



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.

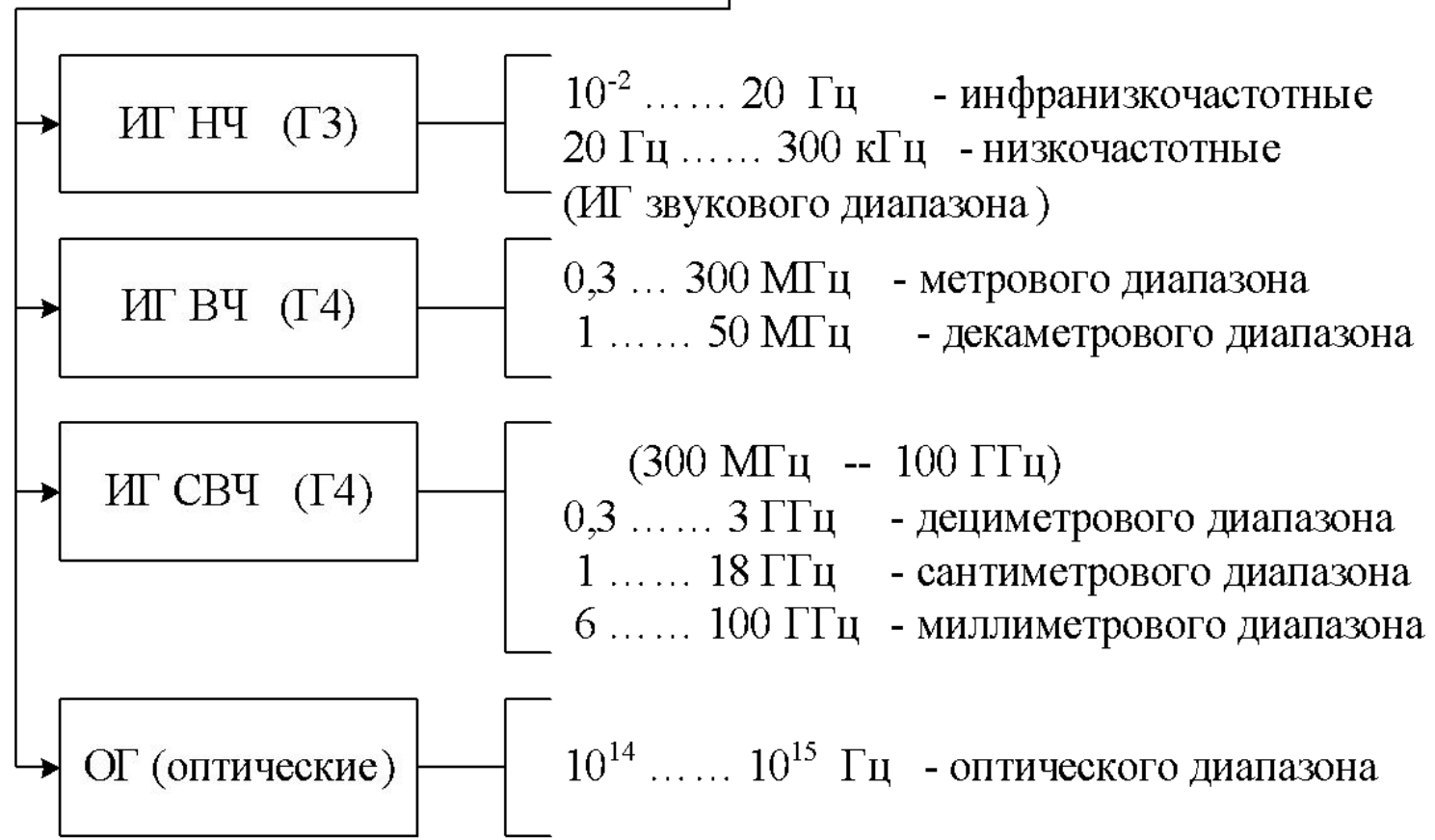
Типы ИГ по назначению (приборы группы Г):

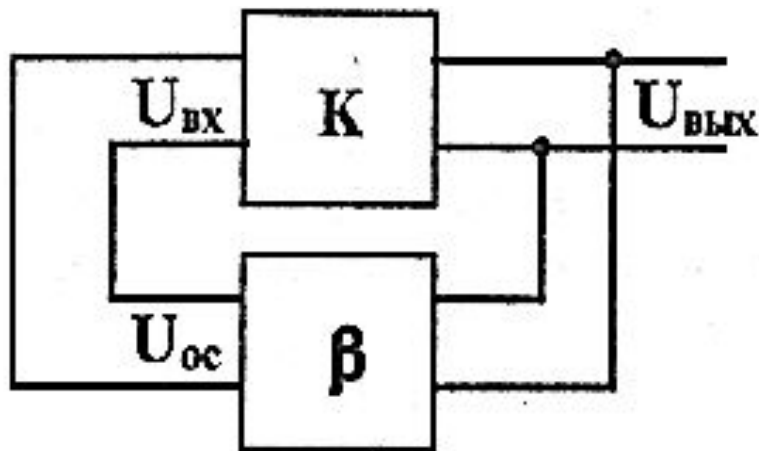
- Г1 - установка для поверки ИГ**
- Г2 - генератор шумовых сигналов**
- Г3 - генератор синусоидальных сигналов НЧ**
- Г4 - генератор синусоидальных сигналов ВЧ**
- Г5 - генератор импульсных сигналов**
- Г6 - генератор сигналов специальной формы**
- Г7 - синтезаторы частот**
- Г8 - генераторы качающейся 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
 β -комплексный коэффициент передачи по напряжению

$$U_{ос} = U_{вх} = \beta U_{вых}$$

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



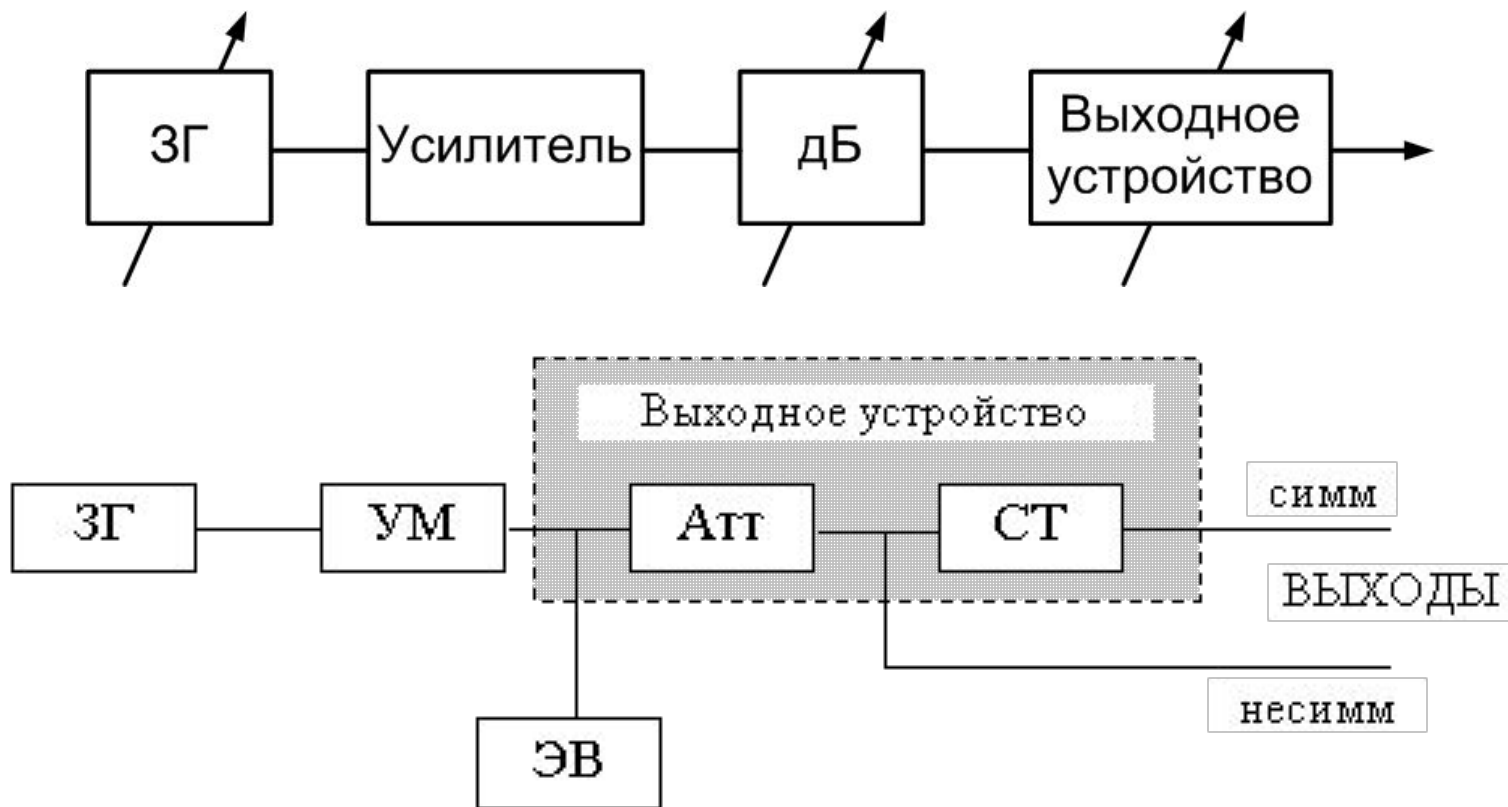
Условие работы генератора в стационарном режиме

$$K\beta = 1$$

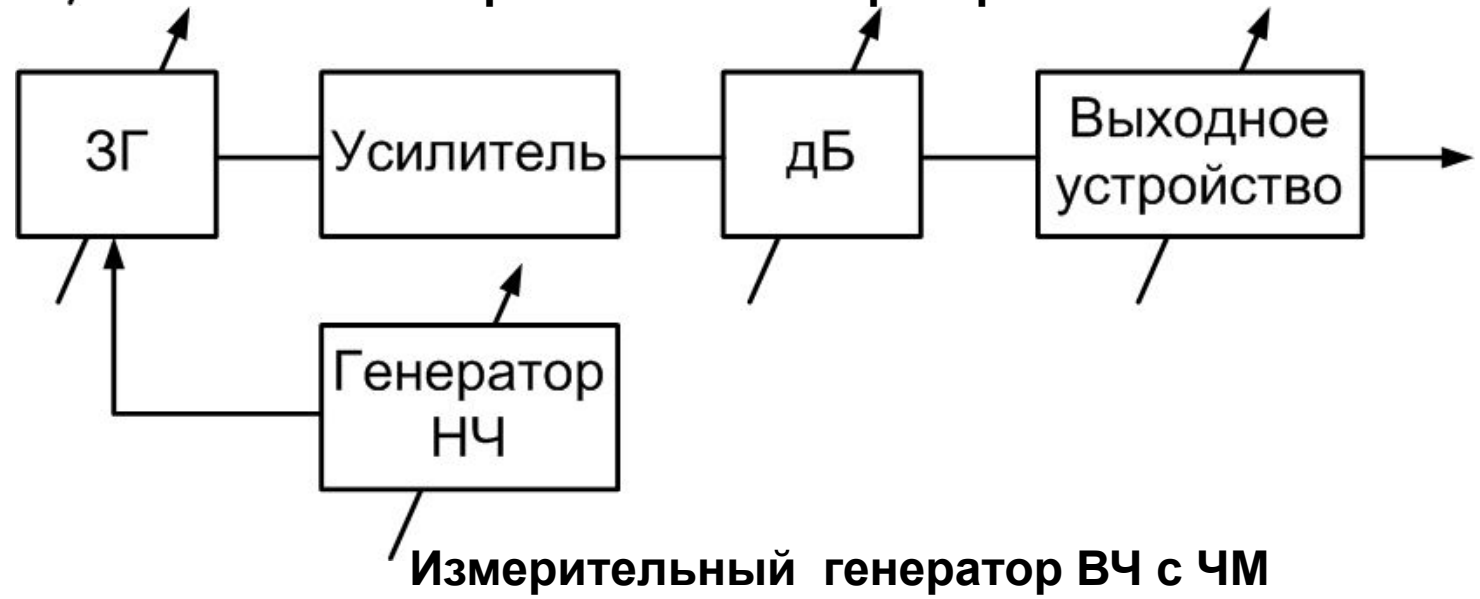
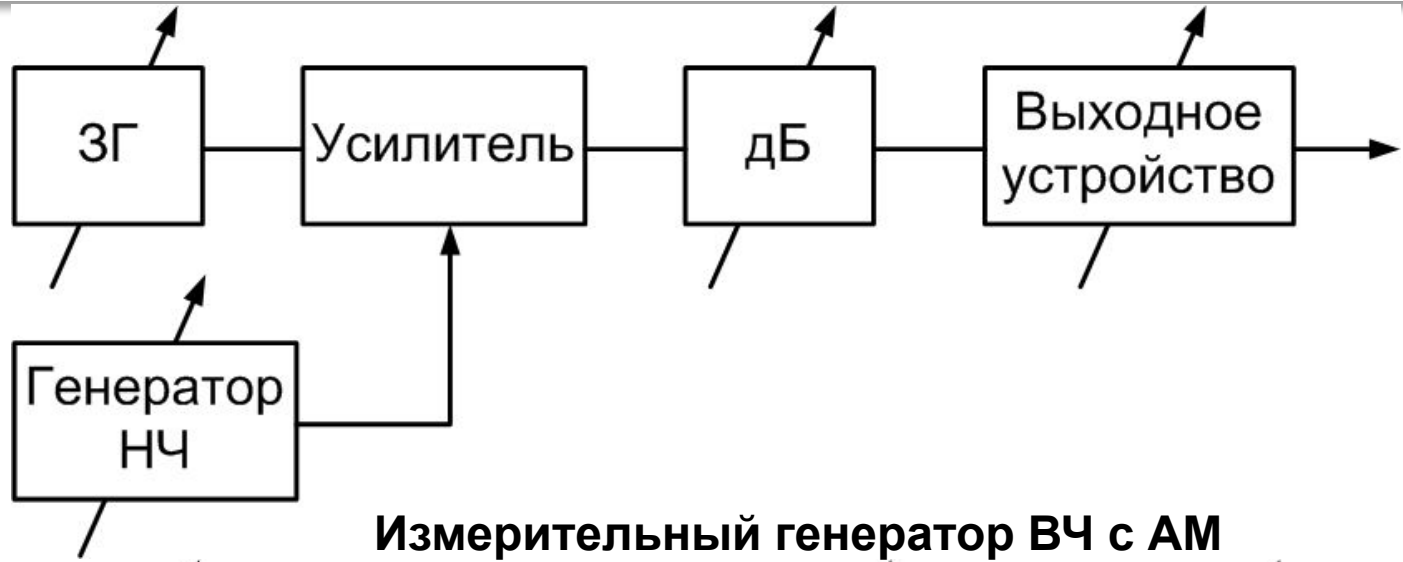
Состав любого генератора, независимо от назначения, принципа действия и схемотехнического выполнения:

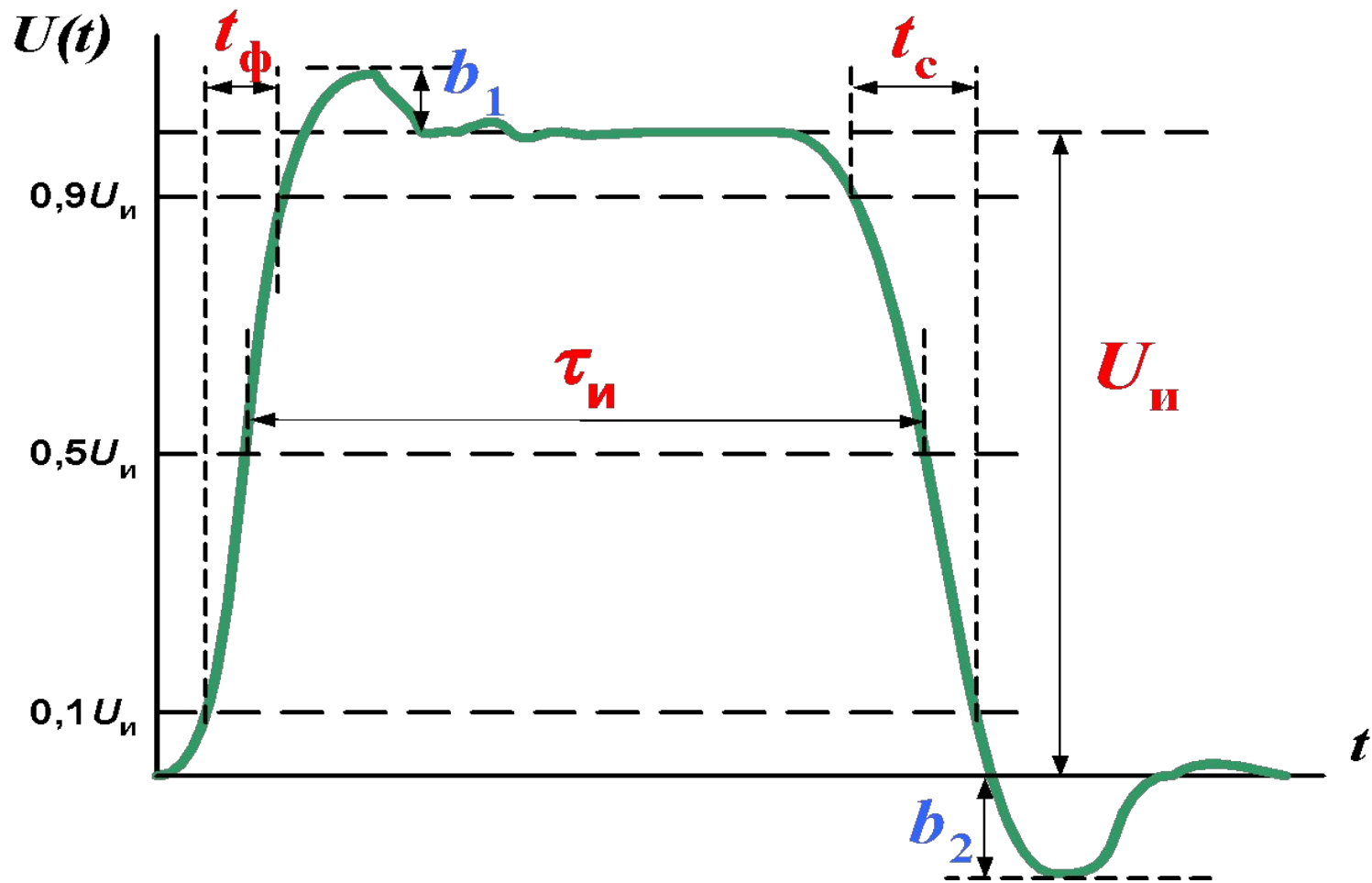
1. Нелинейный усилитель.
2. Цепи положительной обратной связи (ПОС).
3. Источник питания постоянного тока.

Измерительные генераторы сигналов низких и высоких частот



Обобщенная структурная схема измерительного генератора НЧ-1





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

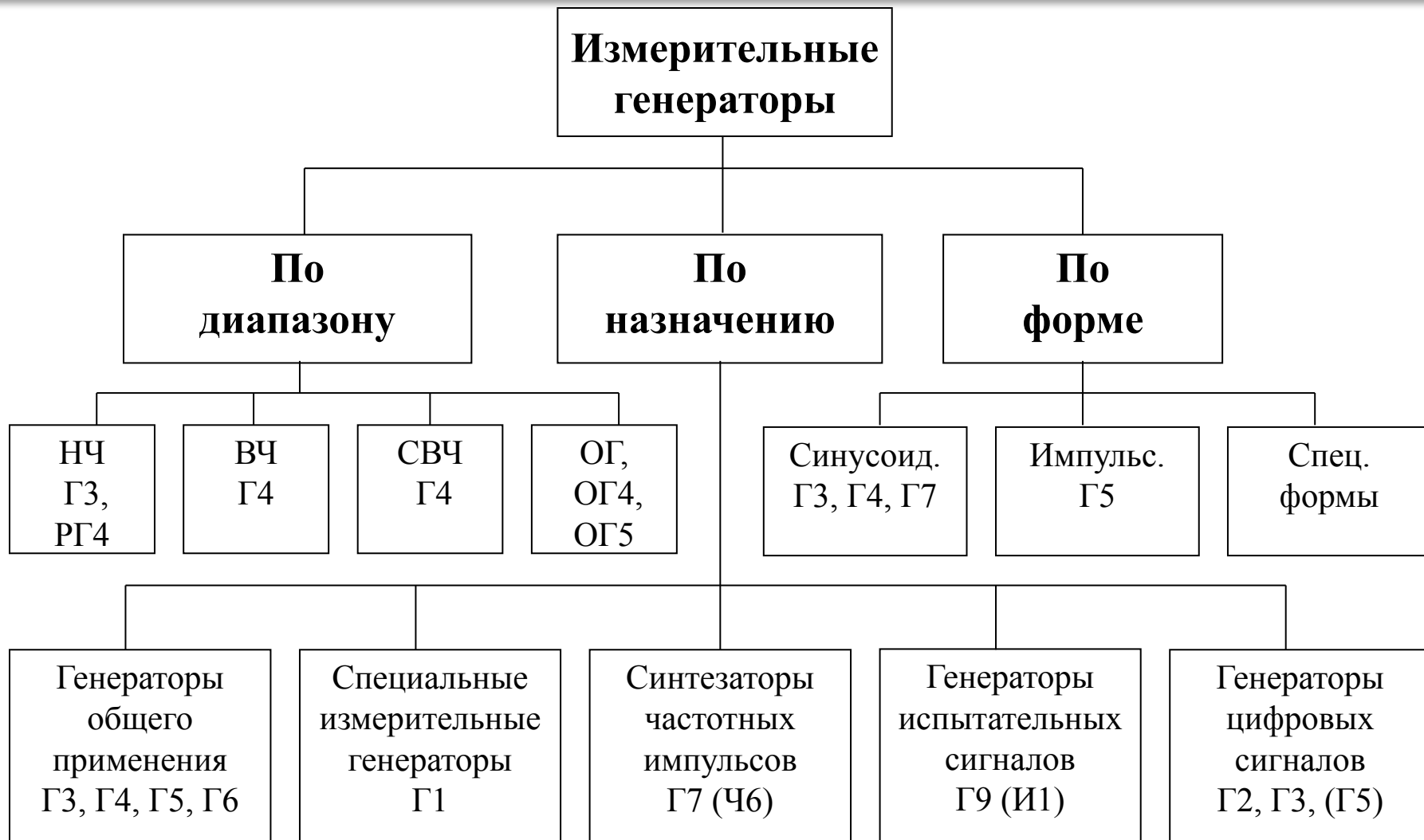
Измерительные генераторы (автогенераторы) (генераторы сигналов, от лат. generator-производитель) — источники сигналов различных форм и частот, предназначенные для работы с радиоэлектронными схемами.

Типы ИГ по назначению (приборы группы Г):

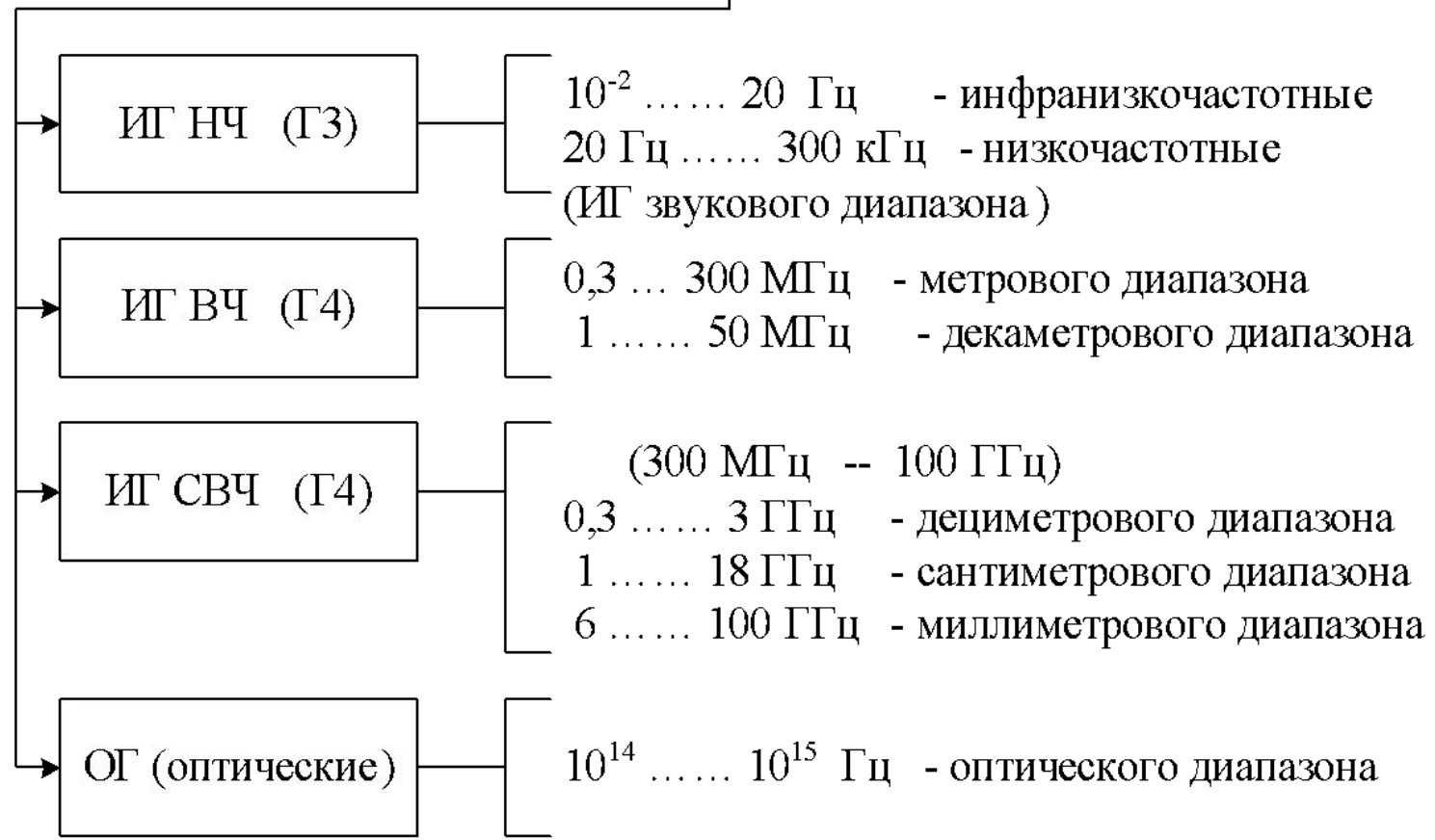
- Г1 - установка для поверки ИГ**
- Г2 - генератор шумовых сигналов**
- Г3 - генератор синусоидальных сигналов НЧ**
- Г4 - генератор синусоидальных сигналов ВЧ**
- Г5 - генератор импульсных сигналов**
- Г6 - генератор сигналов специальной формы**
- Г7 - синтезаторы частот**
- Г8 - генераторы качающейся 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



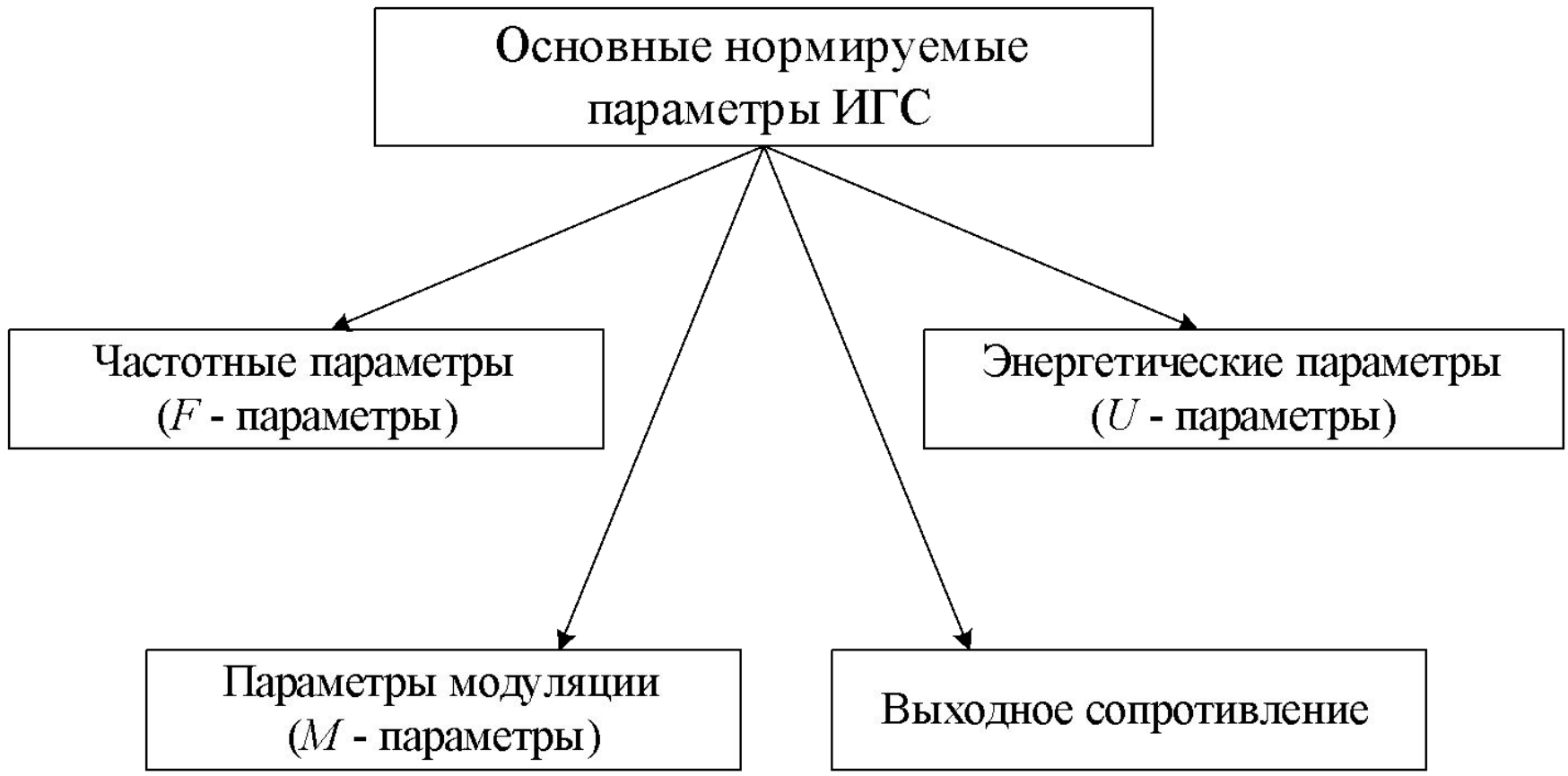


1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов





1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов





1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

18

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 δ_{Γ} - 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 (*M – 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);

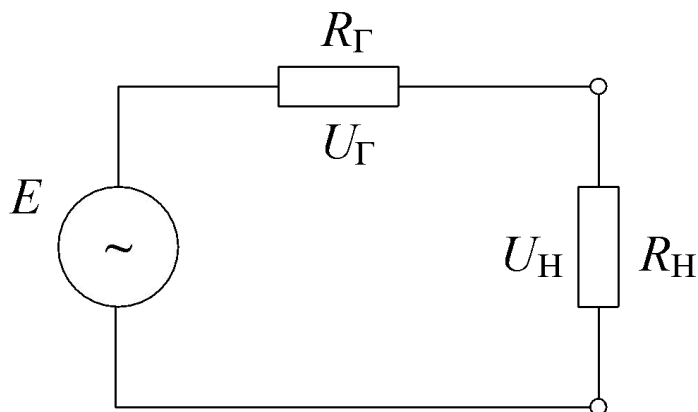
амплитудно-импульсная модуляция (АИМ);

частотно-импульсная модуляция (ЧИМ).



1. Классификация и метрологические характеристики измерительных генераторов

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



$$E = U_N + U_G$$

$$U_N = U_G = E/2$$

Для ИГС НЧ

6; 60, 600, 6000 Ом;

для ИГС ВЧ

$R_{\text{вых}} = 50$ 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_N внутреннему сопротивлению генератора R_G .



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>
Частота	F	0,1; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0	0,2; 0,5; 1,0; 2,0 %
Выходной уровень	U	1,0; 2,0; 2,5; 4,0; 6,0	0,5; 1,0; 2,0 дБ
Параметр модуляции	M	-	5; 10; 20 %

Для ИГС НЧ

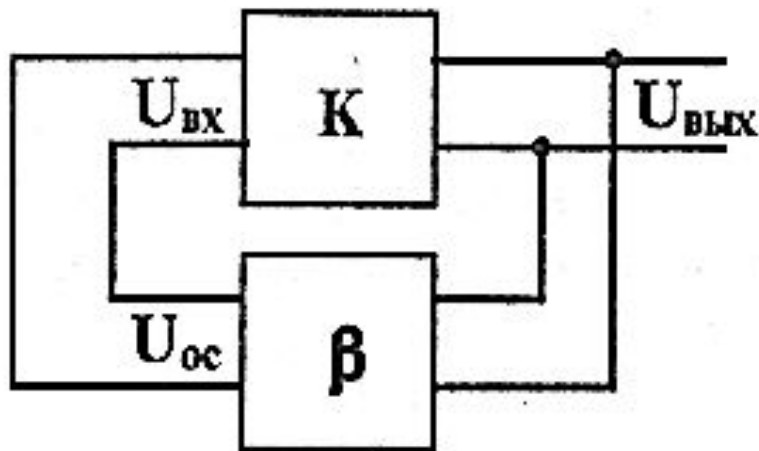
$F_{\delta, \%} U_{\delta, \%}$, например $F_{0,1} U_{0,5}$

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
 β -комплексный коэффициент передачи по напряжению

$$U_{ос} = U_{вх} = \beta U_{вых}$$

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



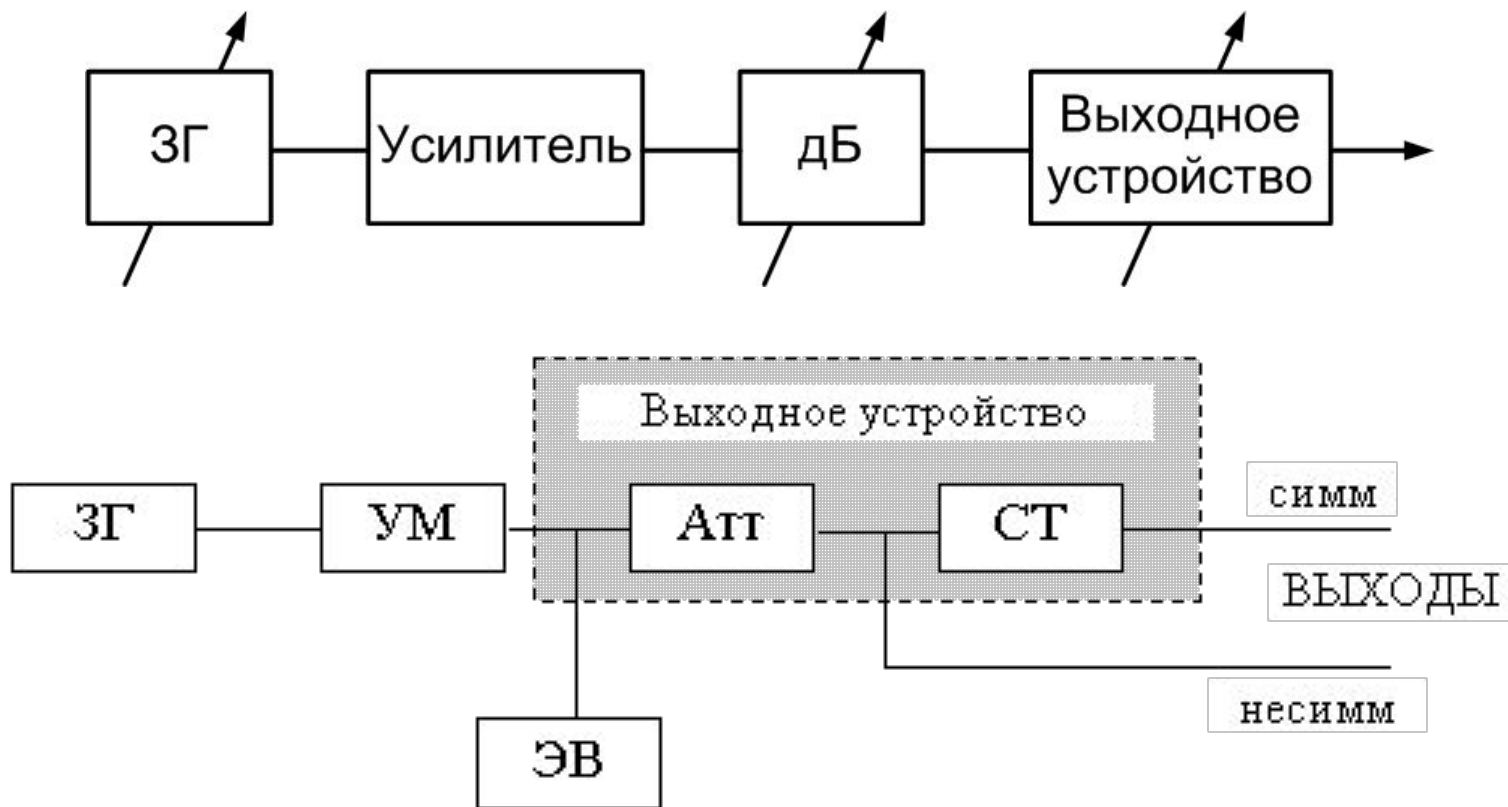
Условие работы генератора в стационарном режиме

$$K\beta = 1$$

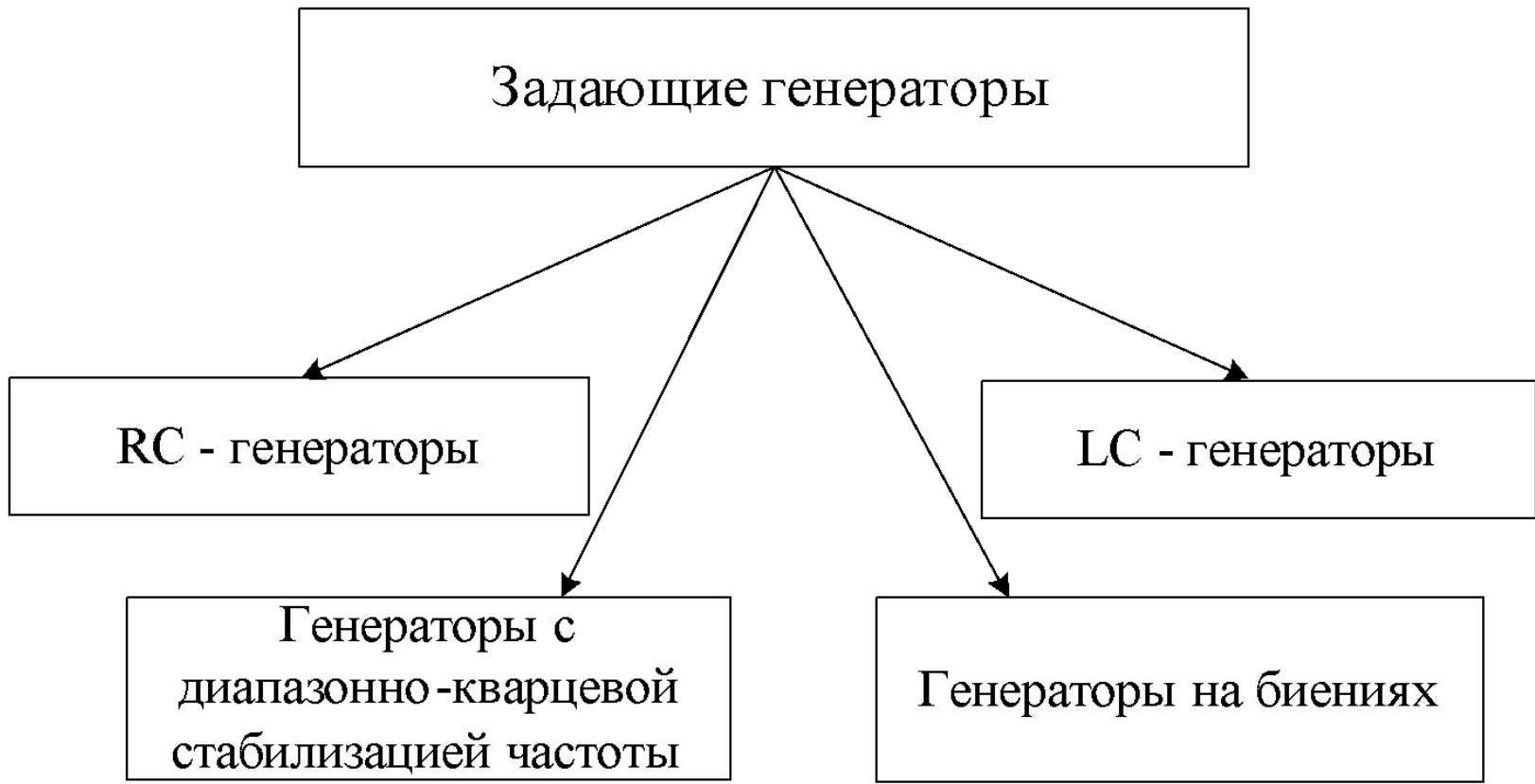
Состав любого генератора, независимо от назначения, принципа действия и схемотехнического выполнения:

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

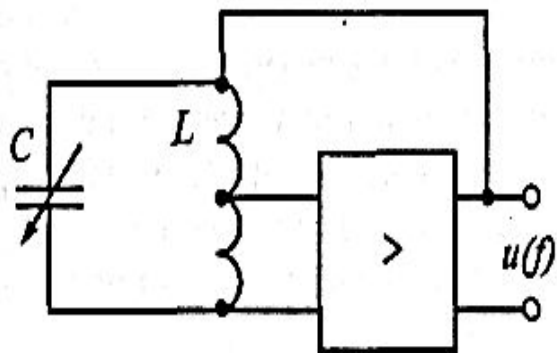
Измерительные генераторы сигналов низких и высоких частот



Обобщенная структурная схема измерительного генератора НЧ-1



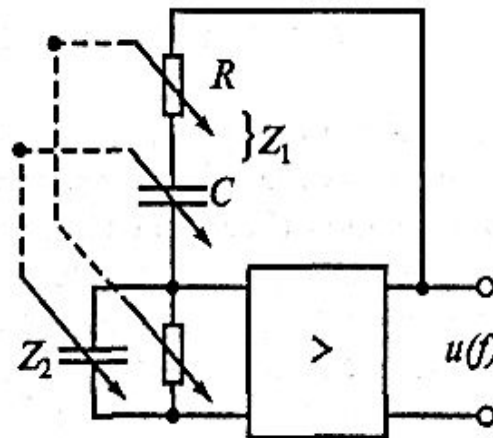
Обобщенная классификация ЗГ



Упрощенная структурная схема LC-генератора

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

Частота LC-контура



Упрощенная структурная схема RC-генератора

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

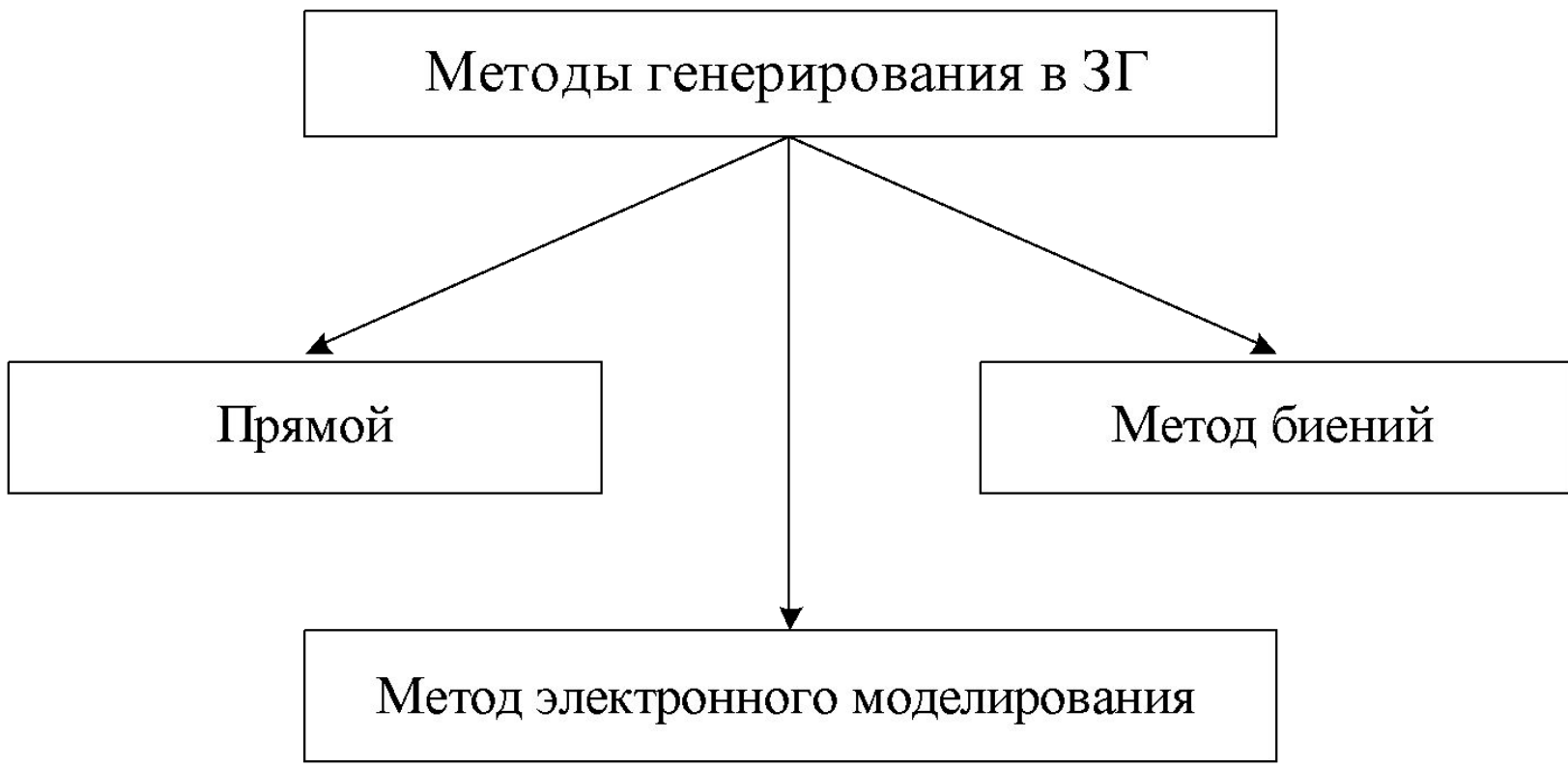
Частота RC-контура



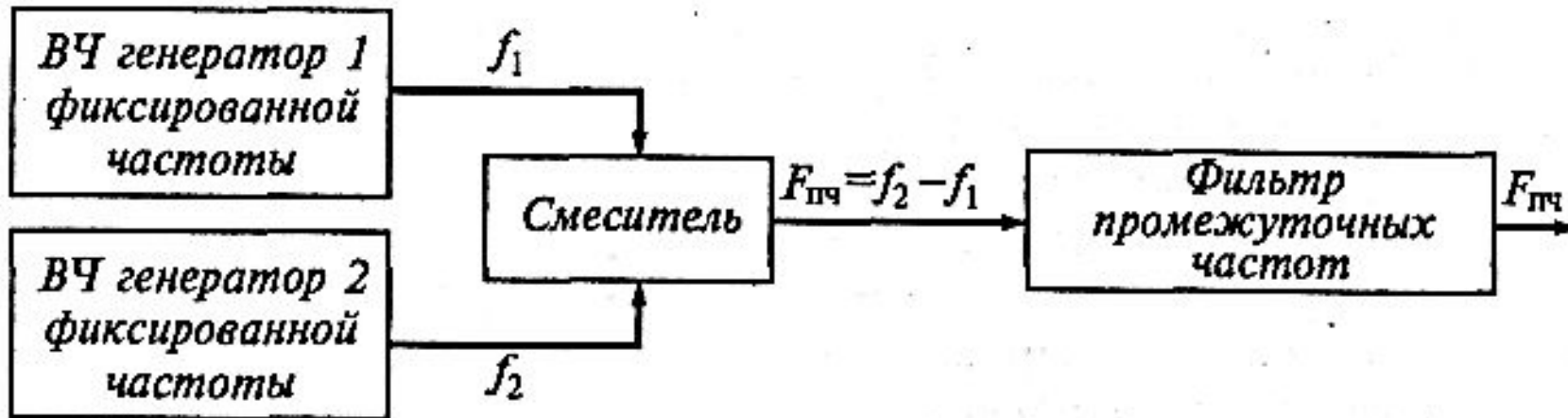
2. Измерительные генераторы сигналов низких частот



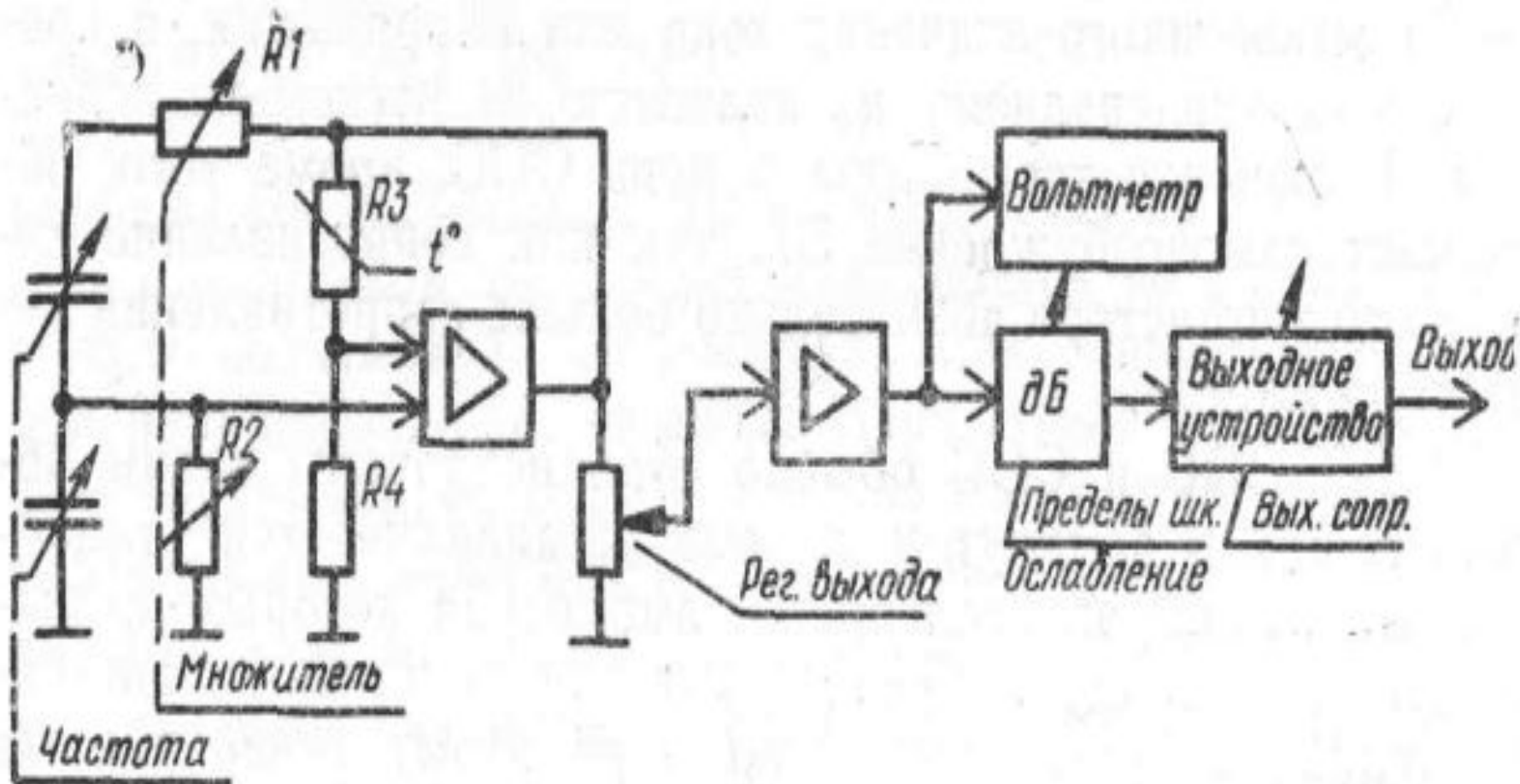
Генератор ГЗ-109



Методы генерирования в ЗГ



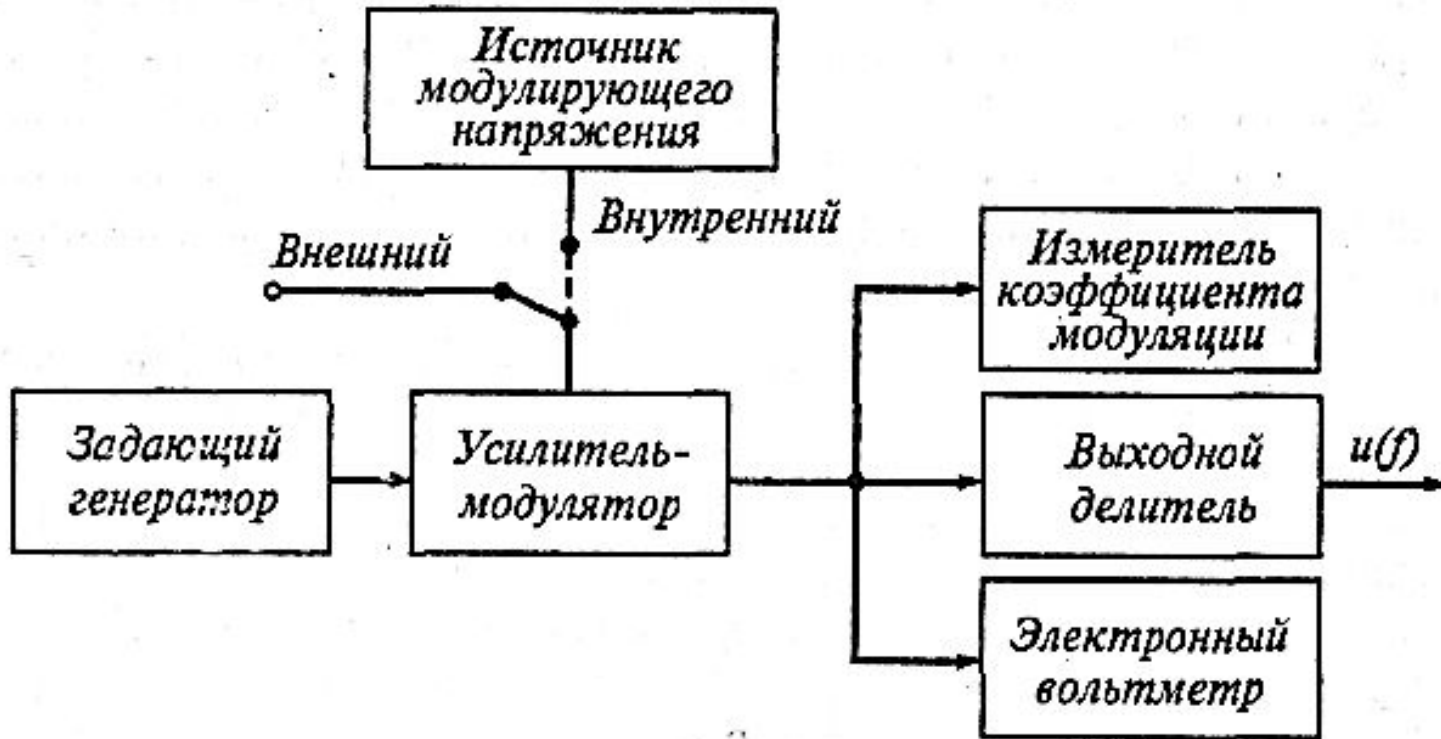
Структурная схема генератора на биениях



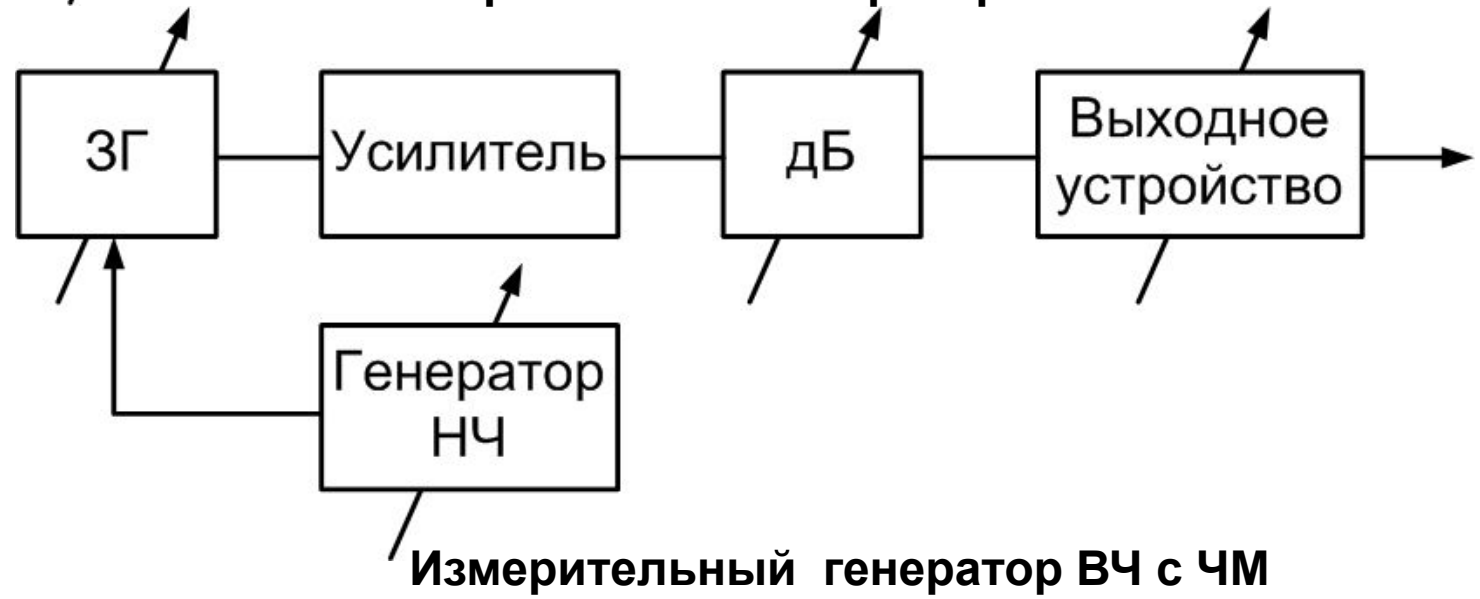
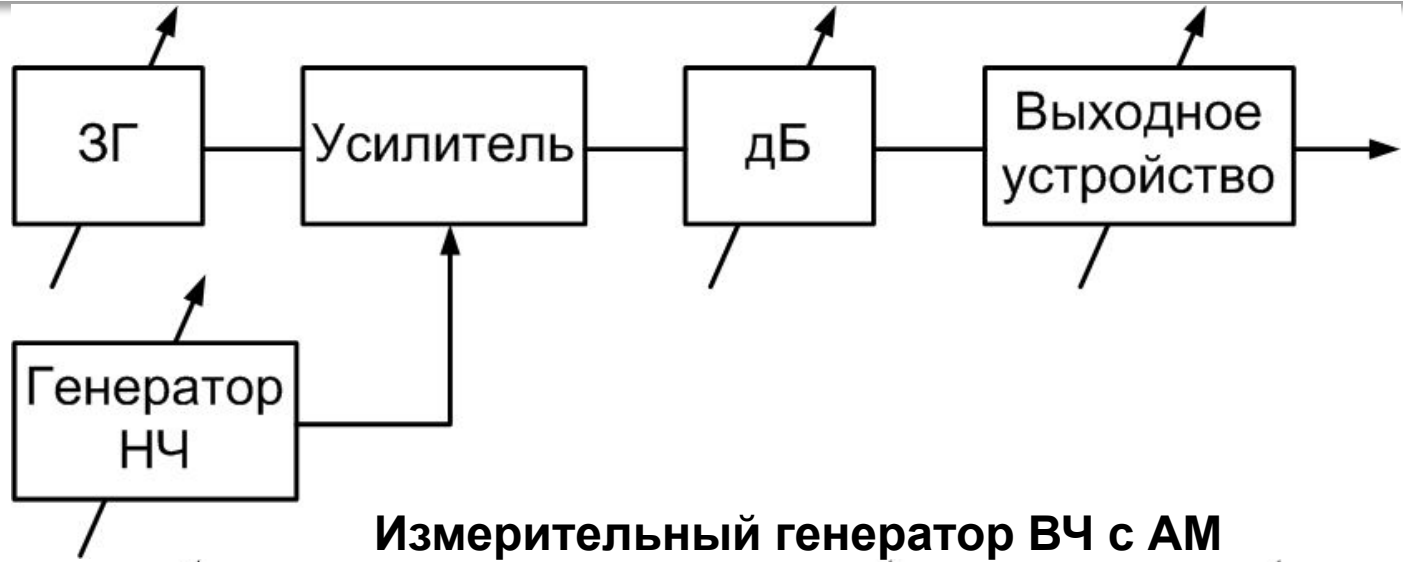
Обобщенная схема ИГ НЧ с задающим RC-генератором

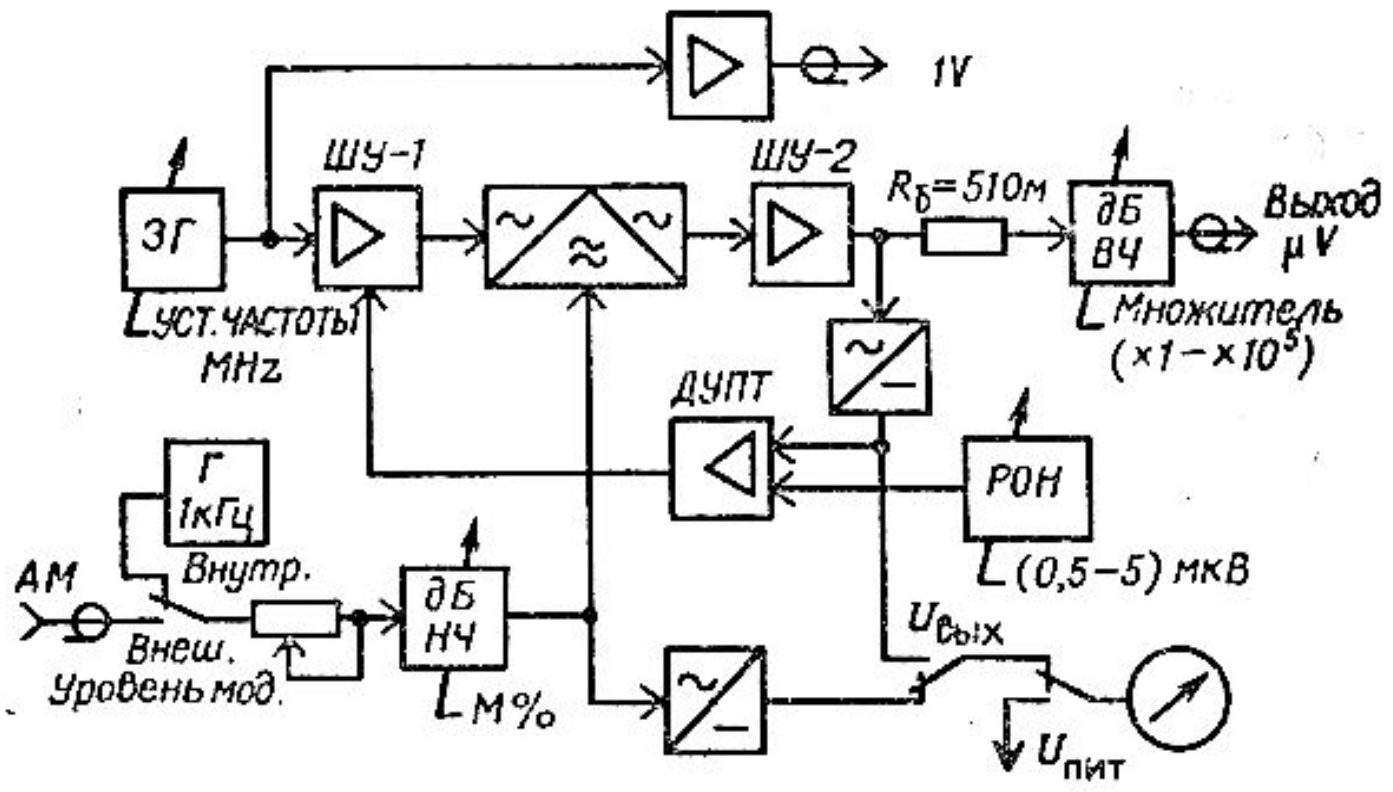


Генератор Г4-158



Структурная схема аналогового ИГ ВЧ





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.):

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

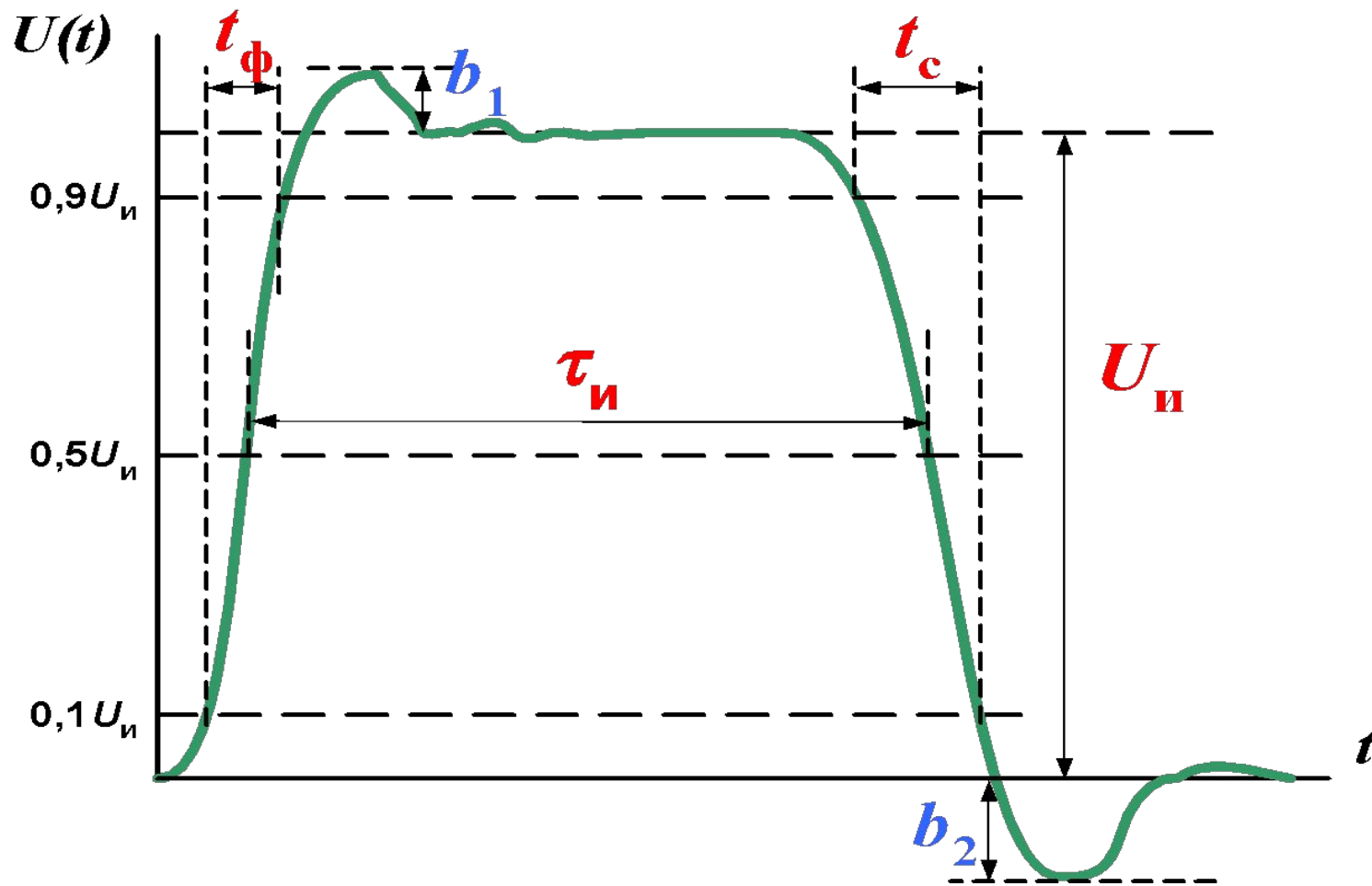
где γ – класс точности в относительных единицах;
 C_x – систематическая составляющая погрешности, обусловленная качеством изготовления прибора



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 τ);
- 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, τ).



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

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

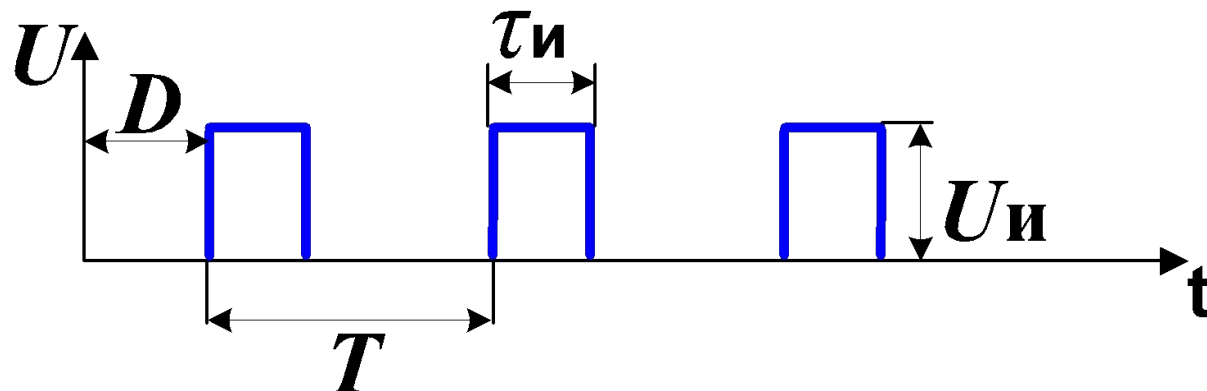


**Система параметров,
характеризующая диапазоны изменения
соответствующих основных параметров к
погрешностям их установки:**

- ▶ 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;

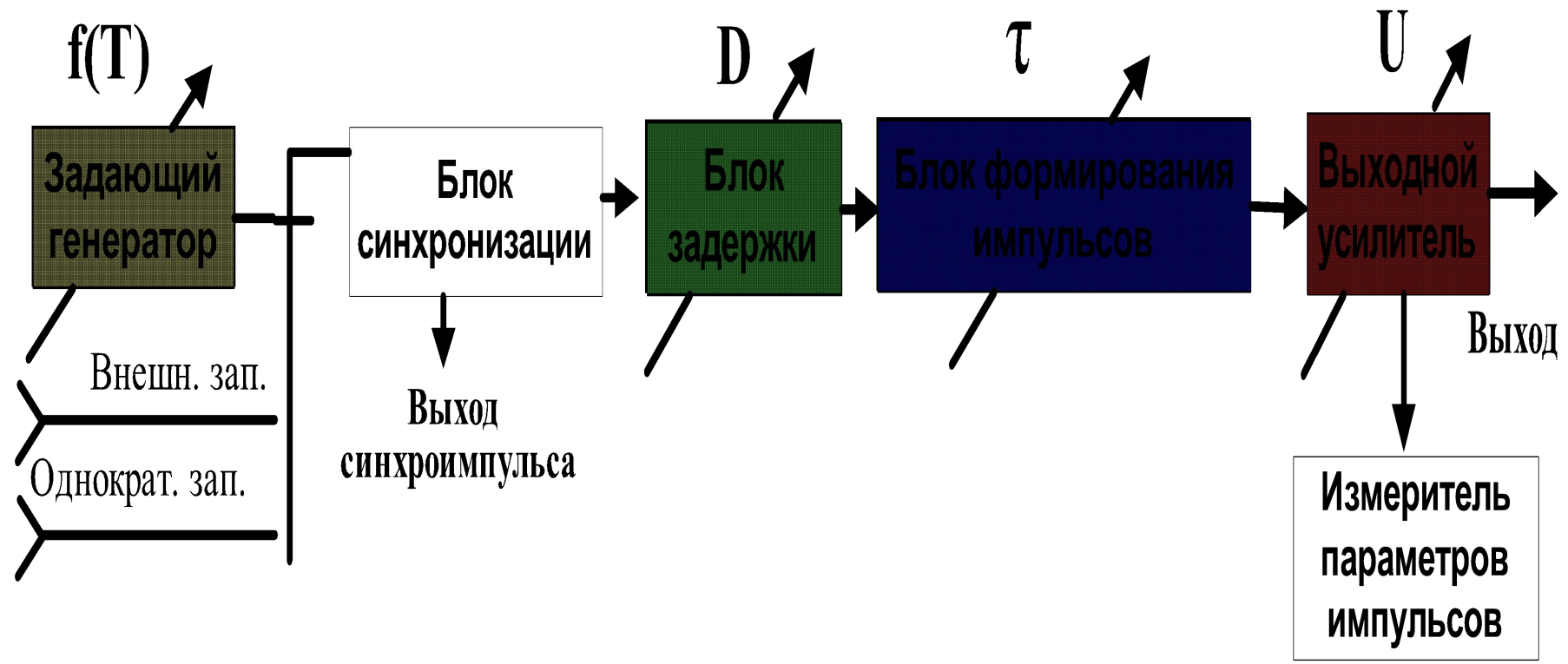
$U_{и}$ - высота импульсов;

$t_{и}$ - длительность импульсов;

D - временной сдвиг основного импульса относительно синхроимпульса

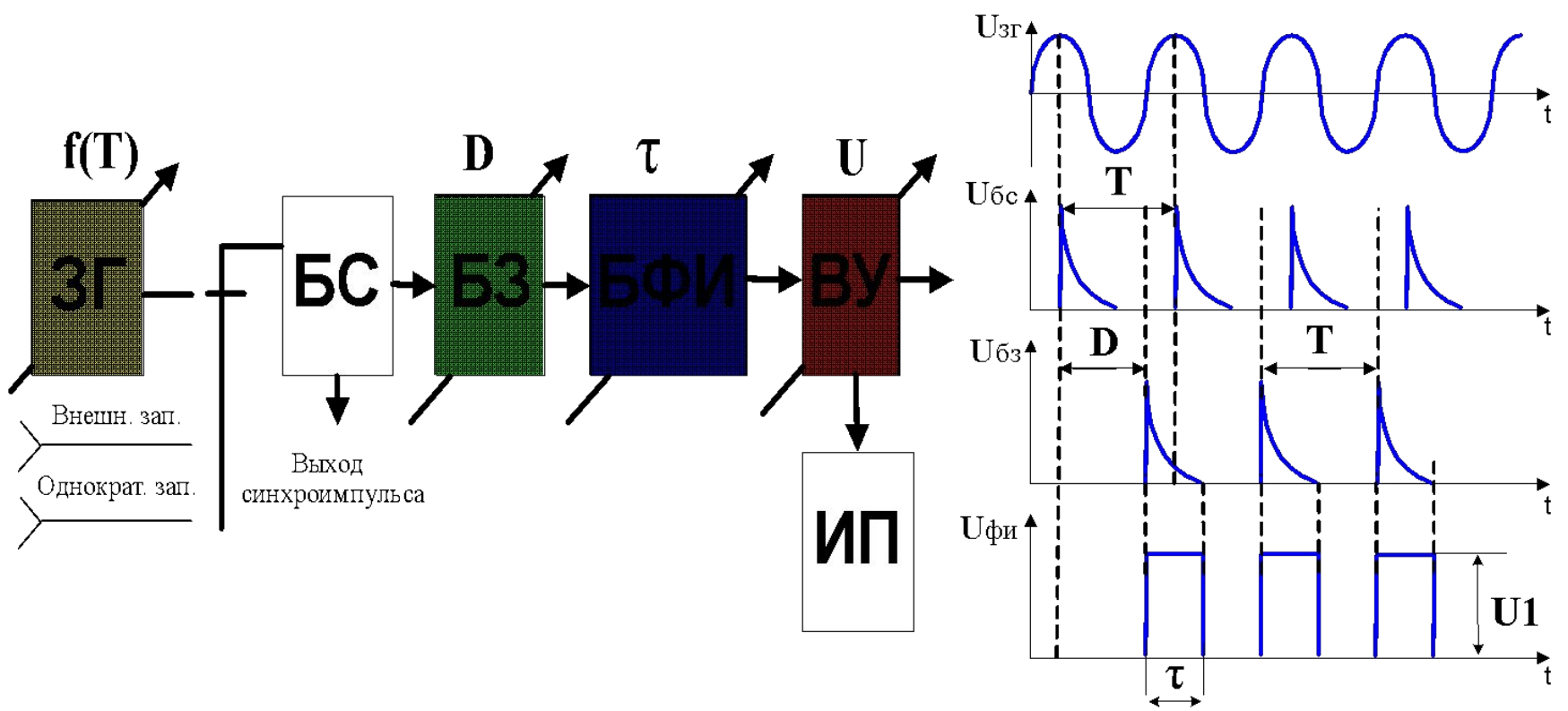


Структурная схема ИГИ



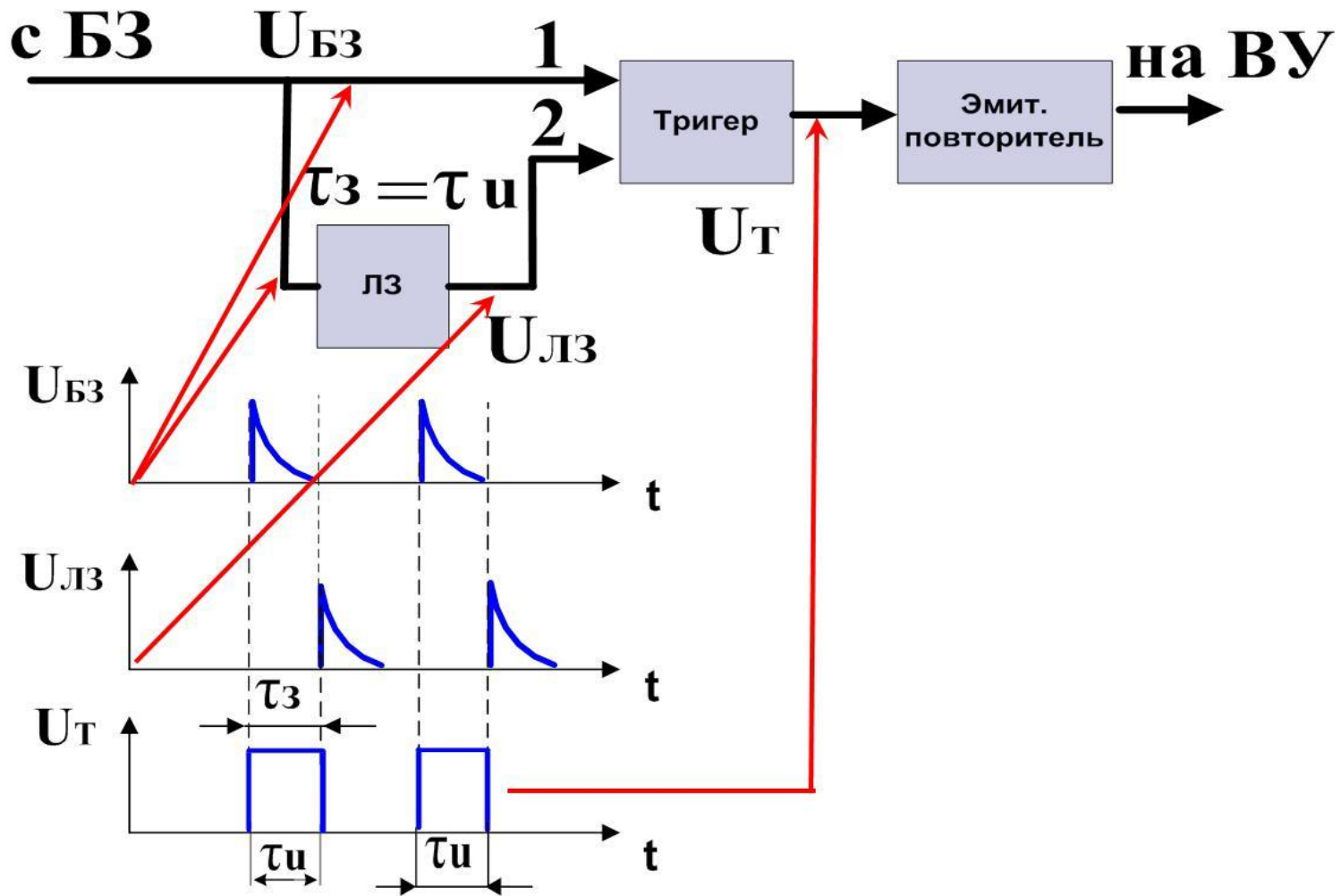


Функционирование ГИ



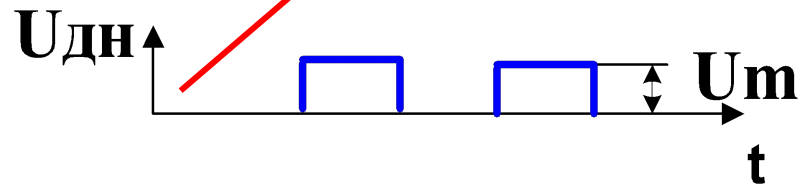
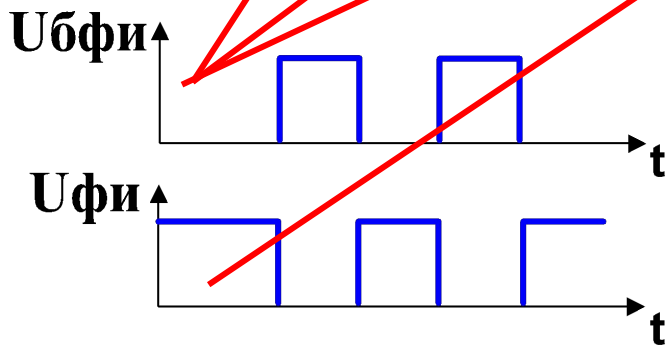
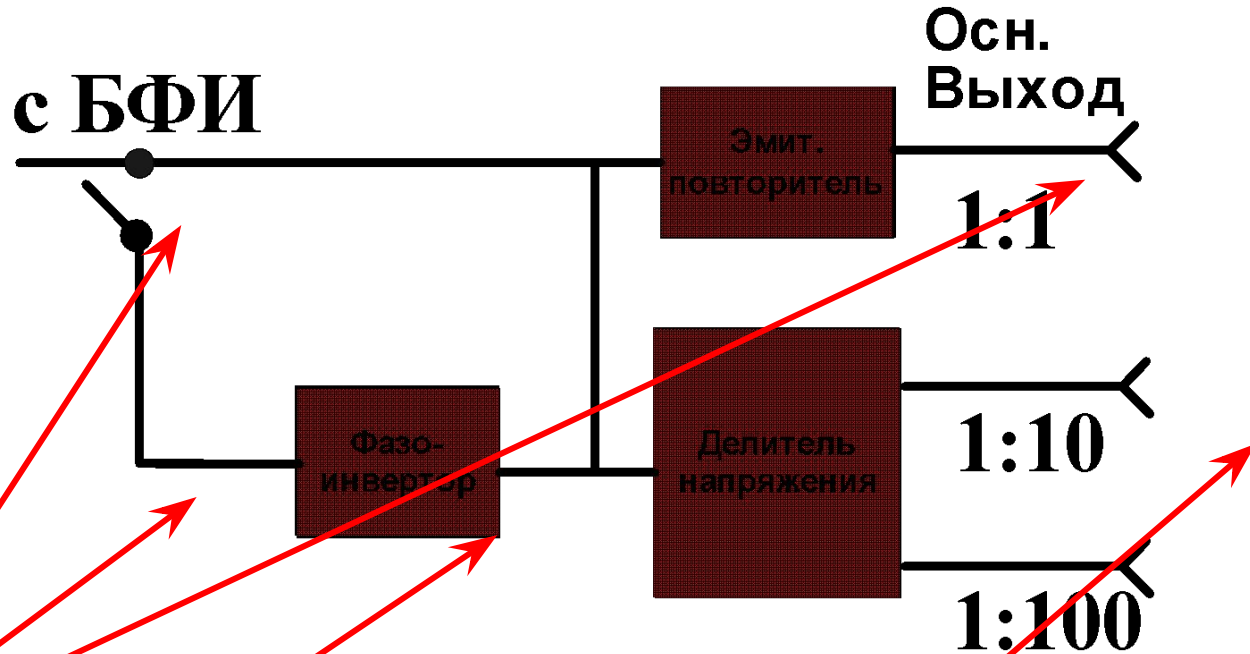


Принцип формирования импульса в БФИ





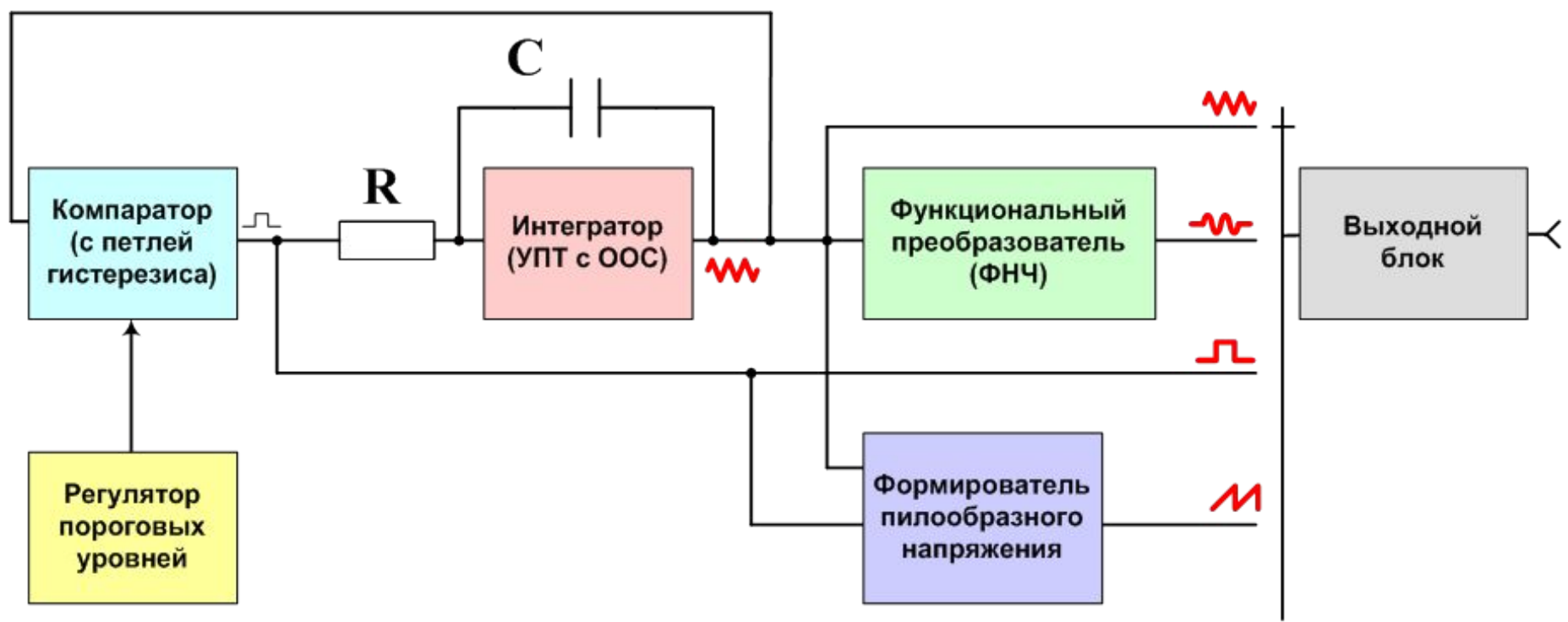
Выходной усилитель





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 $U_{уст} = 12\text{В}$; $U_{д} = 12,2\text{В}$; $U_{max} = 15\text{В}$.



Конец занятия