

УДК 621.37

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ СВЧ ДИАПАЗОНА

Лисов Д.А., аспирант; Булавко Д.Г., аспирант

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Гусинский А.В. – канд. техн. наук

**Аннотация.** В докладе рассматривается структурная схема, принцип работы и параметры многофункционального генератора сложных измерительных и радиолокационных сигналов сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона.

**Ключевые слова.** Векторный генератор, СВЧ, структурная схема, параметры.

### Введение

При настройке и тестировании оборудования различных широкополосных систем связи, радиолокационных и радионавигационных систем, цифровых приемников и других радиоэлектронных средств используются сложные испытательные сигналы. Непосредственная генерация сложных сигналов с цифровой модуляцией в СВЧ диапазоне труднореализуема и требует больших затрат. Поэтому для формирования таких сигналов используются так называемые векторные генераторы, которые позволяют формировать сложные испытательные сигналы с различными видами модуляции. Однако выходные сигналы известных векторных генераторов [1, 2] не позволяют имитировать различные ситуации реальной радиолокационной обстановки (наложением на полезные сигналы шумовых сигналов и сигналов с паразитной модуляцией, сигналов с частотой смещения Доплера и других).

В докладе рассматривается структурная схема, принцип работы и параметры многофункционального генератора сложных измерительных и радиолокационных сигналов сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона.

### Структурная схема генератора

Обобщенная структурная схема многофункционального источника сложных измерительных и радиолокационных сигналов от 1 до 20 ГГц представлена на рисунке 1.

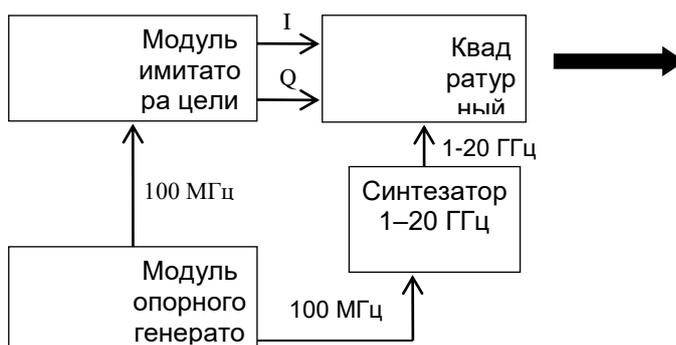


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема генератора

Модуль имитатора цели (МИЦ) структурная схема которого представлена на рисунке 2, предназначен для формирования сигналов сложной формы с различными законами модуляции и наложенными на них помеховых и шумовых составляющих.

Входные сигналы поступают в модуль и подаются через входной буфер в программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС). ПЛИС накапливает данные и производит обработку информации, в результате которой формируется в цифровом виде сложный сигнал.

Тактирование ПЛИС производится кварцевым генератором 100 МГц или внешним тактовым генератором, сигнал которого поступает через буфер тактирования.

Для увеличения скорости обработки данных ПЛИС при сложных вычислениях используется быстродействующая память SRAM на 144 Мб. Управление ПЛИС производится по интерфейсу

SPI. Выходные цифровые сигналы ПЛИС поступают на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) для представления их в аналоговом виде.

Управление МИЦ осуществляется с помощью микропроцессора, который обеспечивает

- управление контроллером Ethernet и RS-485 для обмена данными с внешними устройствами;

- управление ПЛИС с помощью интерфейса SPI;
- диагностику модуля на наличие ошибок;
- контроль готовности модуля к работе;

Тактирование микропроцессора производится с помощью кварцевого генератора 25 МГц. Управление микропроцессором производится по интерфейсу SPI или по интерфейсу USB.

Обмен данными между микропроцессором и ПЛИС осуществляется с помощью 16-ти битной шины.

В МИЦ предусмотрен специальный слот для подключения карты памяти формата MicroSD объемом до 32 ГБ, содержащей специальные данные-сценарии работы модуля.

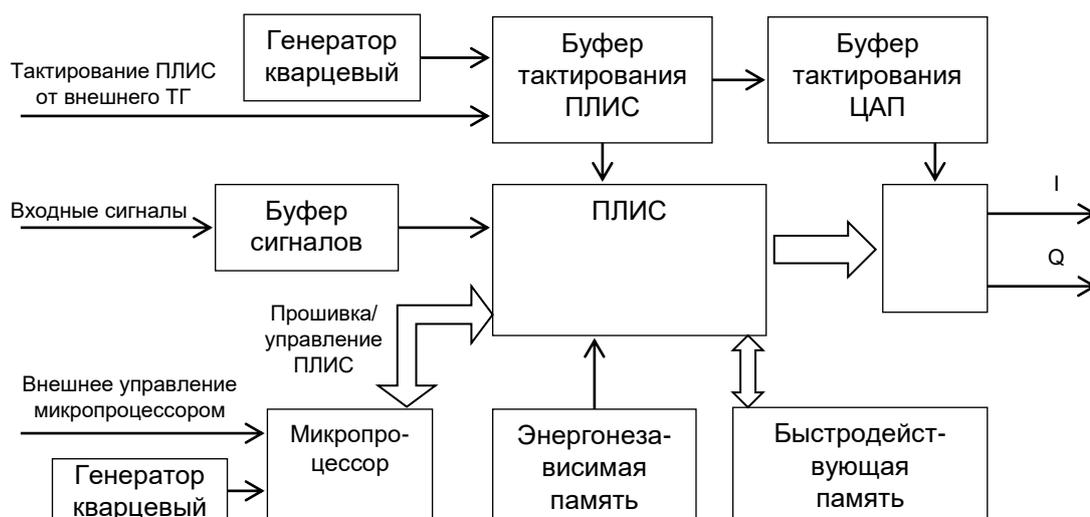


Рисунок 2 – Структурная схема модуля имитатора цели

На выходе ЦАП МИЦ формируются синфазная и квадратурная составляющие аналогового сигнала  $U(t)$  в виде комбинации

$$U(t) = A_1(t)\cos(\omega_0 t) + A_2(t)\sin(\omega_0 t). \quad (1)$$

Первое слагаемое в этом выражении называется синфазной составляющей (или I – составляющей), а второе – квадратурной составляющей (или Q – составляющей). Это разложение лежит в основе квадратурной амплитудной модуляции на основе которой в свою очередь могут создаваться другие сложные виды модуляции.

Модуль имитатора цели может работать в двух режимах:

- циклическом (параметры радиолокационной обстановки до начала сеанса работы загружены в модуль и циклически воспроизводятся);
- динамическом (параметры радиолокационной обстановки в реальном масштабе времени рассчитываются и загружаются в модуль во время работы).

Модуль опорного генератора предназначен для формирования и управления сигналами опорной частоты 100 МГц, с помощью которых обеспечивается синхронизация (тактирование) работы модулей и блоков генератора.

Синтезатор 1–20 ГГц предназначен для формирования стабильных по частоте колебаний в диапазоне частот от 1 до 20 ГГц и выполняет функции гетеродина для модулятора. Для обеспечения стабильности частоты в синтезаторе применяется фазовая автоподстройка частоты.

Модуль может работать как от внутреннего, так и от внешнего источника опорной частоты 100 МГц.

В квадратурном модуляторе (I/Q смесителе) [3] несущий СВЧ сигнал модулируется сигналами I и Q, затем сигналы складываются вместе и образуют модулированный сигнал РЧ.

I/Q смесители обеспечивают хорошее подавление несущей СВЧ и паразитной боковой полосы, образующейся при смешении сигналов. Как и в обычных смесителях, частота сигнала РЧ равна сумме частоты СВЧ и промежуточной частоты ПЧ (то есть частоты I/Q сигналов). Если используется сдвиг частоты модулирующих сигналов, в спектре РЧ присутствует полезный сигнал

со сдвигом относительно остаточного пика сигнала СВЧ и сильно подавленный сигнал боковой полосы на зеркальной частоте.

Главным преимуществом I/Q смесителей является то, что они подавляют паразитный сигнал боковой полосы, это означает, что смесители работают как смесители с одной боковой полосой. Поэтому не требуется дополнительной фильтрации сигнала РЧ, так как несущая СВЧ и боковая полоса сильно подавляются самим смесителем, обычно на 30 – 40 дБ, в зависимости от частотного диапазона РЧ. Кроме того, I/Q смесители работают непосредственно с модулирующими сигналами. Следовательно, нет необходимости в генераторе векторных сигналов, достаточно генератора модулирующих сигналов для формирования входных I/Q сигналов.

Такое построение генератора позволяет реализовывать широкие функциональные возможности.

На выходе генератора могут быть сформированы: немодулированные импульсные сигналы, импульсы с линейно и нелинейно-частотной модуляцией, а также квадратурной фазовой манипуляцией; мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов; сигналы со сложными законами модуляции.

В генераторе имеется возможность имитации эхо-сигналов целей с различными амплитудами, фазами и частотами смещения Доплера. К полезным сигналам возможно добавление мешающих отражений и активных шумовых помех с различными законами распределения и различными параметрами.

Рабочий диапазон частот генератора: от 1 до 20 ГГц. Мощность выходного сигнала: от –130 дБм до +18дБм.

### Выводы

С помощью программного обеспечения и вариации различных параметров генератор позволяет формировать реальные радиолокационные и измерительные сигналы в том виде, в котором они появляются на входе СВЧ приемника. Благодаря этому генератор позволяет проводить недорогие проводные испытания радарных модулей и многоканальных СВЧ приемников в лабораторных условиях, вместо дорогостоящих полевых испытаний.

#### Список использованных источников:

1. R&S@SMW200A Vector Signal Generator [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/smw200a-productstartpage\\_63493-38656.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/product/smw200a-productstartpage_63493-38656.html). – Дата доступа: 10.02.2021.
2. Руководство по выбору генераторов сигналов Keysight [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.keysight.com/ru/ru/assets/7018-03356/technical-overviews/5990-9956.pdf> – Дата доступа: 01.10.2020.
3. Тростер С. Генерация векторных сигналов сверхвысоких частот //Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2009. – №. S5. – С. 4-10.

UDC 621.37

## MULTIFUNCTIONAL GENERATOR OF COMPLEX MICROWAVE SIGNALS

*Lisov D.A., PG Student; Bylavko D.G., PG Student*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics  
Minsk, Republic of Belarus*

*Gusinsky A.V. – PhD*

**Annotation.** The report examines the structural diagram, principle of operation and parameters of a multifunctional generator of complex measuring and radar signals of the microwave range.

**Keywords.** Vector generator, microwave, block diagram, parameters.