

Моделирование широкополосного измерительного источника с использованием нелинейных свойств оптического волокна

А.И. Исупов
Санкт-Петербургский
Государственный университет
Телекоммуникаций
им. проф. М.А.Бонч-Бруевича,
г. Санкт-Петербург, Россия

Д.П. Андреев
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия
andreev.dp@edu.spbstu.ru

Е.И. Андреева
Санкт-Петербургский
Государственный университет
Телекоммуникаций им. проф.
М.А.Бонч-Бруевича,
г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация — Проведено моделирование широкополосного измерительного источника излучения для тестирования спектрально-селективных компонент волоконно-оптических систем связи со спектральным уплотнением. Показано, что за счет использования нелинейных эффектов в волоконном световоде можно достичь многократное уширение спектра излучения лазерного источника. Проведено сравнение результатов в случае использования стандартного световода и световода со смещенной дисперсией.

Ключевые слова — волоконно-оптические линии связи, спектральное уплотнение, волоконный световод, нелинейные эффекты

1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие волоконно-оптических систем связи со спектральным уплотнением обусловило разработку и внедрение широкого класса пассивных спектрально-селективных устройств для таких систем [1]. Производство и внедрение спектрально-селективных устройств сопряжено с необходимостью точного измерения их рабочих характеристик в заданном спектральном диапазоне с требуемой точностью. Для измерения спектральной полосы пропускания спектрально-селективных пассивных элементов ВОЛС традиционно применяются такие измерительные источники, как ASE. Они обеспечивают достаточно широкую спектральную полосу при сравнительно высокой мощности оптического излучения. Однако, такие источники могут применяться в третьем окне прозрачности кварц-кварцевых волоконных световодов (вблизи длины волны 1550 нм). Если же спектрально-селективные элементы предназначены для функционирования в другом спектральном диапазоне, необходимо предусмотреть их тестирование другими измерительными устройствами.

Полупроводниковые лазерные источники могут использоваться для измерения таких характеристик, как вносимые потери, уровень обратных отражений и т. п. на заданной рабочей длине волны. Однако для измерения полосы пропускания спектрально-селективных устройств требуется, как правило, широкая и относительно гладкая спектральная характеристика излучаемой мощности в заданном диапазоне.

Для получения широкополосного источника излучения традиционно применяются нелинейные эффекты в волоконных световодах [1 – 11]. Преимущества таких устройств в компактности, относительной простоте реализации и настройки, удобстве сопряжения с волоконно-оптическими элементами, в том числе – тестируемыми спектрально

селективными оптоволоконными компонентами. Конструкции таких устройств зачастую используются специальные световоды, например, с переменной по длине дисперсией, фотонно-кристаллические волокна (PCF, Photonic-Crystal Fiber), дифракционные решетки и т. п. (например, [9 – 10]). В то же время для телекоммуникационных применений могут использоваться устройства, основанные на типичных для систем со спектральным уплотнением элементах: узкополосных источниках и одномодовых волоконных световодах.

Для описания их параметров могут быть использованы методики, аналогичные методам для телекоммуникационных, в том числе солитонных систем. Теоретическое описание процессов, связанных с уширением спектра за счет керровской нелинейности волоконных световодов наиболее наглядно может быть представлено в частных случаях, например, в приближении отсутствия дисперсии второго порядка [2, 4]. Однако в таких волоконных световодах возможно проявление дисперсионных эффектов более высоких порядков, нелинейных эффектов другой природы. Поэтому представляет интерес также компьютерное моделирование этого процесса.

Целью работы является моделирование широкополосного измерительного источника с использованием полупроводникового лазера и нелинейных свойств телекоммуникационных волоконных световодов.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ШИРОКОПОЛОСНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ИСТОЧНИКА

Компьютерное моделирование эффекта нелинейного уширения спектра лазерного излучения в оптическом волокне выполнено с учетом оптических потерь мощности и дисперсии групповой скорости. Блок-схема оптического моделирования содержит источник пикосекундных импульсов (1), оптический предусилитель (бустер) (2), стандартное одномодовое оптическое волокно (SSMF, Standard Single Mode Fiber) или волокно со смещенной дисперсией (DSF, Dispersion-Shifted Fiber) (3), демультиплексор (4) (с $\Delta f = 100$ ГГц, например) и оптический анализатор спектра (5) (рис.1).

Пример уширения спектра излучения по мере распространения по световоду представлен на рис. 2.

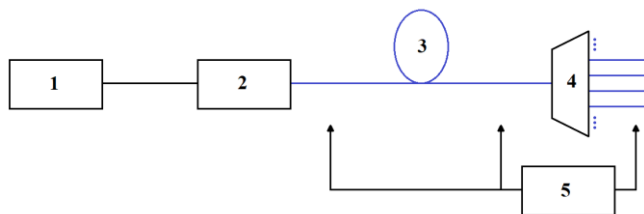


Рис. 1. Оптическая блок-схема компьютерного моделирования: 1 – лазер, 2 – оптический усилитель, 3 – оптическое волокно, 4 – демультиплексор, 5 – оптический анализатор спектра

В ходе компьютерного моделирования также было проведено сравнение уширения спектра в волокне со смещенной дисперсией (DSF) и стандартном одномодовом волокне (SSMF). В расчетах использовались типичные параметры: коэффициент хроматической дисперсии $D = 20$ пс/нм/км и коэффициент керровской нелинейности $\gamma = 1,2$ Вт⁻¹км⁻¹ для стандартного волоконного световода и соответственно $D = 2$ пс/нм/км и $\gamma = 2,5$ Вт⁻¹км⁻¹ для волоконного световода со смещенной дисперсией, уровень потерь 0,2 дБ/км на длине волны $\lambda = 1,55$ мкм в обоих случаях. Как видно из рис. 2, уже после первых двух километров в волокне со смещенной дисперсией наблюдается пятикратное уширение входного спектра. Показано также, что влияние хроматической дисперсии несколько снижает степень уширения спектра. Неравномерность спектральной характеристики возрастает с увеличением дисперсии. Компьютерное моделирование подтверждает преимущество использования волоконного световода со смещенной дисперсией на длине волны $\lambda = 1,55$ мкм.

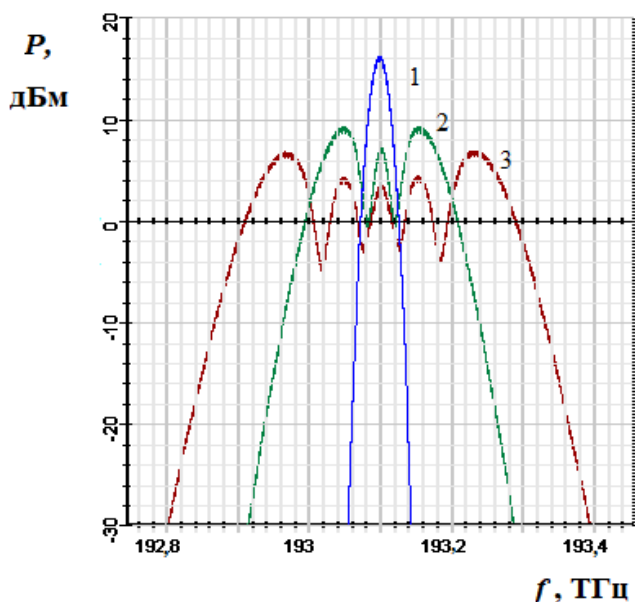


Рис. 2. Спектр импульса на входе в волоконный световод (1) и после прохождения расстояния 1,2 км (2) и 2 км (3)

В области коротких длин волн ($\lambda \approx 1,31$ мкм) стандартный волоконный световод характеризуется малыми значениями хроматической дисперсии. В этой области наиболее целесообразно его использование для получения широкого спектра.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом методом компьютерного моделирования показано, что за счет использования нелинейных эффектов в волоконном световоде можно достичь многократное уширение спектра излучения лазерного источника. Значительное уширение спектра может быть достигнуто за счет использования стандартного одномодового волоконного световода. Более плавный спектральный отклик достигается с помощью волоконного световода со смещенной дисперсией (DSF). В случае использования стандартного одномодового волоконного световода требуется немного более высокая мощность оптического сигнала для достижения той же полосы пропускания, что и с DSF.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Agrawal, G. Fiber-Optics Communication Systems / G. Agrawal // 5th Edition - New York, 2021.
- [2] Agrawal, G. Nonlinear Fiber Optics / G. Agrawal // 6th Edition – Elsevier, 2019.
- [3] Shcherbakov, A.S. Performance Data of Lengthy-Span Soliton Transmission System / A.S. Shcherbakov, E.I. Andreeva // Optical Fiber Technology – 1996. – Vol.2 (1). – P. 127-133.
- [4] Agrawal, G. Nonlinear fiber optics: its history and recent progress / G. Agrawal // Opt. soc. Am. B.J. – 2011. -Vol. 28 (12). - P.1-10.
- [5] Andreeva, E. I. Properties of Temporary Optical Solitons in Optical Fibers and the Possibility of their Use in Telecommunications / E.I. Andreeva, M.S. Bylina, S.F. Glagolev, P.A. Chaimardanov // Proceedings of Telecommunication Universities – 2018. – Vol. 4(1). P. 5-12.
- [6] Kivshar, Y.S. Optical Solitons. From fibers to Photonic Crystals / Y.S. Kivshar, G.P. Agrawal – New York: Academic Press, 2003. – 540 p.
- [7] Andreeva, E.I. Methods for Forming Ultrashort High-Power Optical Pulses Taking Into Account the Linear and Nonlinear Fiber Properties / E.I. Andreeva, A.A.Ermolaev., P.A.Hitrov // Proc. of 11th international conference on advanced infotelecommunications ICAIT – 2022. – Vol.1. – P. 86–91.
- [8] Mollenauer, L.F. Solitons in Optical Fibers: Fundamentals and Applications / L.F. Mollenauer, J.P. Gordon – New York: Academic Press, 2006. – 296 p.
- [9] Zhluktova, I.V. Broadband Supercontinuum Generation in Dispersion Decreasing Fibers in the Spectral Range 900–2400 nm / I.V. Zhluktova, V.A. Kamynin, D.A. Korobko, A.S. Abramov, A.A. Fotiadi, A.A. Sysoliatin, V.B. Tsvetkov // Photonics – 2022. – Vol. 9. – P.773.
- [10] Zolotovskii, I.O. Fiber laser complex that generates frequency-modulated pulses with a spectrum width exceeding the gain line width / I. O. Zolotovskii, D. A. Korobko, D. A. Stolyarov // Kvantovaya Elektronika, 2016, – Vol. 46 (12). P. 1092–1096. - (in Russian).
- [11] Ermolaev, A.A. Features of a fiber-optics transmission system using dispersion-managed optical solitons / A.A. Ermolaev, M.A. Shevchenko, E.I. Andreeva, // Proceedings of ITNT 2021 – 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology. – 2021.