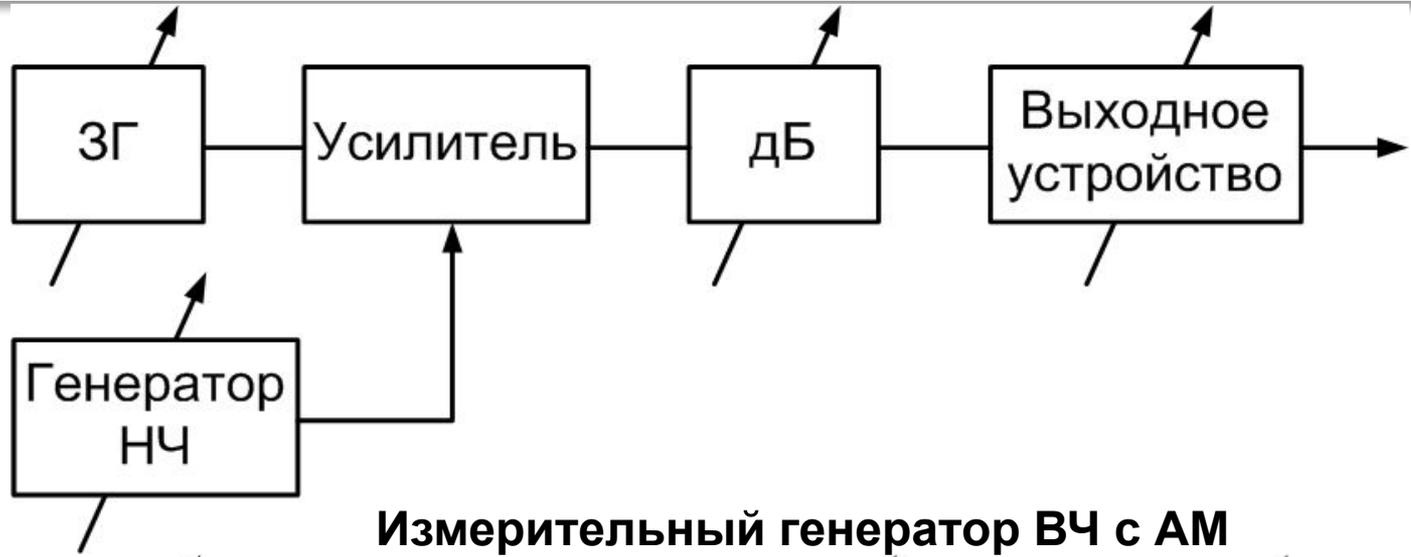
Обобщенная схема ИГ НЧ с задающим RC-генератором



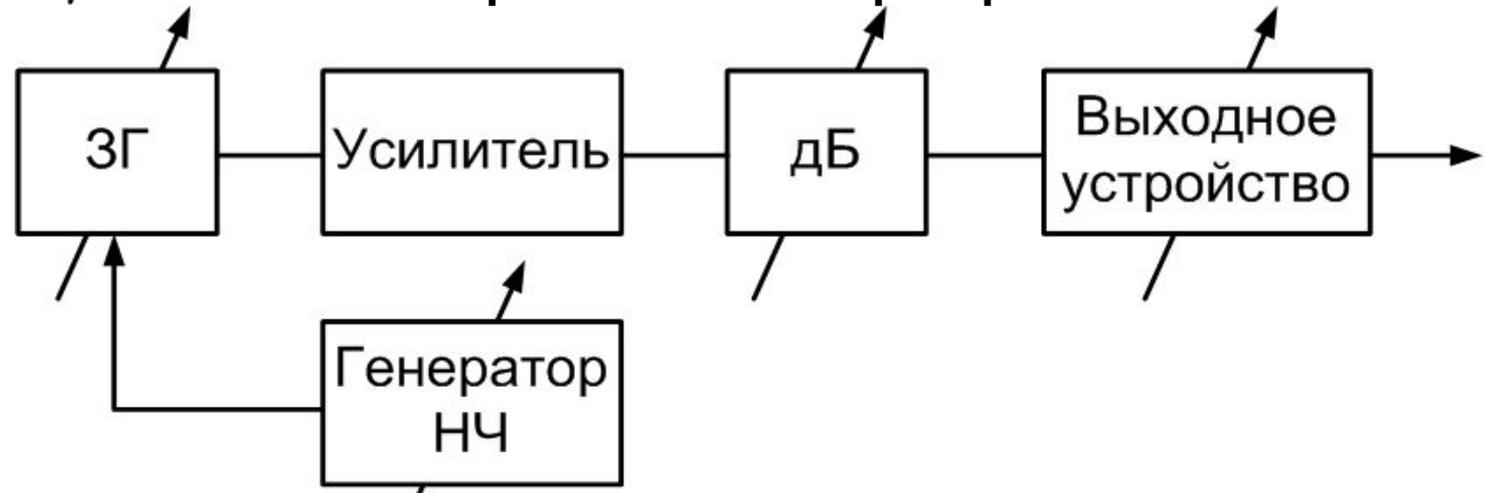
Генератор Г4-158



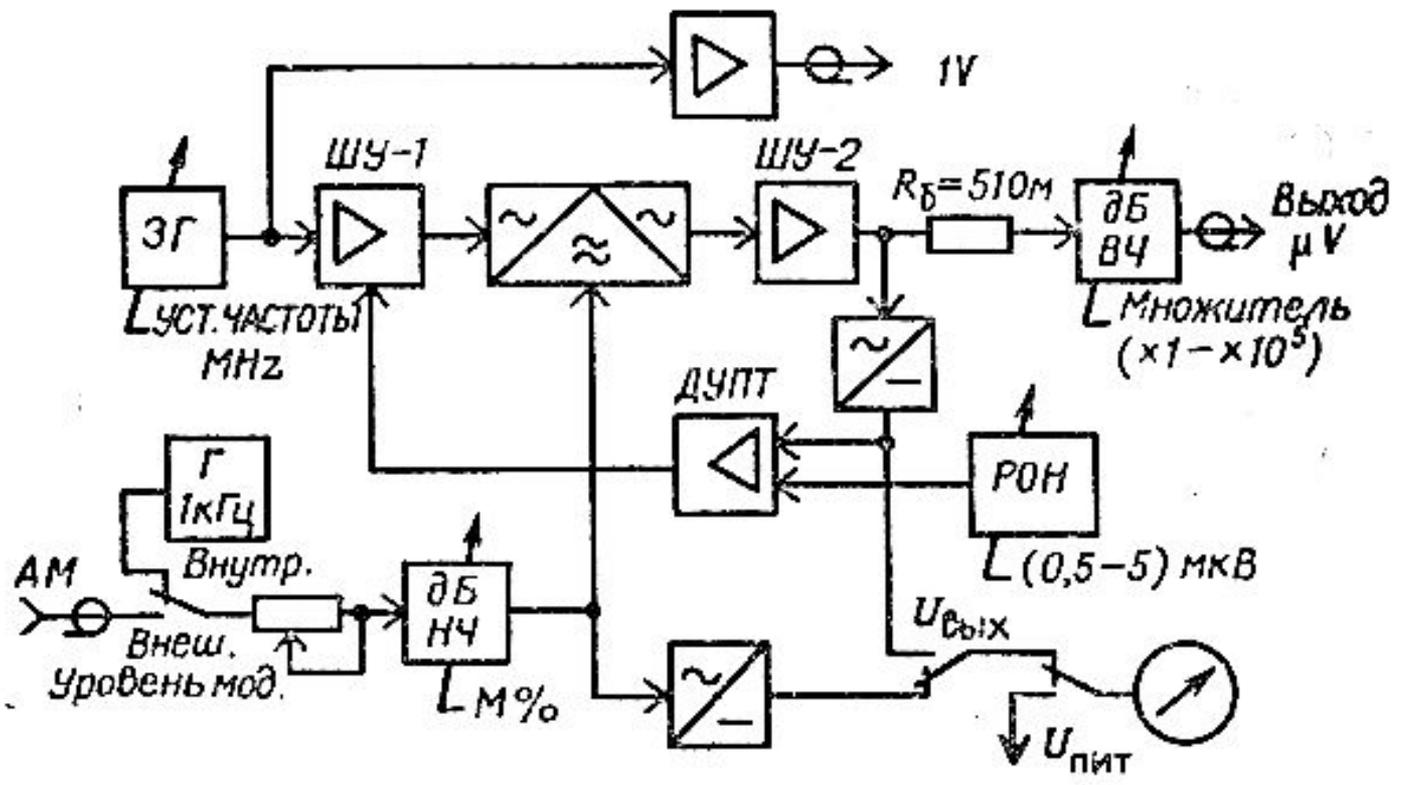
Структурная схема аналогового ИГ ВЧ



**Измерительный генератор ВЧ с АМ**



**Измерительный генератор ВЧ с ЧМ**



Структурная схема аналогового ИГ ВЧ



## Измерительные генераторы сигналов прямоугольной и специальной



## Варианты применения ГСПФ:

1. Исследование и настройка импульсных устройств ВТ, дискретных электронных схем, видеоусилителей.
2. Снятие переходных характеристик четырехполюсников.
3. Модуляция измерительных ВЧ генераторов.
4. Контроль цифровых систем передачи информации.



## Классификация ГСПФ:

### 1. По числу каналов основных импульсов:

одноканальные;

многоканальные (независимая для каждого выхода установка параметров импульсов (частота следования импульсов при этом, как правило, одинакова для всех каналов)).

Среди многоканальных различают 1, 3, 4, 8, 16, 32-х канальные генераторы.

### 2. По диапазону длительности вырабатываемых импульсов:

нано-; микро-; милли- и секундной длительности

### 3. По характеру последовательности основных импульсов:

непрерывных последовательностей;

одиночных;

парных импульсов;

кодовых групп.

### 4. В зависимости от допускаемых основных погрешностей установки параметров формируемых сигналов:

метрологические (0,0001; 0,001; 0,01; 0,03; 0,1; 0,3; 1,0; 3,0%);

общего применения (5; 10; 20%).



Основная погрешность установки любого параметра формируемого сигнала ( $f$ ,  $t$ ,  $U_m$  импульса и т.п.):

$$\Delta x = \pm(\gamma x / 100 + C_x)$$

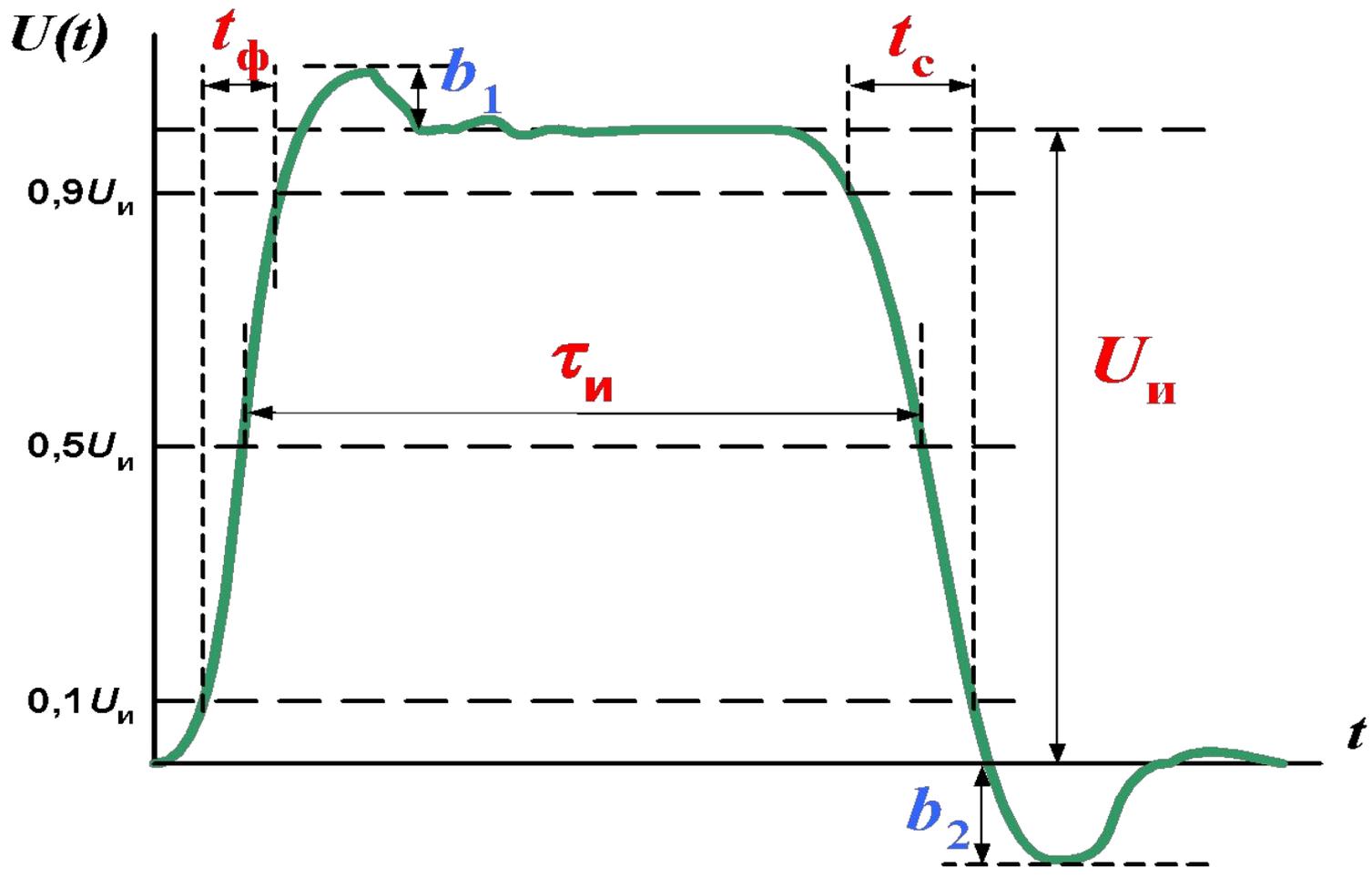
где  $\gamma$  – класс точности в относительных единицах;  
 $C_x$  – систематическая составляющая погрешности, обусловленная качеством изготовления прибора



## Группы метрологических ГИ

(в зависимости от соотношения допускаемых основных погрешностей установки параметров):

- с калиброванной установкой амплитуды импульса (группа  $U$ );
- с калиброванной установкой длительности импульса (группа  $\tau$ );
- с калиброванной установкой частоты (периода) следования импульсов (группа  $F(T)$ );
- с калиброванной установкой временного сдвига импульса (группа  $D$ );
- ИГИ точной формы (одинаковая точность установки  $U, F, D, \tau$ ).



Нормируемые параметры импульсных сигналов

**Нормируемые параметры импульсных сигналов:**

- ✓ максимальное значение (амплитуда)  $U_{\text{макс}}$ ;
- ✓ длительность импульсов  $T$ , которая определяется на уровне 0,5 от максимального значения  $U_{\text{макс}}$ ;
- ✓ длительность фронта  $T_{\text{ф}}$  - время, в течение которого напряжение импульса нарастает от уровня 0,1 до уровня 0,9 максимального значения  $U_{\text{макс}}$ ;
- ✓ длительность среза  $T_{\text{ср}}$  - время, в течение которого напряжение импульса уменьшается от 0,9 до 0,1  $U_{\text{макс}}$ ;
- ✓ частота  $f$  или период  $T=1/f$  следования импульсов;
- ✓ временной сдвиг  $D$  (задержка) основных импульсов относительно синхронизирующих;
- ✓ выбросы на вершине импульса  $b1$  и в паузе  $b2$ .

**Импульсы считаются прямоугольными, если выполняются условия**

$$t_{\text{ф}} + t_{\text{ср}} \leq 0.3T$$

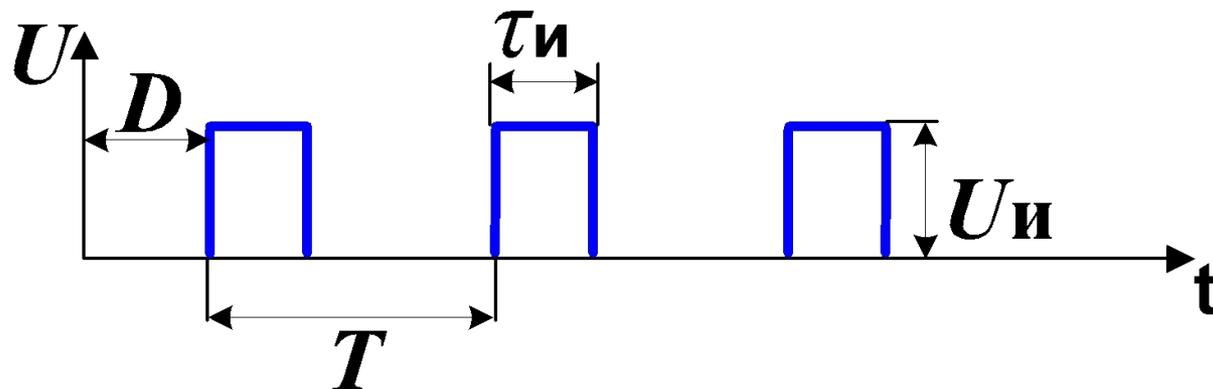


**Система параметров,  
характеризующая диапазоны изменения  
соответствующих основных параметров к  
погрешностям их установки:**

- ▶ параметры амплитуды выходного импульса ( $U$ -параметры),
- ▶ параметры длительности импульса ( $t$ -параметры);
- ▶ параметры частоты повторения импульсов, пар импульсов или кодовых комбинаций ( $F$ -параметры);
- ▶ параметры задержки выходного импульса относительно импульса синхронизации ( $D$ -параметры),
- ▶ одинаковая погрешность всех параметров ( $O$ -параметр).



## Параметры последовательности прямоугольных импульсов



$T$  - период следования импульсов;

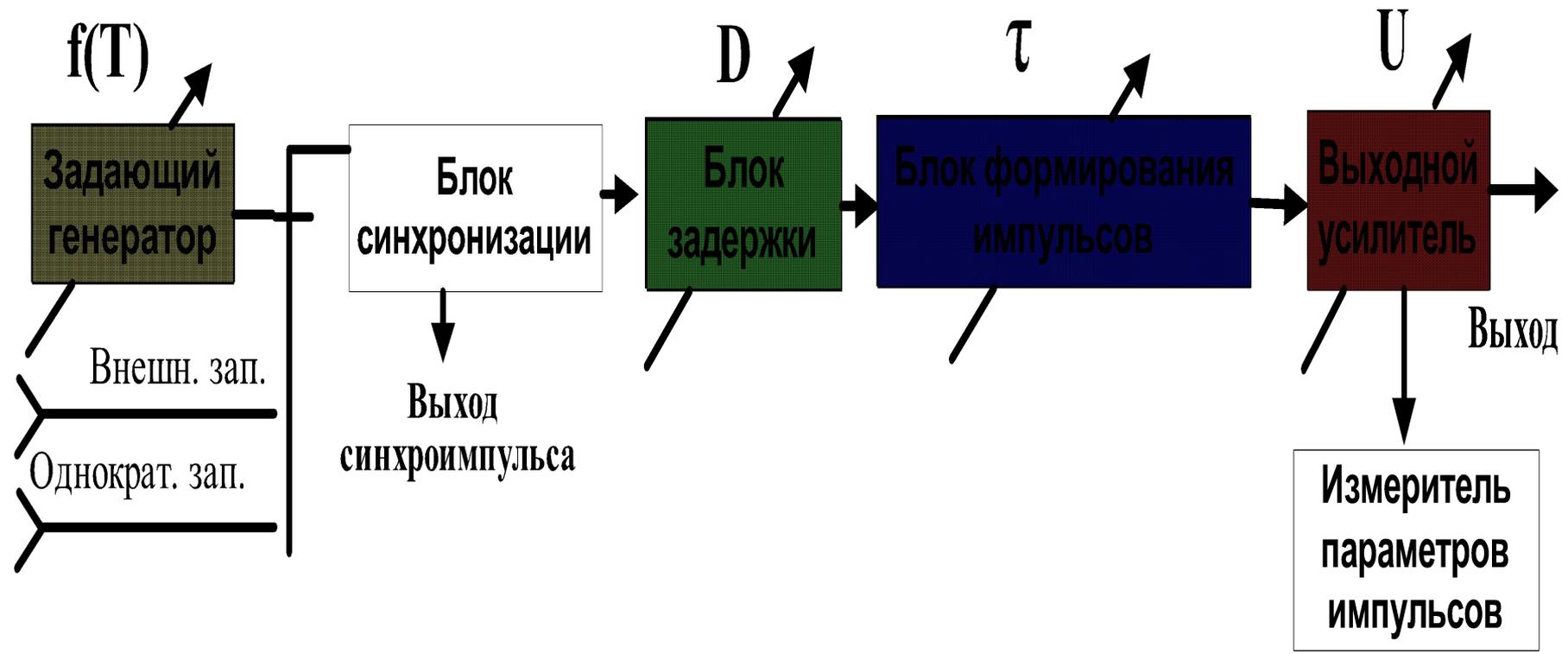
$U_{и}$  - высота импульсов;

$t_{и}$  - длительность импульсов;

$D$  - временной сдвиг основного импульса относительно синхроимпульса

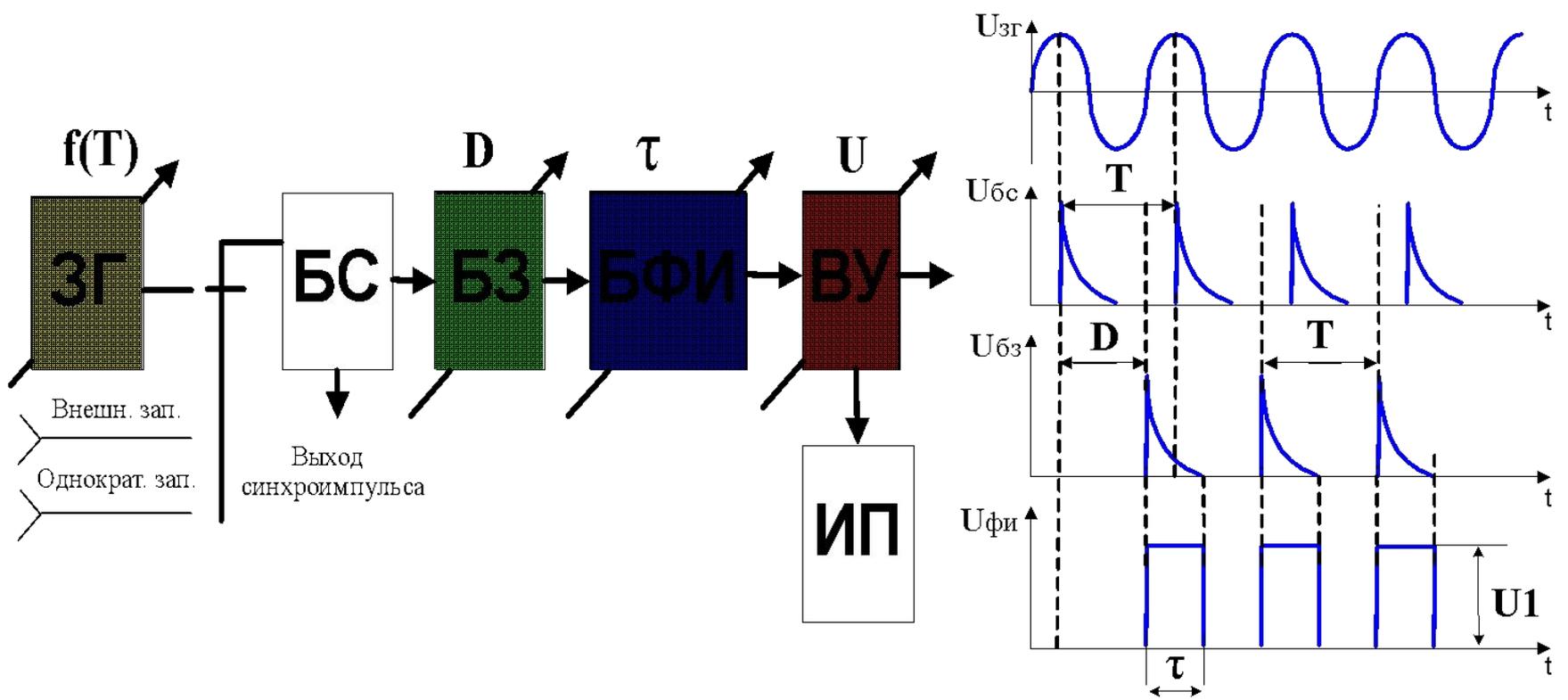


## Структурная схема ИГИ



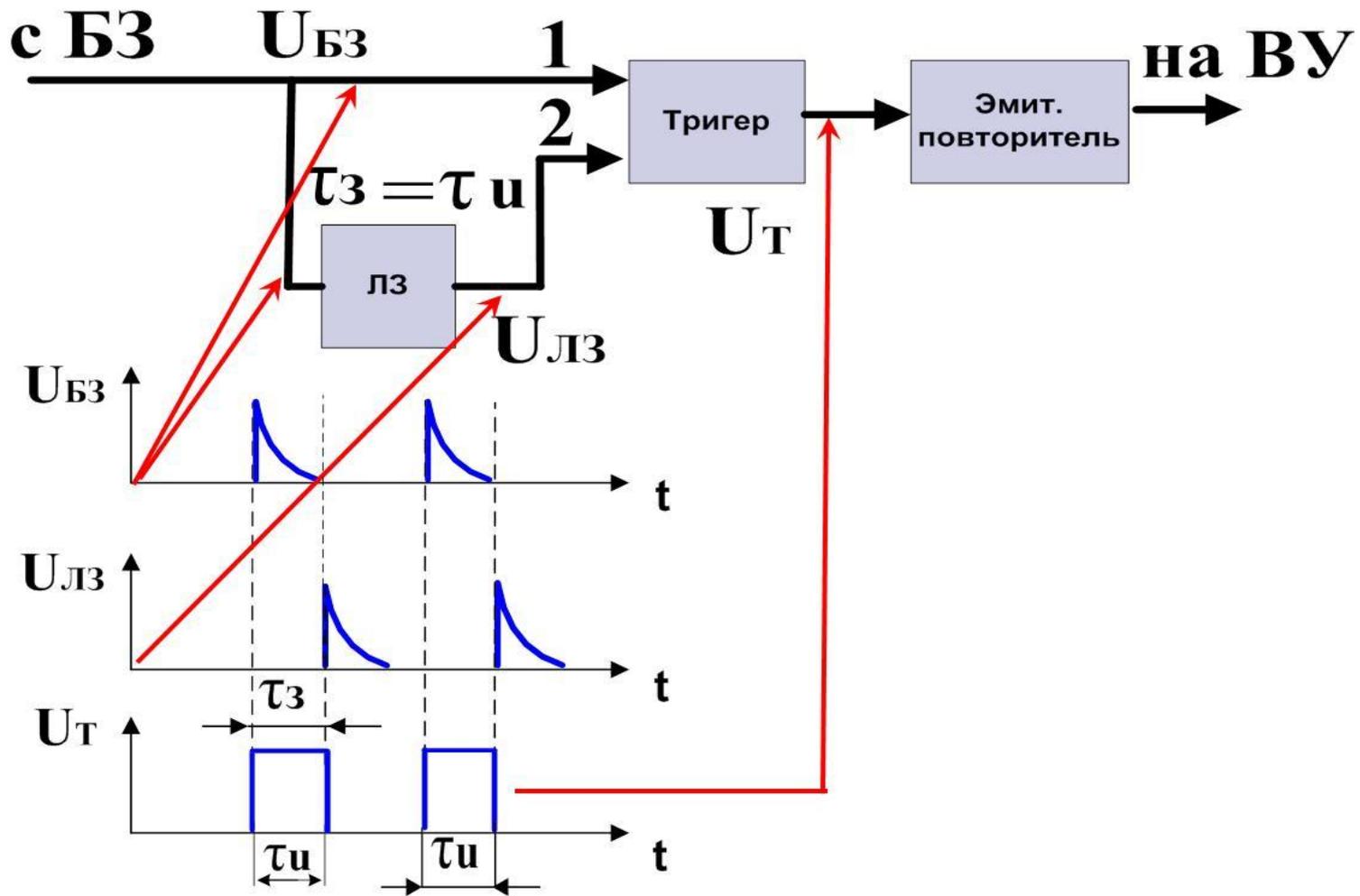


## Функционирование ГИ



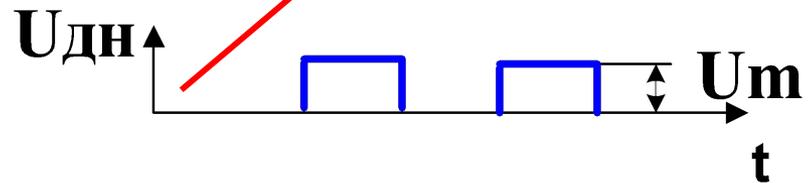
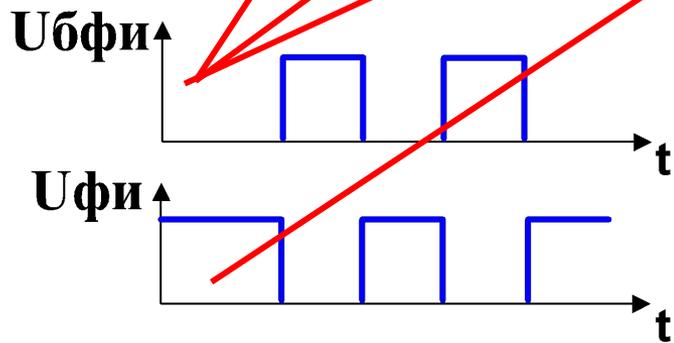
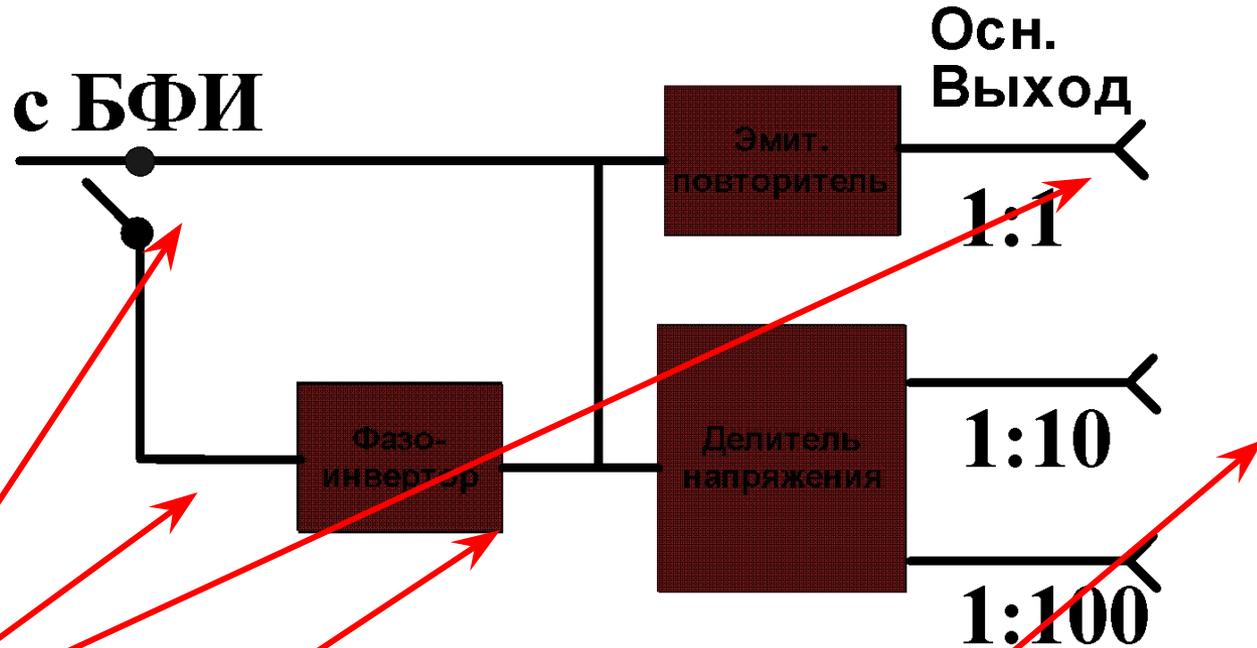


## Принцип формирования импульса в БФИ





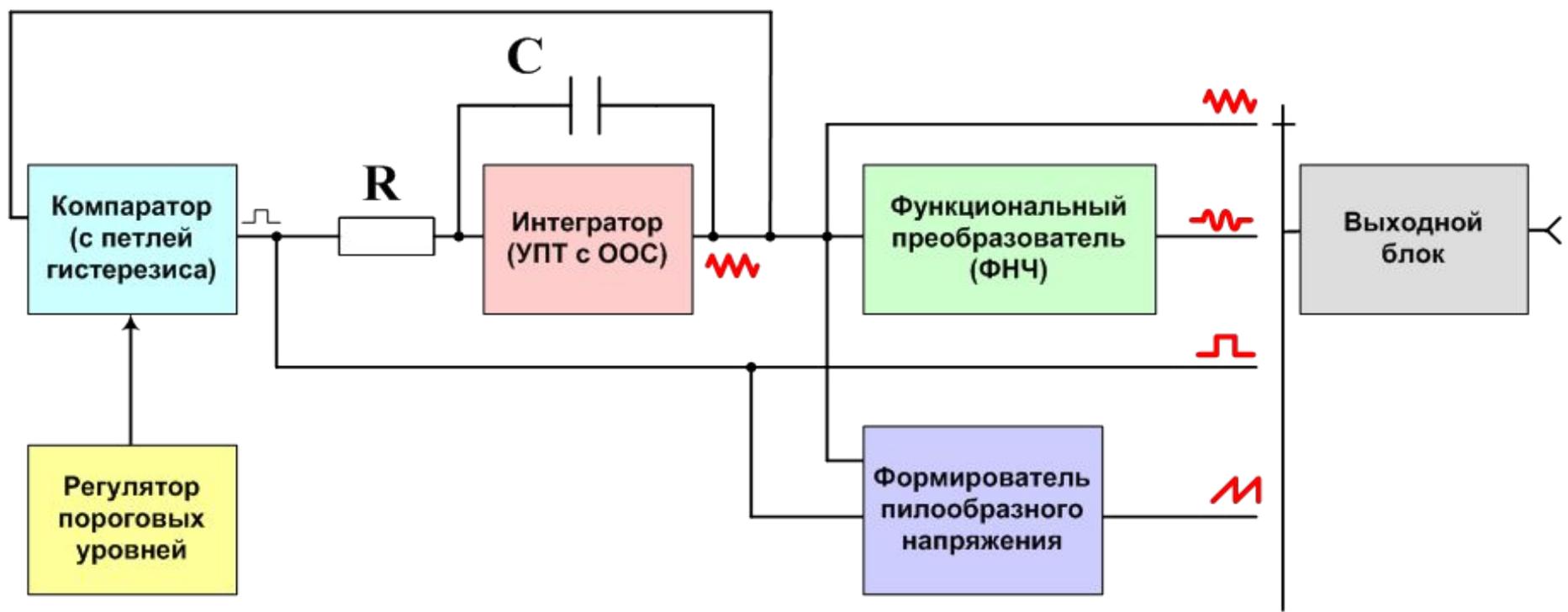
# Выходной усилитель





# Принципы построения измерительных генераторов сигналов специальной формы

## Структурная схема аналогового ГССФ



$m$  – разы **Перевод единиц мощности**

$n$  – дБ

$$m = 10^{\frac{n}{10}} \quad n = 10 \log m$$

**Перевод единиц напряжения и тока**

$$m = 10^{\frac{n}{20}} \quad n = 20 \log m$$

**ЗАДАЧА:** Определить величину выходного напряжения на согласованной нагрузке ИГ ( $R_r = 50$  Ом,  $U_{оп} = 1$  В), если на аттенюаторе установлено затухание 26 дБ.

**Решение:**  $26 \text{ дБ} = 20 + 6 \Rightarrow 10 \times 2 = 20 \text{ раз} \Rightarrow$   
 $U_{\text{вых}} = U_{\text{оп}} / 20 = 1 \text{ В} / 20 = 50 \text{ мВ}$

ра- зы	Уровень, Дб	
	Напряж.	Мощн.
2	6	3
5	14	7
10	20	10
$10^2$	40	20
$10^3$	60	30
$10^4$	80	40
$10^5$	100	50



Задача 2. Определить максимальную относительную погрешность установки длительности импульсов генератора Г5-56, если установленное значение

$t_{\text{и}} = 4 \text{ мкс}$ , а абсолютная погрешность определяется выражением

$$\Delta_t = \pm(0,01 \cdot t_{\text{и}} + 9 \text{ нс}).$$



# Решение задач

53

Задача 3. Определить абсолютную погрешность установки частоты генератора сигналов высокой частоты, если  $f_{\text{ном}} = 700$  кГц, а

$$\delta_f = \pm 0,001 \%$$



# Решение задач

54

Задача 4. Определить основную приведенную погрешность установки выходного значения напряжения генератора сигналов низкой частоты, если  $U_{уст} = 12В$ ;  $U_{д} = 12,2В$ ;  $U_{max} = 15В$ .



**Конец занятия**