



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

www.sfu-kras.ru

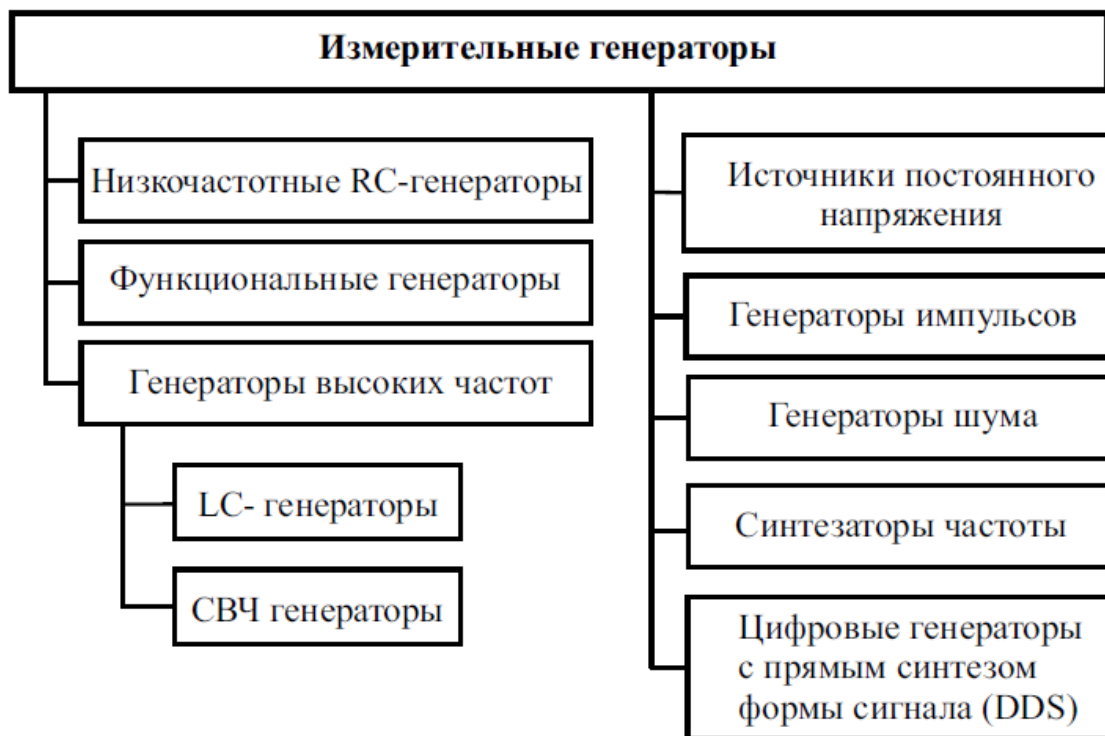
Метрология и радиоизмерения. Лекция 11

Измерительные генераторы



Принципы построения измерительных генераторов

Измерительные генераторы – источники образцовых (тестовых) сигналов. Они отличаются возможностью установки формы и параметров выходных сигналов с заданной точностью (нормируемыми метрологическими характеристиками).



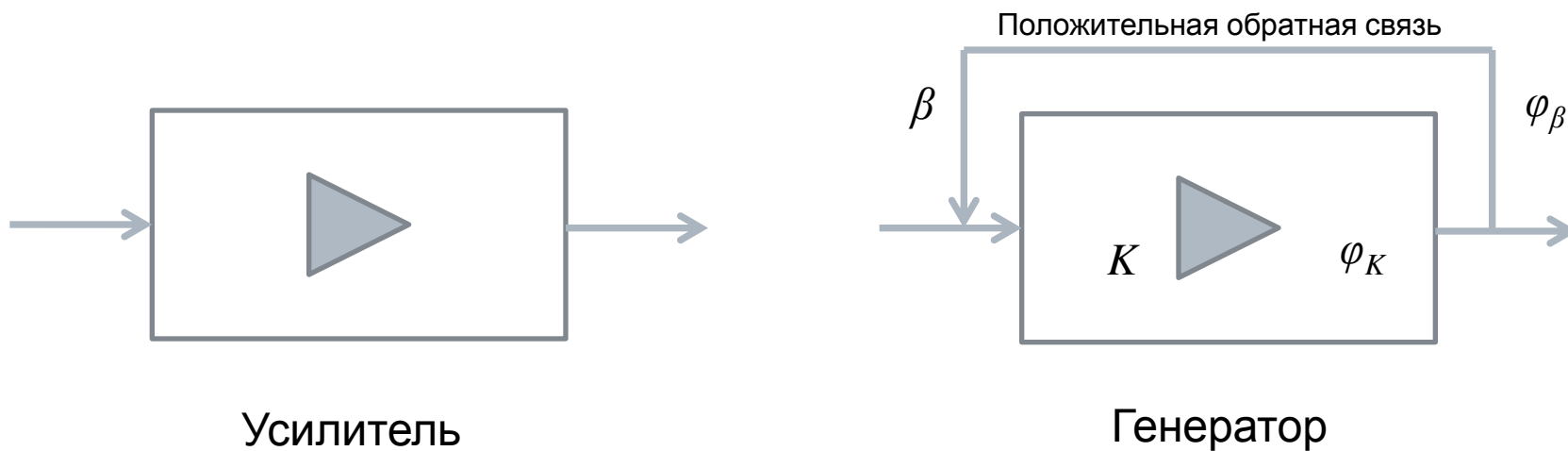
Классификация измерительных генераторов

Классификация измерительных генераторов

Согласно ГОСТ 15069–86 генераторы делят по функциональному назначению на подгруппы:

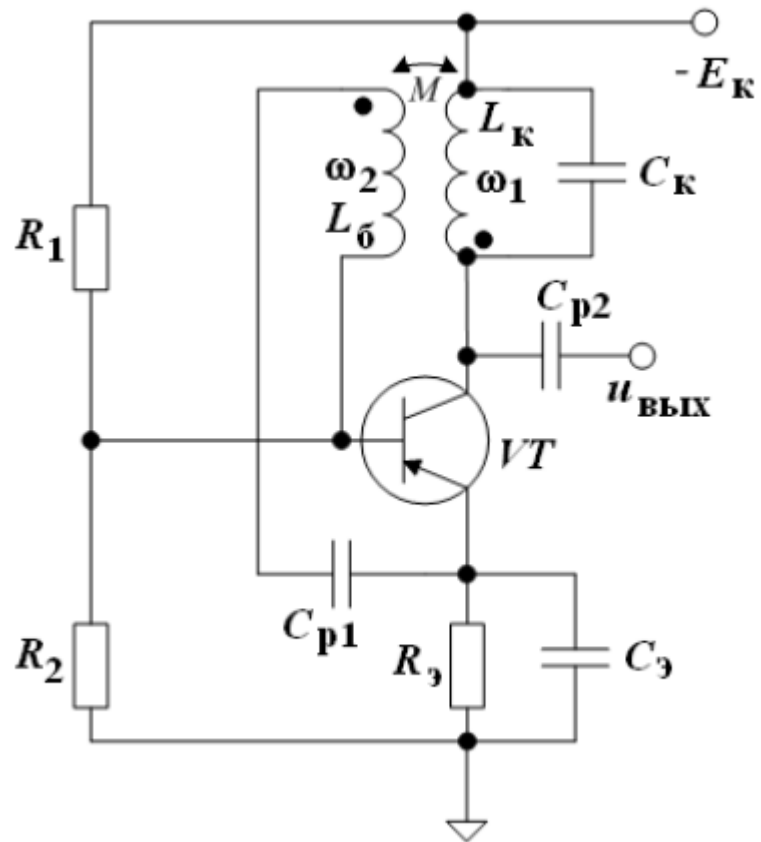
1. Низкочастотные генераторы сигналов (подгруппа Г3) – источники гармонических (синусоидальных) колебаний низких частот (от десятков герц до сотен кГц...единиц МГц);
2. Высокочастотные генераторы сигналов (Г4) – приборы, вырабатывающие гармонические модулированные и немодулированные колебания высоких и сверхвысоких частот (от 0,1 МГц до десятков гигагерц);
3. Генераторы импульсов (Г5) – источники одиночных или периодических видеоимпульсов, обычно прямоугольной формы.
4. Генераторы сигналов специальной формы (Г6). Это функциональные генераторы низких и инфранизких частот, генераторы колоколообразных импульсов. Сюда же относят синтезаторы частоты, которые строятся на основе деления и умножения частоты опорного высокостабильного генератора.
5. Генераторы сигналов случайной формы с нормируемыми статистическими параметрами (шумовые генераторы – Г2).

Обобщенная схема генератора

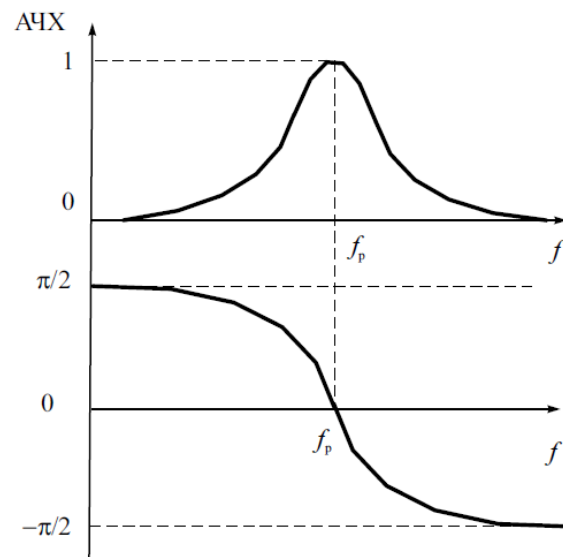


$$K \cdot \beta = 1$$
$$\varphi_K + \varphi_\beta = 2\pi n$$

Обобщенная схема генератора



$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_к C_к}}$$



АЧХ и ФЧХ частотозадющего контура автогенератора

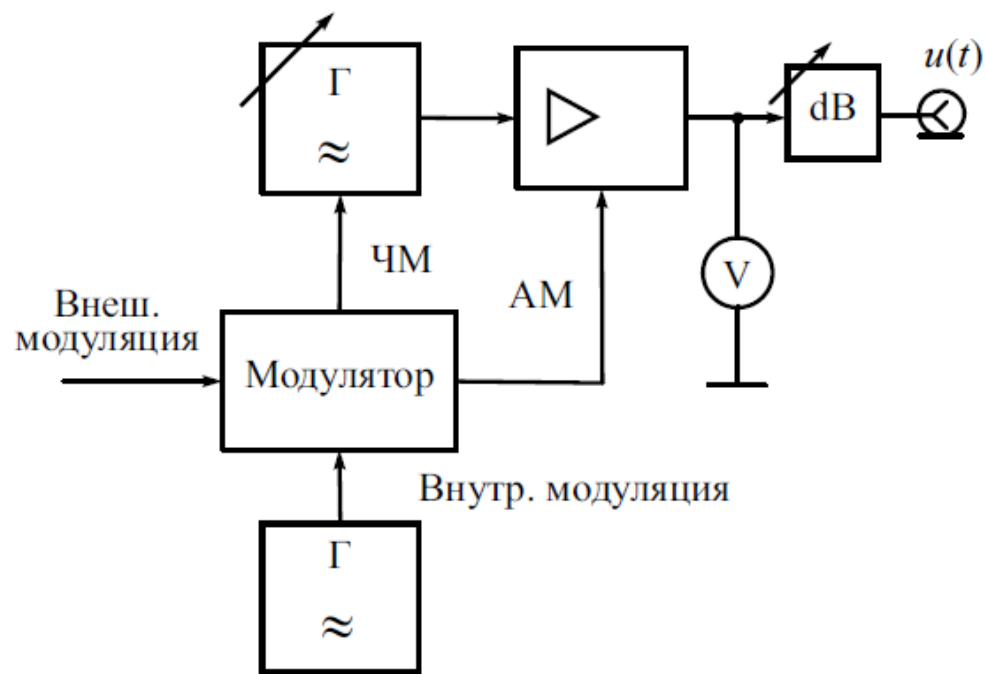
Частотнозадающие элементы генераторов

В задающих генераторах ВЧ в цепи ПОС используют высокодобротные LC-контура с переключаемыми катушками индуктивности (для смены диапазона частот) и плавной перестройкой переменным конденсатором.

На низких частотах габариты и параметры L и C элементов становятся неприемлемыми. Увеличивается активное сопротивление потерь, растет влияние температуры на индуктивность катушки. Это не позволяет получить высокую добротность LC-контура и, следовательно, стабильность частоты генератора. Поэтому на низких частотах используют фазосдвигающие цепи ПОС в виде RC-цепей различного вида.

Для создания образцовых генераторов (эталонов и мер частоты) в качестве частотозадающего контура в цепи ПОС используют пьезоэлектрический резонатор в виде пластины кварца с металлизированными поверхностями.

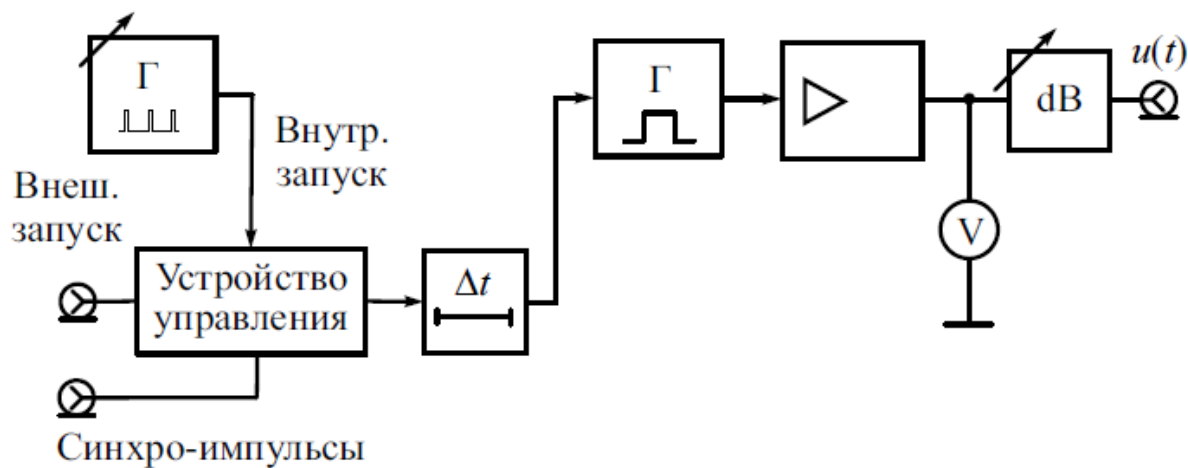
Схема ВЧ генератора



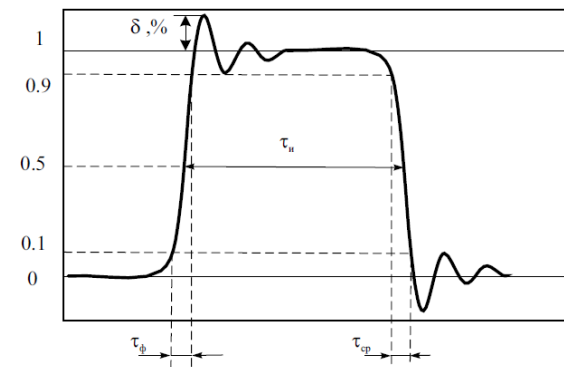
Обобщенная структурная схема генератора ВЧ

Генераторы импульсов

Генераторы импульсов общего применения предназначены, как правило, для получения видеоимпульсов прямоугольной формы. Они используются при исследовании импульсных и цифровых устройств, измерении переходных характеристик и пр.



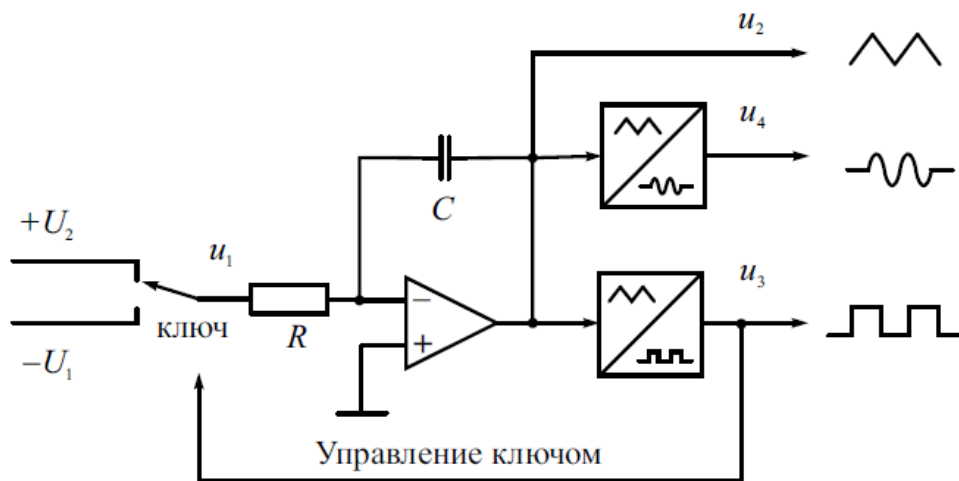
Обобщенная структурная схема импульсного генератора



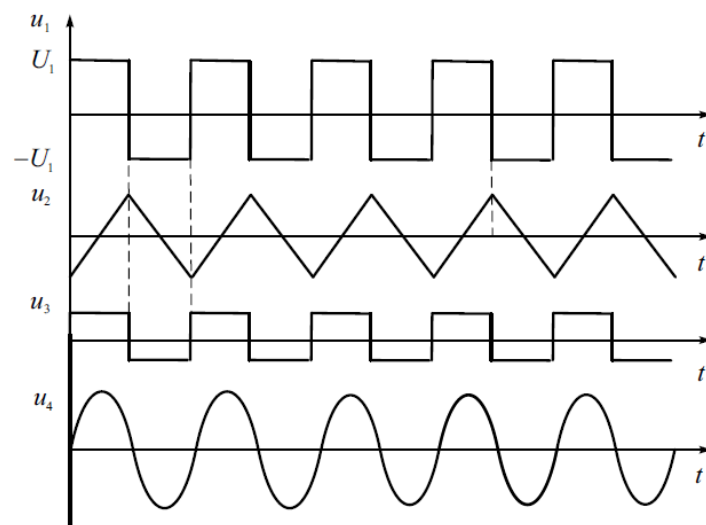
Осциллограмма реального импульса с выбросами

Функциональные генераторы

Функциональные генераторы – это источники сигналов нескольких стандартных форм (синус, меандр, треугольник и др.) одинаковой частоты. Частота сигналов функционального измерительного генератора может регулироваться в широком диапазоне – от долей Гц до единиц МГц и ограничена сверху частотными свойствами применяемых операционных усилителей.



Структурная схема задающего блока функционального генератора

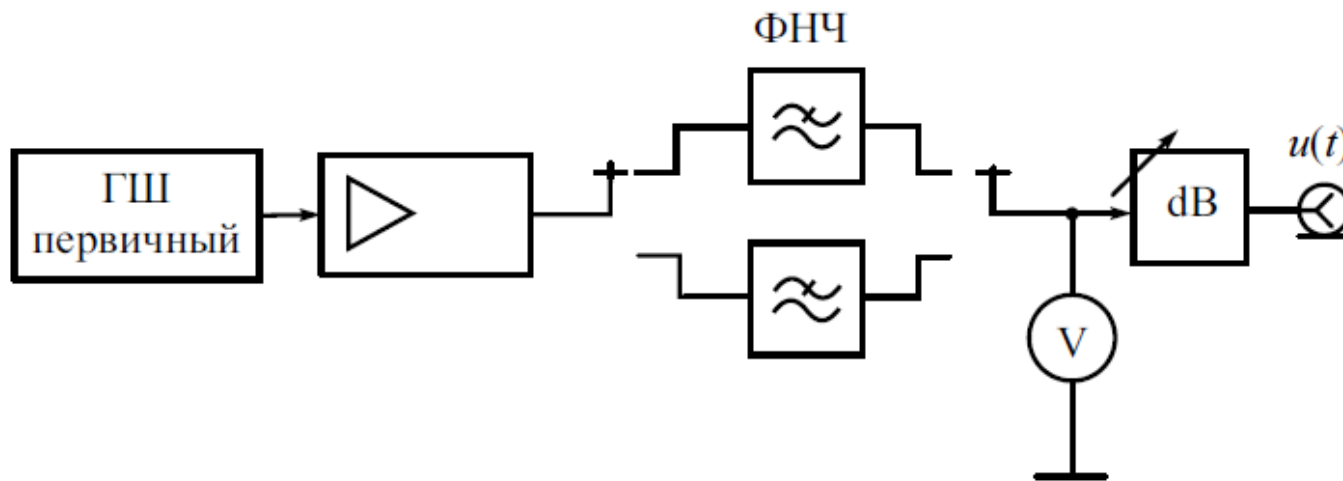


Диаграммы напряжений функционального генератора

Генераторы шума

Генераторы шумовых сигналов (или генераторы шума – ГШ) вырабатывают случайные сигналы с нормированными статистическими параметрами. Такие сигналы имеют ряд полезных свойств:

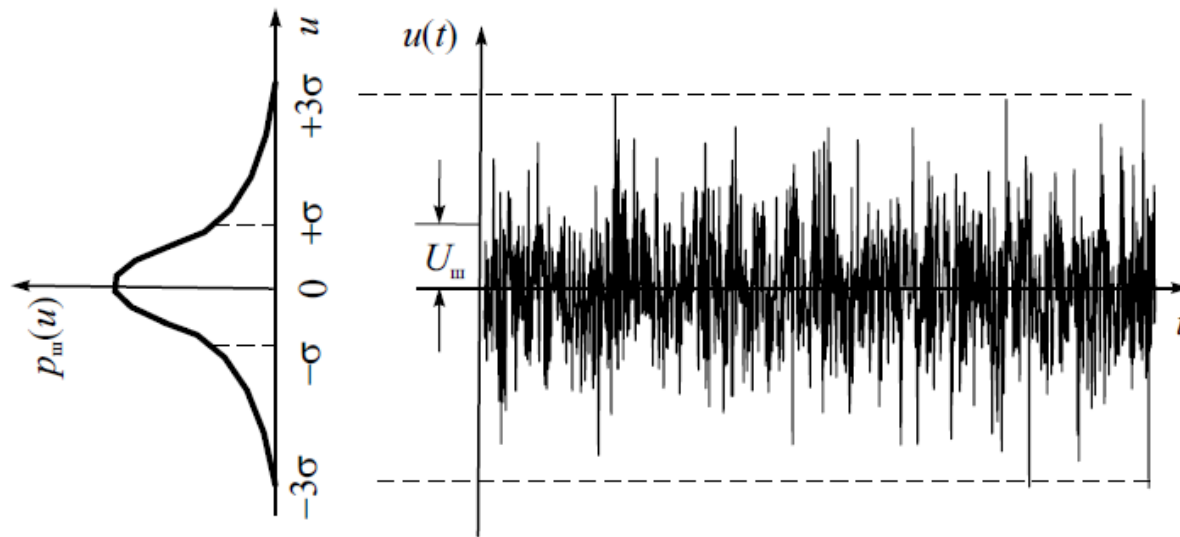
- выходное напряжение ГШ близко по структуре к реальным сигналам исследуемых радиоэлектронных устройствах;
- спектральная характеристика шумового сигнала может быть равномерна в широком диапазоне частот;
- сигнал ГШ позволяет оценить влияние на исследуемое устройство внутренних и внешних случайных помех.



Структурная схема измерительного генератора шума

Генераторы шума

Как правило, первичный источник вырабатывает сигналы, имитирующие белый шум с нормальным распределением. При необходимости другие законы распределения получают функциональным преобразователем (усилителем с нелинейной амплитудной характеристикой).



Осциллограмма широкополосного шума с законом распределения Гаусса

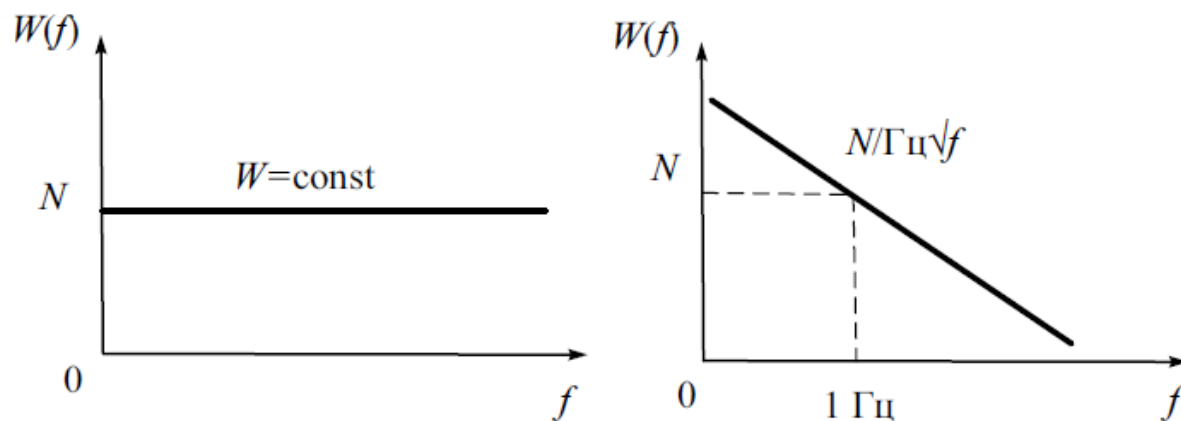
Первичные источники шума

Нагретый проволочный резистор – самый широкополосный источник шума. Используют термостатированные проволочные катушки из вольфрама, а также болометрические датчики мощности (вакуумный стеклянный баллон с тонкой вольфрамовой нитью). Спектральная плотность мощности шума (СПМШ) резистора на согласованной нагрузке при комнатной температуре $T_0 = 290^\circ\text{K}$ равна $S(f) = kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$ Вт/Гц (-174 дБм/Гц).

Вакуумные шумовые диоды. В них для получения шумового напряжения используется явление дробового эффекта – неравномерного во времени вылета электронов с поверхности накаливаемого катода. $S(f) = (12 \dots 50) kT_0$.

Полупроводниковые шумовые диоды. Полупроводниковый шумовой диод – это стабилитрон, который работает в начальном участке лавинного пробоя при малом обратном токе. В этом режиме процесс ударной ионизации оказывается неустойчивым. Ионизация возникает, срывается, возникает вновь в тех местах перехода, где в данный момент возникает достаточная напряженность электрического поля.

Виды шума



Спектральная плотность мощности шума:
 a – «белого», b – «розового»

Синтезаторы частоты

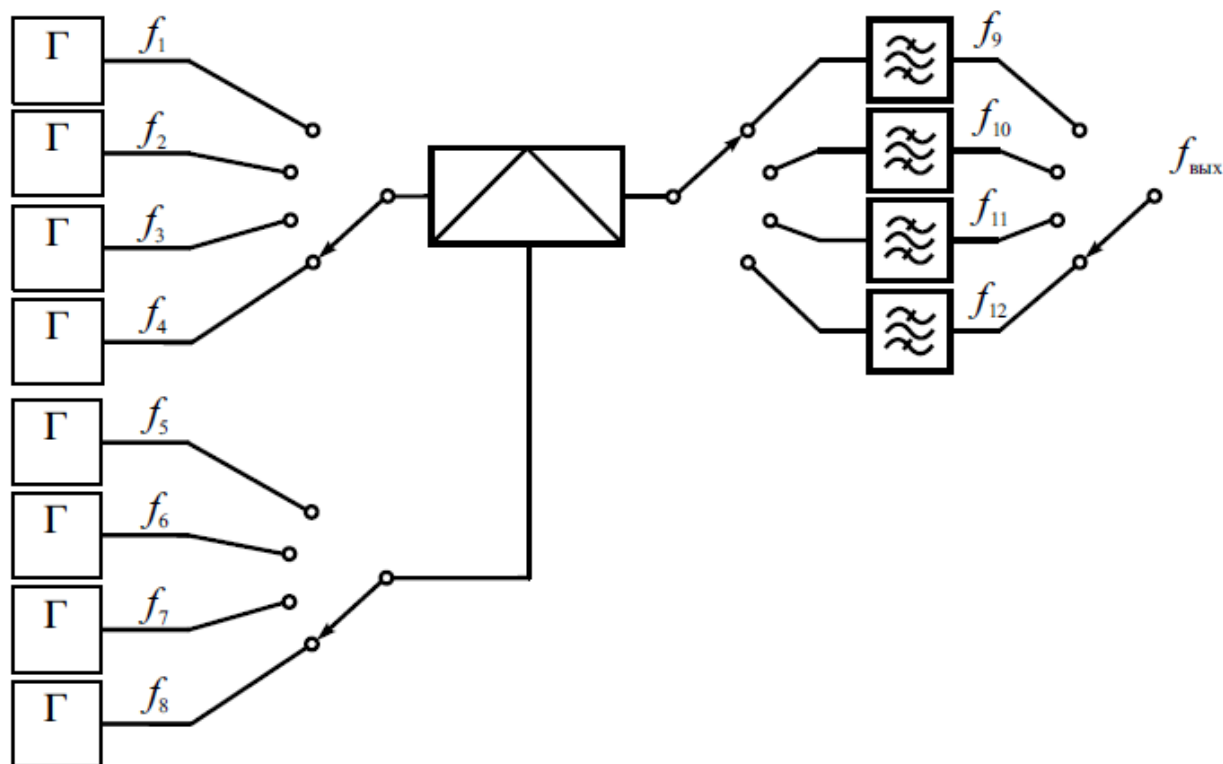
Синтезаторами частоты в измерительной технике называют генераторы гармонических напряжений с дискретной перестройкой частоты и стабильностью частоты, равной стабильности лучших кварцевых генераторов. Они обеспечивают хорошую синусоидальную форму сигнала, его спектральную «чистоту», высокую точность установки и возможность программной перестройки частоты.

Синтезаторы позволяют получать напряжения фиксированных частот (сетку частот) с дискретностью до сотых долей герц. По точности установки и стабильности частоты синтезаторы превосходят обычные измерительные генераторы с плавной перестройкой частоты.

Различают несколько способов построения синтезаторов частоты:

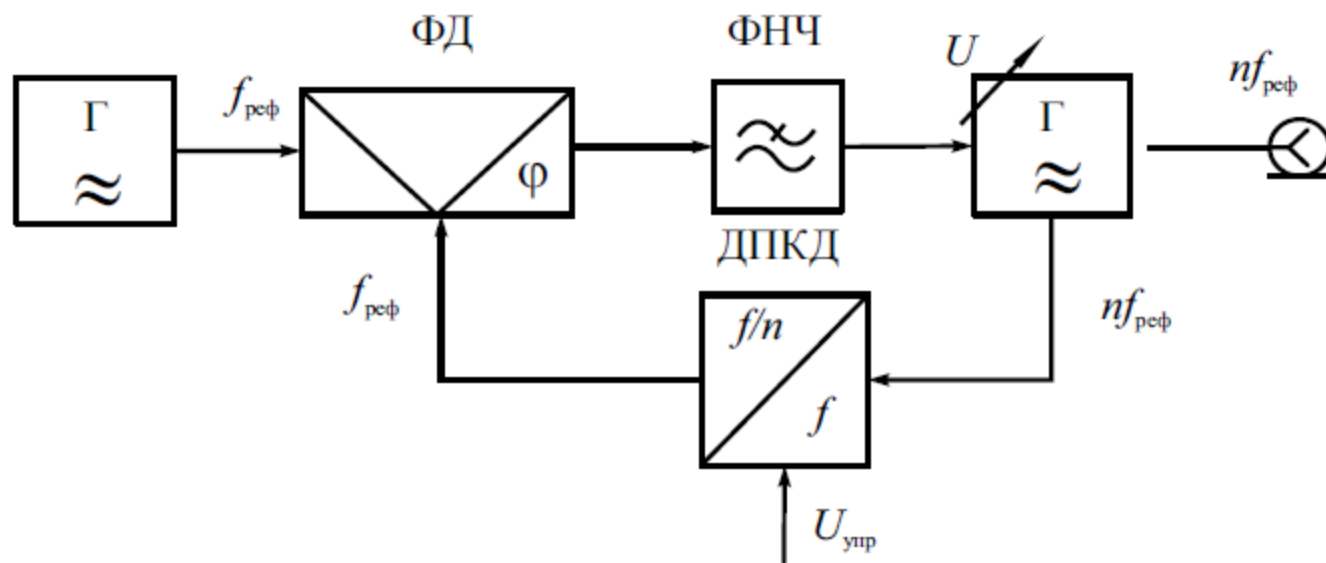
- синтезаторы с прямым аналоговым синтезом частоты (Direct Analog Synthesizers);
- синтезаторы с косвенным синтезом частоты (Indirect Synthesizers) или синтезаторы с ФАПЧ;
- синтезаторы с прямым цифровым синтезом (DDS – Direct Digital Synthesizers).

Синтезаторы с прямым аналоговым синтезом частоты



Структурная схема синтезатора с прямым аналоговым методом формирования частоты

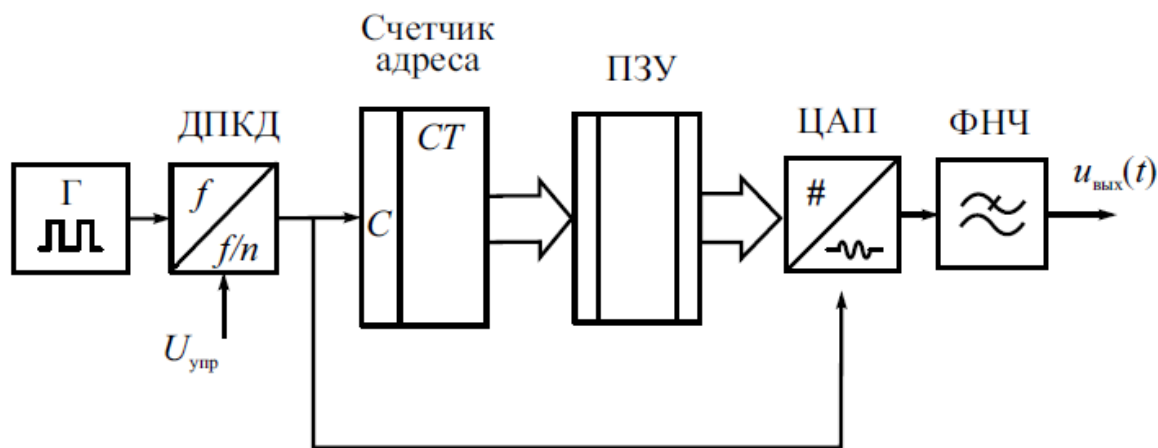
Синтезаторы с косвенным синтезом частоты



Структурная схема цифрового синтезатора с ФАПЧ

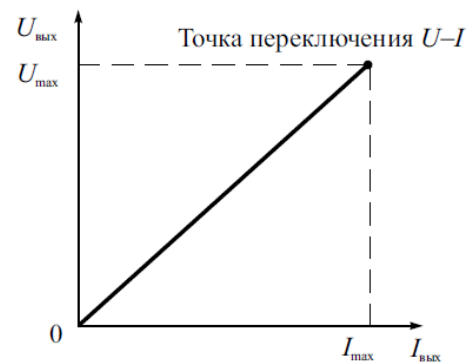
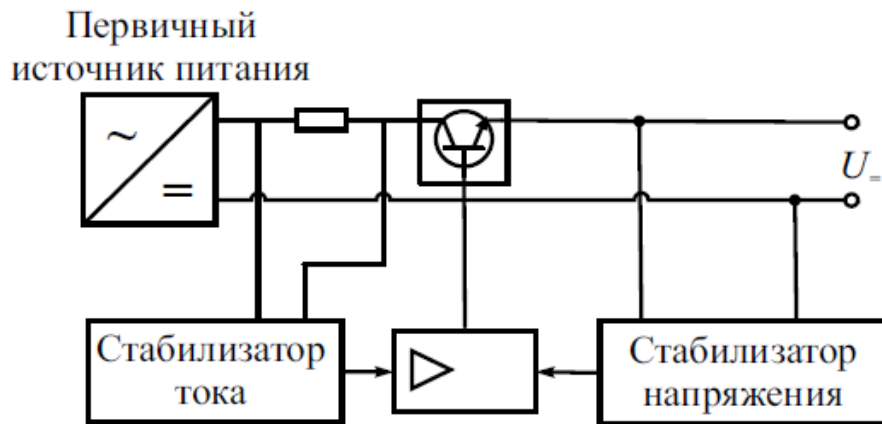
Измерительные генераторы на основе прямого цифрового синтеза сигналов

Принцип работы DDS генераторов – получение потока цифровых кодов, описывающих требуемую форму сигнала. Далее эти коды с помощью высокоскоростного ЦАП преобразуются в аналоговый образ синтезированного выходного сигнала.



Простейший вариант реализации DDS с двоичным счетчиком

Измерительные источники постоянного напряжения



Вольт-амперная характеристика источника с автоматическим переключением режимов «напряжение-ток»