

## РАСПОЗНАВАНИЕ КОЛЛИЗИЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ДВУХ СПЕКТРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ В ОДНОЙ ЧАСТОТНОЙ ГРЕБЕНКЕ

*Г.С. Потапов, И.И. Нуреев*

Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева-КАИ  
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

**Аннотация.** В этом исследовании анализируются сценарии коллизий в системах измерения частоты с использованием оптической частотной гребенки, когда при измерении двух одновременных радиосигналов возникают неоднозначные результаты.

**Ключевые слова:** радиофотонные измерения, мгновенное измерение частоты, частотная гребёнка, фотодетектирование, радиолокационные сигналы.

### Введение

Анализ принципа работы системы измерения частот множества локационных радиосигналов [1] и проведённого компьютерного моделирования позволил выявить ряд случаев или же коллизий, при котором процесс измерения частот будет иметь неоднозначный результат, либо потребует изменения принципа измерения частоты. Соответственно для их разрешения и поиска способов устранения в данном докладе проводится рассмотрение причин и случаев их возникновения. В рамках одного канала гребенки данные случаи неоднозначности можно разделить на коллизии при измерении частоты одного радиосигнала и коллизии при измерении частот одновременно нескольких радиосигналов.

### Типы коллизий

Для случаев измерения частот одновременно нескольких радиосигналов рассмотрены случаи измерения сигналов двух частот одновременно в рамках одного измерительного канала гребенки, что позволило выявить типы коллизий, описываемые ниже.

1. Совпадение разностных частот при равном удалении компонент измеряемых частот от компонент частотной гребенки, как показано на рисунке 1.

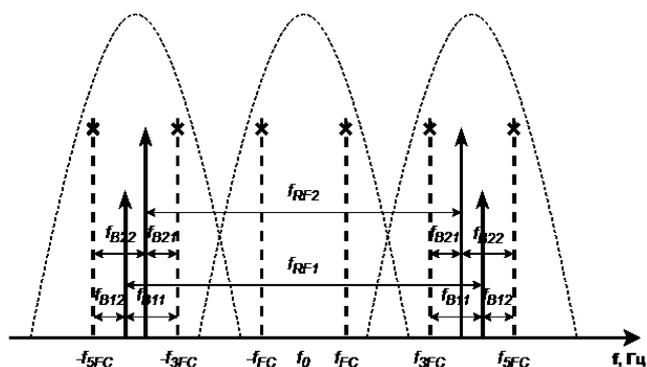


Рис. 1. Схема спектра коллизии биений при измерении частот двух сигналов при совпадении частот биений

Для данной схемы спектра при одновременном измерении частот  $f_{RF1}$  и  $f_{RF2}$  им будет соответствовать пара частот биений  $f_{B11}$  и  $f_{B12}$  и пара  $f_{B21}$  и  $f_{B22}$ . При этом на фотоприемнике будет генерироваться только одна пара частот ввиду попарного равенства значений частот  $f_{B11} - f_{B22}$  и  $f_{B12} - f_{B21}$ . Необходимо заметить, что данный случай возможен как для измерения между компонентами частотной гребенки, так и за её пределами.

2. Совпадение одной из разностных частот при измерении отличающихся друг от друга частот в границах гребенки и за её пределами, как показано на рисунке 2.

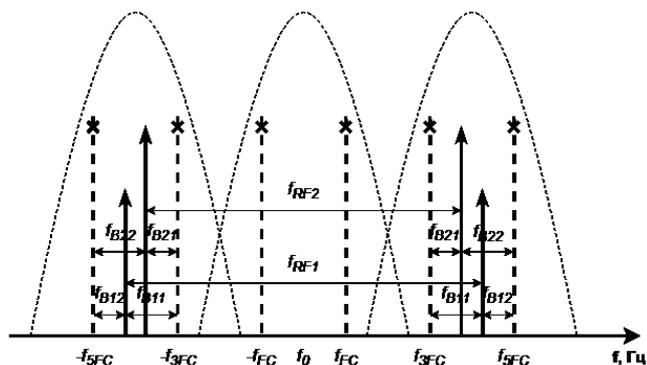


Рис. 2. Схема спектра коллизии биений при измерении частот двух сигналов при совпадении одной из частот биений для двух механизмов измерения

Для данной схемы спектра на выходе фотоприемника при одновременном измерении частот  $f_{RF1}$  и  $f_{RF2}$ , будут совпадать частоты биений  $f_{B21}$  и  $f_{B12}$ , что приведёт к суммированию мощностей компонент биений в выходном спектре фотоприемника.

Данный случай, однако, может быть разрешён путём реализации алгоритма проводящего одновременную обработку согласно обоим механизмам измерения частот для анализа парных составляющих и их различения, так как для измерения без использования наклонного фильтра мощности биений компонент измеряемого сигнала будут равны по мощности, что позволяет определить мощность любой из парных компонент.

### Заключение

Все вышеуказанные коллизии могли бы быть разрешены путём перестройки частоты СВЧ-генератора частотной гребенки [2-4], однако это приведёт к смещению всего спектра частотной гребенки и переходу её отдельных компонент в соседние каналы, что разрушит всю измерительную систему. В связи с этим для расширения возможности измерительной системы, предлагается рассмотреть возможность применения оптической частотной гребенки отличной по форме от равномерной, а именно вогнутой и треугольной.

### Список литературы

1. Sakhabutdinov, A.Z. Multiple frequencies analysis in FBG based instantaneous frequency measurements / A.Z. Sakhabutdinov, O.G. Morozov, A.A. Ivanov et al. // IEEE Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications. – 2018. – P. 8350635.
2. Khabibullin, R.A. Methods of spectrally pure two-frequency radiation forming for terahertz carriers generation in optical range / R.A. Khabibullin, O.G. Morozov, A.Z. Sakhabutdinov et al. // IEEE Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). – 2017. – P. 7997568.
3. Ал-Муфти, А.М. Широкополосные и сверхузкополосные пакеты дискретных частот для решения задач спектральной настройки восходящих каналов волоконно-оптических транспортных доменов сетей доступа мобильной связи 5G+ / А.М. Ал-

Муфти, О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2025. – Т. 5. – № 1. – С. 64-89.

4. 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.

## COLLISION DETECTION WHEN MEASURING TWO SPECTRAL COMPONENTS IN A SINGLE FREQUENCY COMB

*G.S. Potapov, I.I. Nureyev*

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

**Abstract.** This study analyzes collision scenarios in frequency measurement systems using an optical frequency comb, where ambiguous results occur when measuring two simultaneous radio signals.

**Keywords:** microwave photonic measurements, instantaneous frequency measurement, frequency comb, photodetection, radar signals.

Статья представлена в редакцию 22 декабря 2025 г.