

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОФОТОННОГО УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ

*Д.Л. Хайруллина, И.И. Нуреев*

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ

Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

**Аннотация.** В работе приведен один из возможных методов формирования сверхширокополосных радиочастотных помех на основе применения тандемной амплитудно-фазовой модуляции оптической несущей. В статье рассмотрены основные понятия сверхширокополосных сигналов и преимущества технологии радиофотоники для их формирования в заданном диапазоне и с заданным функциональным назначением. Получены результаты моделирования предложенного устройства формирования и предложены варианты применения сверхширокополосных помех.

**Ключевые слова:** радиофотоника, сверхширокополосный сигнал, формирователь шумовых помех, тандемная амплитудно-фазовая модуляция, моделирование.

### 1. Введение

В последние десять лет в сфере сверхширокополосных систем передачи мы наблюдаем процесс замещения электронных систем на фотонные. В первую очередь, это связано с другой природой фотона. Отсутствие заряда наделяет его свойствами, невозможными для электрона. Результат: фотонная система, не подверженная воздействию внешних электромагнитных полей, обладает гораздо большей дальностью передачи и полосой пропускания.

Эти и другие многочисленные преимущества, дают представление о том, что начало свое существование новое направление в области телекоммуникаций – радиофотоника, возникшая из слияния радиоэлектроники, интегральной и волновой оптики, СВЧ оптоэлектроники и ряда других отраслей науки и промышленного производства [1].

### 2. Формирователи сверхширокополосного шума

Формирователи шума, генерирующие широкополосные и сверхширокополосные шумовые сигналы, занимают устойчивую нишу в радиоэлектронике. Они используются в широком спектре приложений, от измерительной техники до электронных средств противодействия и радиоэкранирования, а также могут активно защищать информационные компоненты от побочных электромагнитных излучений электронно-вычислительной техники. В последние годы шумовые формирователи, в основном в микроволновом диапазоне, обрели новую область применения, имеющую отношение к применению широкополосных и сверхширокополосных сигналов в современных системах связи. [2]

Формирователи могут быть как вакуумными, так и твердотельными, в зависимости от области применения и требований к источнику шума. Они различаются по диапазону частот и полосе пропускания, а также по форме спектрального закона и уровню мощности.

Помимо этих характеристик, тенденции развития современной радиоэлектроники выдвинули на первый план ряд других особенностей, важных с точки зрения практического применения формирователей и возможности их массового производства. К ним относятся, например, энергоэффективность, миниатюрность, доступность низковольтных источников питания, дизайн и надежность работы в изменяющихся внешних условиях.

Данные требования могут быть выполнены при использовании технологий радиофотоники.

### 3. Принцип построения формирователей

Системы связи оптического диапазона и системы радиосвязи имеют аналогичный принцип построения. В системе оптической связи передатчиком являются генератор оптического диапазона (лазер), генератор сигнала/помехи и модулятор. Фильтр, фотоприемник и приемник СВЧ выполняют функции приемного устройства в системе оптической связи [3].

В качестве среды моделирования была выбрана программа OptiSystem. Как известно, существенным преимуществом программного продукта OptiSystem является возможность создания подробных, детально описанных структурных схем систем связи и быстрого имитационного моделирования их характеристик с последующей оптимизацией. В данном случае элементами моделирования генератора помех будут являться:

- 1) лазер;
- 2) генератор псевдослучайной последовательности = шума;
- 3) модулятор (амплитудный и фазовый);
- 4) фильтр для подавления несущей;
- 5) фотодетектор;
- 6) анализаторы спектров в оптическом и радио-диапазонах.

На рис. 1 приведены ключевые элементы радиофотонного устройства формирования сверхширокополосных помех.

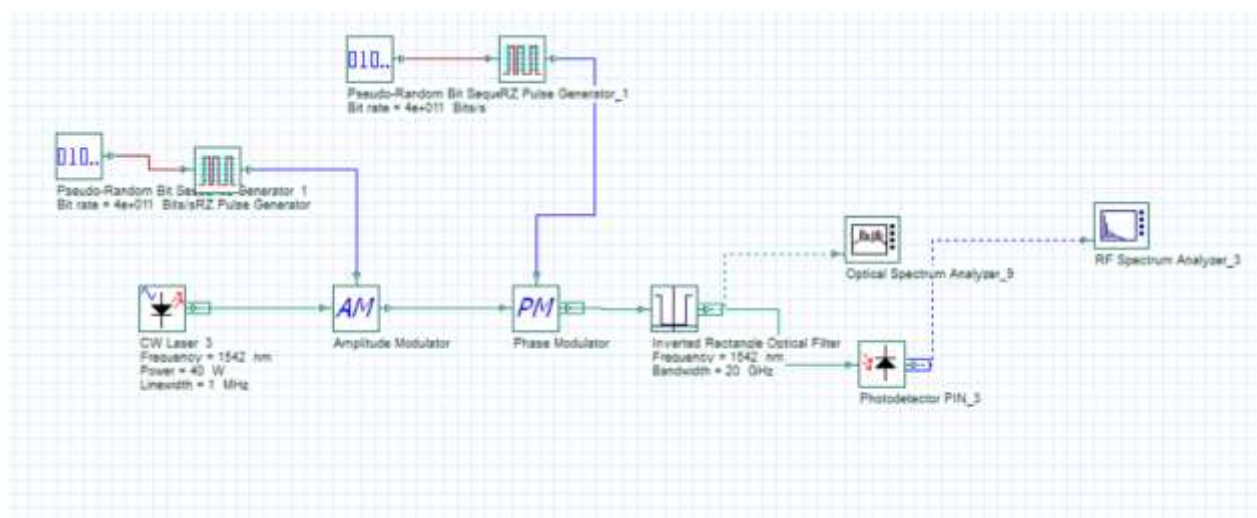


Рис. 1. Структурная схема генератора

Входной сигнал поступает на каналный кодер, который генерирует аналоговый сигнал со сравнительно узкой полосой, центрированной на определенной частоте. Далее сигнал модулируется с помощью последовательности чисел, именуемой кодом расширения, или расширяющей последовательностью. Обычно, хотя и не всегда, код расширения создается генератором случайных чисел. В результате модуляции полоса передаваемого сигнала значительно расширяется (другими словами, расширяется спектр сигнала). Далее для обогащения спектра используется тандемная амплитудно-фазовая модуляция (ТАФМ), которая заключается в последовательной амплитудной модуляции оптической несущей и ее фазовой коммутации на величину  $\pi$  [4].

ТАФМ в классических приложениях используется для формирования двухчастотных спектрально чистых излучений [5]. Однако при изменении коэффициента амплитудной модуляции может быть получено двухполосное многочастотное излучение с расширенной в 10 раз полосой [6-9].

#### 4. Результаты моделирования

На рис. 2 представлен оптический спектр двухполосной сверхширокополосной помехи, полученной при амплитудной модуляции оптической несущей случайным сигналом с полосой в 30 ГГц и коэффициентом модуляции, равным 1, с последующей фазовой коммутацией вторым некоррелированным случайным сигналом полученного АМ-колебания на  $\pi$ . Общая ширина спектра составляет 300 ГГц в каждой полосе.

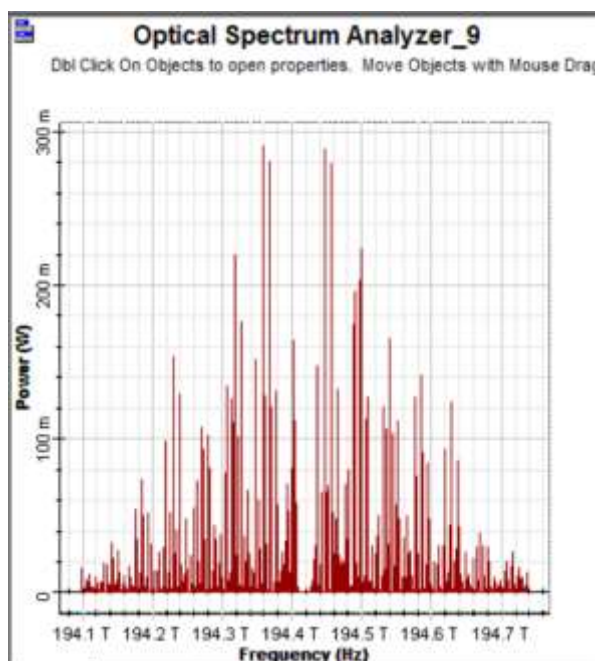


Рис. 2. Оптический спектр сверхширокополосной помехи

На рис. 3 представлен радиочастотный спектр сверхширокополосной помехи. Общая ширина спектра составляет 300 ГГц.

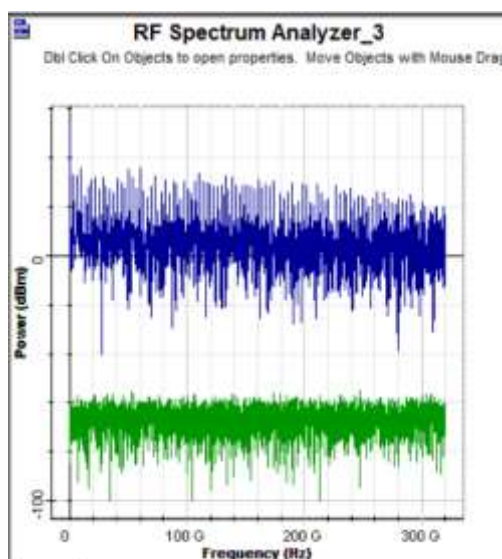


Рис. 3. Радиочастотный спектр сверхширокополосной помехи

Сверху показан спектр с закрытым входом регистрирующего устройства по постоянному току, снизу с открытым. Уровень постоянного тока определяется как параметрами ТАФМ, так и полосой режекторного фильтра на входе фотоприемника. При увеличении полосы режекции, уровень постоянной составляющей падает, а заполнение этой полосы после СВЧ-приемника определяется комплексом частот биений.

### Заключение

В данной работе была разработана схема радиотонного формирователя сверхширокополосных помех, увеличение ширины спектра которых на порядок по сравнению с исходной определяется применением ТАФМ. В пакете Optisystem было проведено моделирование и показано, что формирователь обеспечивает на выходе шумоподобный сигнал с шириной полосы до 300 ГГц при исходной в 30 ГГц. Применение такого сигнала актуально при постановке помех одновременно в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах.

### Список литературы

1. Белкин М.Е. Новое направление фотоники - сверхвысокочастотная оптоэлектроника / М.Е. Белкин, А.С. Сигов // Радиотехника и электроника. –2009 г. – №8 – С.901-914.
2. Иванов В. П. Генератор сверхширокополосных шумовых СВЧ колебаний / В. П. Иванов, Н. А. Максимов, А. И. Панас // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2016. – №2. – С. 202-208. URL: <https://www.sdbireras.ru/assets/upload/1.pdf> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.
3. Рудой В.М. Системы передачи информации / В.М. Рудой. – 1-е изд. – Москва: 2004. – 165 с. – URL: <https://studfile.net/preview/7190937/page:56/> (дата обращения: 20.04.2023). – Текст: электронный.
4. Морозов О.Г. Амплитудно-фазовая модуляция в системах радиотоники / О.Г. Морозов, Г.И. Ильин // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. - 2014. - № 1 (20). - С. 6-42.
5. Талипов А.А. Метод формирования двухчастотного излучения для синтеза солитонов и применения спектрально-эффективной модуляции RZ И CSRZ форматов в оптических

- сетях доступа / А.А. Талипов, О.Г. Морозов, Г.И. Ильин и др.// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. - 2012. - № 2 (16). - С. 3-12.
6. Айметдинова У.А. Анализ метода двухчастотной инициализации каналов связи транспортного домена сетей 5G/6G / У.А. Айметдинова, Д.А. Веденькин, Али Аль-Муфти и др.// Научно-технический вестник Поволжья. - 2023. - № 9. - С. 140-143.
  7. Булдакова К.Э. Анализ метода трехчастотной инициализации каналов связи транспортного домена сетей WIFI6/7 / К.Э. Булдакова, П.Е. Денисенко, Али Аль-Муфти и др. //Научно-технический вестник Поволжья. - 2023. - № 9. - С. 152-154.
  8. Василец А.Ал. Метод четырехчастотной инициализации каналов связи транспортного домена четей 5G / А.Ал. Василец, А. Ан. Василец, Али Аль-Муфти и др. // Научно-технический вестник Поволжья.- 2023.- № 11. - С. 152-154.
  9. Василец А. Ал. Анализ метода четырехчастотной инициализации каналов связи транспортного домена сетей 5G/ А.Ал. Василец, С.А. Василец, Али Аль-Муфти и др.// Научно-технический вестник Поволжья.- 2023. - № 11. - С. 152-154.

## **SIMULATION OF MICROWAVE PHOTONIC DEVICE FOR ULTRA-WIDEBAND INTERFERENCE FORMING**

*D.L. Khairullina, I.I. Nureev*

Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev-KAI  
10, K. Marxa st., 420111, Kazan, Russian Federation

**Annotation.** The paper presents one of the possible methods for implementing ultra-wideband radio frequency interference based on the use of tandem amplitude-phase modulation of an optical carrier. The article discusses the basic concepts of ultra-wideband signals and the advantages of radiophotonics technologies for their formation in a given range and with a given functional purpose. Simulation results of the proposed forming device were obtained and options for the use of ultra-wideband interference were proposed.

**Keywords:** radio photonics, ultra-wideband signal, noise generator, tandem amplitude-phase modulation, modeling.

Статья представлена в редакцию 15.06.2023