

УДК 53.082.55

ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ СВЧ-СИГНАЛА НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК С ВЫСОКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ

Сидлеров Д. Ю., Микитчук К. Б., Чиж А. Л.

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В данной работе исследуется оптический метод измерения частоты СВЧ-сигнала в режиме реального времени на основе волоконных брэгговских решеток с высоким коэффициентом хроматической дисперсии. С помощью математического моделирования показана возможность измерения частоты СВЧ-сигнала в широком диапазоне от 2 до 20 ГГц с неопределенностью измерения менее 100 МГц.

Ключевые слова: измерение частоты СВЧ-сигналов, режим реального времени, волоконная брэгговская решетка, радиофотоника.

INSTANTANEOUS MICROWAVE FREQUENCY MEASUREMENT BASED ON FIBER BRAGG GRATINGS WITH HIGH CHROMATIC DISPERSION COEFFICIENT

Sidlerov D., Mikitchuk K., Chizh A.

SSPA «Optics, Optoelectronics and Laser Technology»
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. In this paper, an optical method for instantaneous microwave frequency measurement based on fiber Bragg gratings with high chromatic dispersion coefficient is presented. Using mathematical modeling, the possibility of measuring the microwave signal frequency in the wide range from 2 to 20 GHz with uncertainty less than 100 MHz is shown.

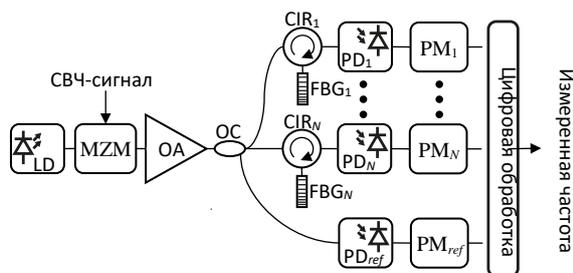
Keywords: instantaneous microwave frequency measurement, real-time measurement, fiber Bragg grating, microwave photonics.

Адрес для переписки: А. Л. Чиж, пр. Независимости, 68–1, г. Минск 220072, Республика Беларусь
e-mail: chizh@oelt.basnet.by

Введение. В системах радиолокации и радиоэлектронной борьбы частота является одним из наиболее значимых параметров СВЧ-сигнала, позволяющим идентифицировать и классифицировать его источник. Анализ частоты СВЧ-сигналов в таких системах необходимо осуществлять в режиме реального времени и в широком диапазоне частот [1]. Радиотехнические системы измерения частоты СВЧ-сигналов обеспечивают малое время измерения (менее 1 мкс) и высокую точность, однако такие системы имеют узкий диапазон измеряемых частот. Быстрое измерение частоты в широком диапазоне частот осуществляется с помощью систем на основе многоканальной архитектуры, что приводит к увеличению стоимости и массогабаритных параметров таких устройств [2]. Применение оптических методов обработки СВЧ-сигналов в устройствах измерения частоты позволяет значительно расширить диапазон рабочих частот, а также упростить их архитектуру [3]. В данной работе исследуется метод измерения частоты СВЧ-сигналов в режиме реального времени на основе волоконных брэгговских решеток с высокой хроматической дисперсией.

Результаты и обсуждение. Измерение частоты СВЧ-сигналов в радиофотонных устройствах осуществляется путем ее преобразования в величину, поддающуюся измерению более простыми методами. Структурная схема радио-

фотонного устройства измерения частоты СВЧ-сигналов в режиме реального времени на основе брэгговских решеток с высоким коэффициентом хроматической дисперсии, осуществляющим преобразование «частота – СВЧ-мощность», показана на рисунке 1.



LD – лазерный диод; MZM – электрооптический модулятор Маха-Цендера; OA – оптический усилитель; OC – оптический разветвитель; CIR – оптический циркулятор; FBG – волоконная брэгговская решетка; PD – СВЧ-фотодиод; PM – датчик СВЧ-мощности

Рисунок 1 – Структурная схема радиофотонного устройства измерения частоты СВЧ-сигналов на основе волоконных брэгговских решеток с высоким коэффициентом хроматической дисперсии

В таком устройстве оптическая несущая, генерируемая лазерным диодом, поступает на вход электрооптического модулятора Маха-Цендера,

где модулируется по интенсивности СВЧ-сигналом, частоту которого нужно измерить. На выходе модулятора оптический сигнал сначала усиливается оптическим усилителем на легированном эрбием волокне, а затем разделяется оптическим разветвителем на N измерительных каналов и один опорный канал. Опорный канал содержит СВЧ-фотодиод, преобразующий оптический сигнал в СВЧ-сигнал и датчик СВЧ-мощности. Измерительные каналы дополнительно содержат на входе волоконную брэгговскую решетку, подключенную через оптический циркулятор. Волоконная брэгговская решетка с высоким коэффициентом хроматической дисперсии представляет собой фазовый фильтр, который вносит частотно-зависимый фазовый сдвиг в спектральные составляющие модулированного оптического сигнала, что приводит к частотно-зависимому изменению коэффициента передачи измерительного канала. В результате математического моделирования радиофотонного устройства, были получены частотные зависимости нормированных коэффициентов передачи в диапазоне частот 2–20 ГГц для измерительных каналов с разными значениями коэффициента хроматической дисперсии, представленные на рисунке 2. Таким образом, устанавливается детерминированная связь частоты исследуемого СВЧ-сигнала с СВЧ-мощностью на выходе измерительного канала, то есть реализуется преобразование «частота – СВЧ-мощность».

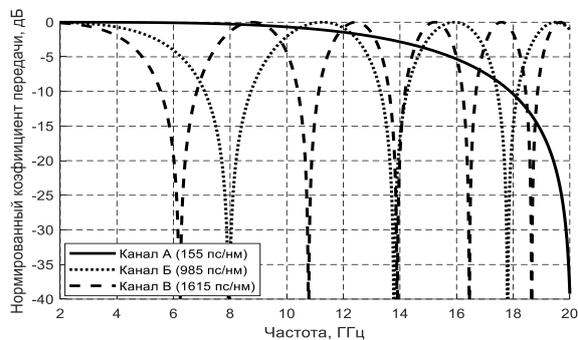


Рисунок 2 – Частотная зависимость нормированных коэффициентов передачи измерительных каналов с разными коэффициентами хроматической дисперсии волоконной брэгговской решетки

Измерение частоты исследуемого СВЧ-сигнала выполняется следующим образом. С помощью каждого измерительного канала определяется набор предполагаемых значений частоты, соответствующих измеренным в каналах величинам СВЧ-мощности. Совпадающее для всех каналов значение частоты выбирается в качестве результата измерения. Основной вклад в неопределенность измерения частоты на основе нормированных коэффициентов передачи вносит неопределенность измерения датчиков СВЧ-мощности. На рисунке 3 приведена неопределенность измере-

ния частоты с помощью радиофотонного устройства, рассчитанная в диапазоне частот от 2 до 20 ГГц для датчиков СВЧ-мощности с неопределенностью измерения 0.05, 0.1 и 0.2 дБ. Как следует из рисунка, неопределенность измерения СВЧ-мощности 0.1 дБ соответствует на частотах около 2 ГГц неопределенности измерения около 200 МГц и уменьшается до 25 МГц на частотах около 4 ГГц. Это объясняется малой крутизной частотной зависимости нормированных коэффициентов передачи измерительных каналов в начале данного участка (рисунок 2). При увеличении частоты крутизна частотной зависимости нормированного коэффициента передачи возрастает, вследствие чего снижается неопределенность измерения частоты. В диапазоне частот от 4 до 20 ГГц можно наблюдать участки, где неопределенность измерения частоты возрастает. Это происходит, когда один или несколько соответствующих нормированных коэффициентов передачи изменяются с высокой крутизной, а остальные с низкой.

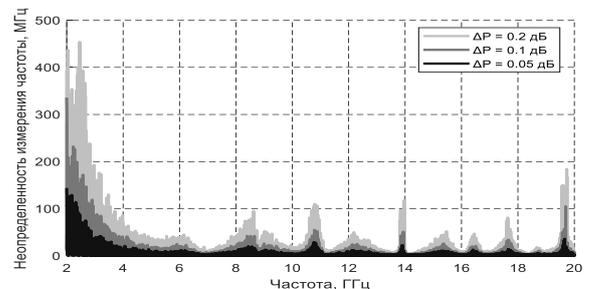


Рисунок 3 – Неопределенность измерения частоты с помощью радиофотонного устройства на основе волоконных брэгговских решеток, рассчитанная для различных неопределенностей измерения СВЧ-мощности

Заключение. В данной статье предложен метод измерения частоты СВЧ-сигналов в режиме реального времени на основе волоконных брэгговских решеток с высокой хроматической дисперсией и проведено ее математическое моделирование. Показано, что с помощью радиофотонных устройств на основе волоконных брэгговских решеток можно реализовать преобразование «частота – СВЧ-мощность» и измерять частоту СВЧ-сигнала в диапазоне от 2 до 20 ГГц с неопределенностью менее 100 МГц.

Литература

1. Broadband instantaneous multi-frequency measurement based on a Fourier domain mode-locked laser / B. Zhu [et al.] // IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques. – 2021. – V. 69, № 10. – С. 4576–4583.
2. Егоров, Н. Мгновенное измерение частоты: методы и средства / Н. Егоров, В. Кочемасов // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2017, № 5. – С. 136–141.
3. Urlick V., Williams K., McKinney J. Fundamentals of microwave photonics. – John Wiley & Sons, 2015.