УДК 621.391

Способ масштабирования частоты сигналов на основе радиофотоники

А.В. Дроздовский[1], С.В. Грачев[1], А.Б. Устинов[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Аннотация: в данной работе приведены результаты теоретического исследования радиофотонной системы преобразования спектра радиосигналов. Преобразование частоты сигналов основано на дисперсионном сжатии/растяжении оптических импульсов, модулированных сверхвысокочастотным сигналом. Продемонстрировано, что предложенная схема пригодна для масштабирования спектральных компонент СВЧ сигнала.

Ключевые слова: радиофотоника, спектр, сверхвысокие частоты.

1. Введение

Одним из подклассов устройств, необходимых для создания систем генерации и обработки сигнала являются устройства преобразования сигналов, предназначенные для переноса частоты сигнала вверх или вниз по частоте – делители частоты, умножители частоты, смесители. В настоящее время устройства преобразования частоты реализуются на полупроводниковой элементной базе [1]. Однако у существующих конструкций есть некоторые недостатки, связанные с ограниченным диапазоном рабочих частот и ограничениям по коэффициенту преобразования частоты. В последнее время проявляется повышенный интерес к генерации и обработке радиосигналов диапазона СВЧ при помощи элементов фотоники. Данное направление науки и техники получило название радиофотоника [2]. Возникший интерес обусловлен расширенными возможностями радиофотонных схем, такими, как больший диапазон рабочих частот, устойчивость к внешним электромагнитным помехам и пр.

На данный момент, продемонстрированы работоспособные образцы делителей частоты принцип работы которых основан на генерации СВЧ сигналов активным радиофотонным кольцом на частотах кратных частоте возбуждающего сигнала [3-5]. К недостаткам описанных конструкций можно отнести сложность настройки системы на конкретные частоты и ограниченную номенклатуру реализованных коэффициентов деления. В настоящее время продемонстрированы делители частоты с коэффициентом деления 1/3, 1/2 и 2/3.

В данной работе предложена простая конструкция, позволяющая осуществить преобразование спектра СВЧ сигналов потенциально с любым значением коэффициента деления/умножения частоты.

2. Конструкция и результаты моделирования

Блок-схема предложенной конструкции показана на рисунке 1. Устройство основано на следующей последовательности процессов. Сигналы от генератора последовательности оптических импульсов поступают оптическое волокно с коэффициентом дисперсии μ_1 , где происходит дисперсионное расплывание импульсов. Импульс растягивается во временной области и становится линейно-частотно модулированным. Далее оптический сигнал поступает на вход

оптического модулятора, где исходный СВЧ сигнал модулирует линейно частотно модулированные оптические импульсы. После чего модулированный сигнал поступает во второе оптическое волокно с дисперсионным коэффициентом μ_2. Во втором волокне благодаря дисперсии возникает разность в скоростях оптической несущей и гармоник СВЧ-огибающей и происходит изменение частоты огибающей сигнала. Пройдя волокно сигнал поступает на фотодетектор, где из оптического сигнала выделяется СВЧ огибающая. Таким образом, на выходе схемы может быть зарегистрирован СВЧ-сигнал на частоте отличной от частоты подаваемого сигнала.

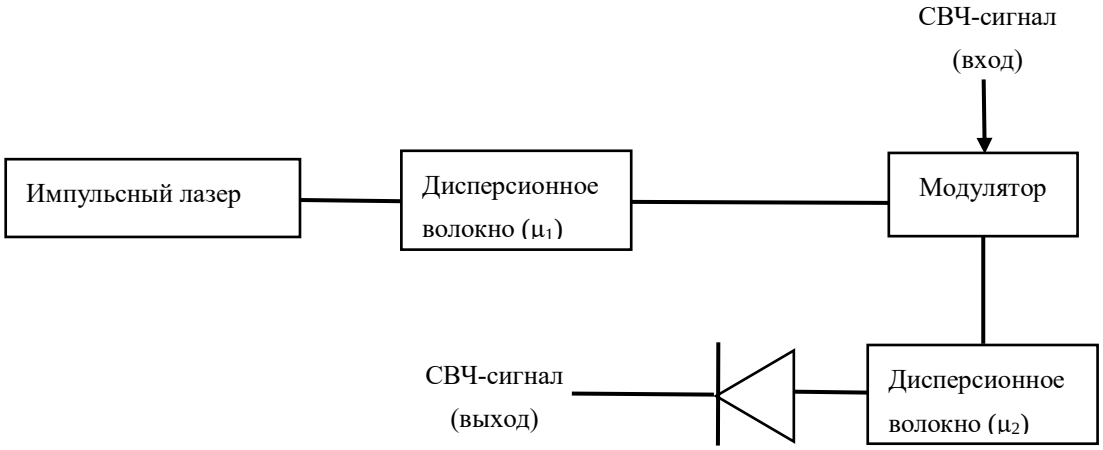

Рисунок 1. Блок-схема системы преобразования частоты.

Отношение знаков дисперсии в волокнах определяет величину и направление масштабирования частоты СВЧ сигнала. Коэффициент масштабирования частоты

$$M = \frac{f_{\text{входного сигнала}}}{f_{\text{выходного сигнала}}}, \qquad (1)$$

определяется суммарной дисперсией в волокнах, как

$$M = 1 + \frac{\mu_1}{\mu_2}, \qquad (2),$$

в случае, если коэффициенты μ_1 и μ_2 имеют одинаковые знаки, и

$$M = \left| \left| \frac{\mu_2}{\mu_1} \right| - 1 \right|, \qquad (3),$$

в случае, если коэффициенты μ_1 и μ_2 имеют противоположные знаки. В случае, если знаки μ_1 и μ_2 совпадают возможно масштабирование сигнала по частоте вниз. В случае, если знаки μ_1 и μ_2 противоположны, то возможно 2 варианта: вариант 1 – $|\mu_2| > |2\mu_1|$,будет происходить масштабирование спектра по частоте вниз; вариант 2 – $|\mu_2| < |2\mu_1|$ будет происходить масштабирование спектра по частоте вверх. Например, если $\mu_2 = -1.2\mu_1$, то частота сигнала увеличится в 5 раз.

Для проверки возможности работы предложенной конструкции была написана программа в математическом пакете Matlab. В основе работы программы был использован алгоритм быстрого преобразования Фурье. В расчете были использованы параметры компонент доступных к коммерческой закупке. Были использованы следующие параметры системы Импульсный лазер позволял получать Гауссовы импульсы с длительностью 200 фс и периодом следования 20 нс. Коэффициент дисперсии первого волокна μ_1 =25·10^{-23} рад^2/с^2. В качестве входного сигнала

использовался монохроматический сигнал с частотой 3 ГГц.

На рисунке 2 приведены 2 варианта спектра выходного сигнала. Рисунок 2,*а* – показывает случай, когда $\mu_2 = 1.4\mu_1$ – частота выходного сигнала уменьшилась в 1.4 раз (*M*=1.4) и составила 2,413 ГГц. На рисунке 3,*б* в представлен выходной спектр в случае, когда $\mu_2 = -1.4\mu_1$ – частота выходного сигнала увеличилась в 2,5 раза (*M*=0,4). При изменении частоты модулирующего сигнала происходило пропорциональное изменение частот выходных сигналов.

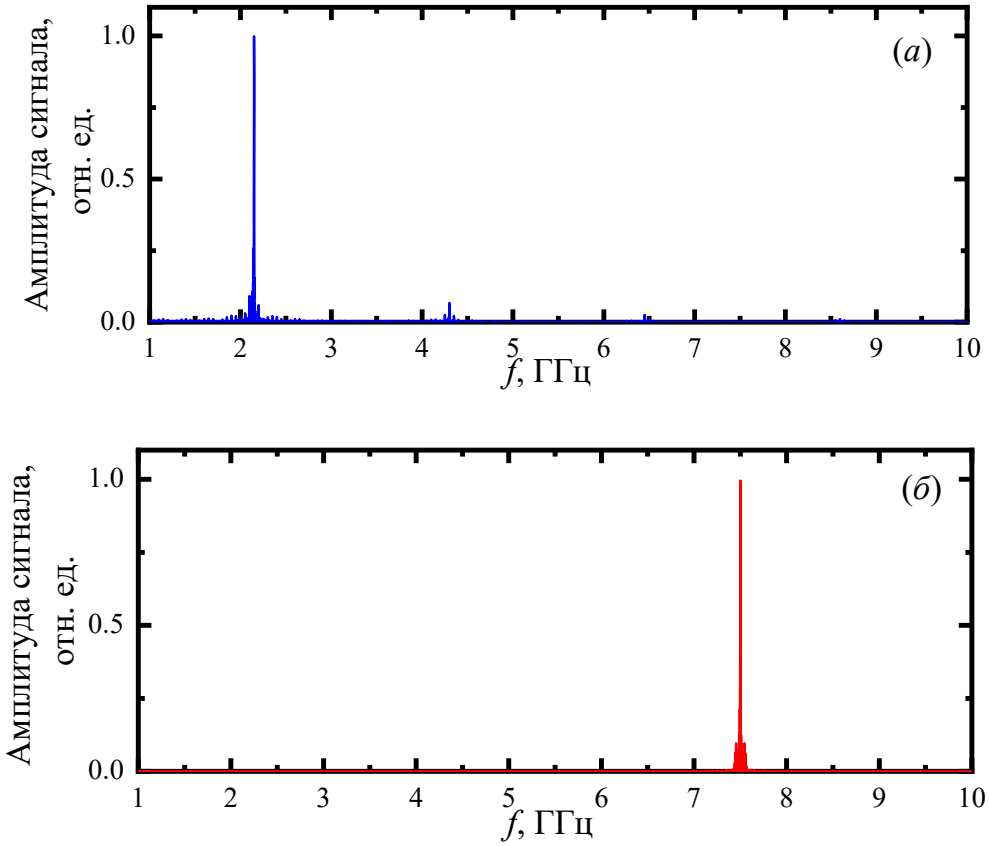

Рисунок 2. Спектральные характеристики выходного СВЧ сигнала при различных значениях второго дисперсионного волокна: (*а*) $\mu_2 = 1.4\mu_1$; (*б*) $\mu_2 = -1.4\mu_1$.

3. Заключение

В работе представлено устройство масштабирования спектра СВЧ-сигналов, работающее на принципах радиофотоники. Результаты моделирования демонстрируют возможность преобразования частот входных сигналов с коэффициентом масштабирования однозначно определяемом соотношением коэффициентов дисперсионных волокон.

Исследование выполнено в рамках **гранта Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 075-15-2021-609)**.

Список литературы

1. Шишков Г. И., Щитов А. М. Смесители СВЧ //Труды НГТУ им. РЕ Алексеева. – 2013. – №. 2 (99). – С. 22-33.
2. Capmany J., Novak D. Microwave photonics combines two worlds //Nature photonics. – 2007. – Т. 1. – №. 6. – С. 319.
3. Duan S. et al. Microwave photonic based 1/n frequency divider //2019 International Topical Meeting on Microwave Photonics (MWP). – IEEE, 2019. – С. 1-4.
4. Chen Y. et al. Photonic-based reconfigurable microwave frequency divider using two cascaded dual-parallel Mach-Zehnder modulators //Optics Express. – 2020. – Т. 28. – №. 21. – С. 30797-30809.
5. Wang Y. et al. Photonic frequency division of broadband microwave signal based on a Fourier domain mode-locked optoelectronic oscillator //Optics & Laser Technology. – 2022. – Т. 147. – С. 107704.