

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

doi: 10.51639/2713-0568_2021_1_3_38
УДК 621.39, 530.182
ГРНТИ 49.29.14

Исследование особенностей формирования высокоскоростной последовательности оптических импульсов с перестройкой несущей частоты для ВОЛС со спектральным уплотнением каналов

Андреев Д. П.

*195251, Россия, г.Санкт-Петербург, ул.Политехническая 29,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*

e-mail: andreev.dp@edu.spbstu.ru

Проанализирована возможность перестройки несущей частоты символьной последовательности сверхкоротких оптических импульсов за счет использования нелинейных свойств волоконного световода. Проведено численное моделирование этого процесса в программе OptiSystem. Подтверждена возможность смещения несущей частоты оптических импульсов для использования в ВОЛС со спектральным уплотнением каналов.

Ключевые слова: волоконно-оптические линии связи, волоконный световод, нелинейные эффекты.

Динамичное развитие волоконно-оптических систем передачи данных обусловлено их высокой информационной емкостью. Скорость передачи данных определяется двумя параметрами: количеством спектральных каналов и скоростью в каждом из них. Скорость передачи данных в отдельном спектральном канале зависит от длительности символьных импульсов. Поэтому чем короче символьные импульсы, тем выше скорость информационного потока при заданной скважности следования импульсов в символьной последовательности. Для достижения скоростей порядка десятков Гбит/с преимущество имеют импульсы пикосекундной и субпикосекундной длительности. Увеличение длины пролета предполагает использование символьных импульсов с высокой входной энергией. При малой длительности это означает высокую пиковую мощность импульсов. Сочетание высокой мощности и широкого спектра символьного импульса обуславливает проявление нелинейных эффектов в волоконном световоде. Нелинейные эффекты подразделяются на внутриканальные и межканальные (присущие только системам со спектральным уплотнением). Внутриканальные нелинейные эффекты могут использоваться для улучшения характеристик системы передачи данных, например, повышения ее информационной емкости. Так, нелинейная фазовая самомодуляция может компенсировать дисперсионное уширение символьного импульса. При точном равновесии указанных эффектов в волоконном световоде формируется оптический солитон – стабильный волновой пакет, способный передаваться на большие расстояния без искажений. Эффект комбинационного саморассеяния оптического импульса может быть

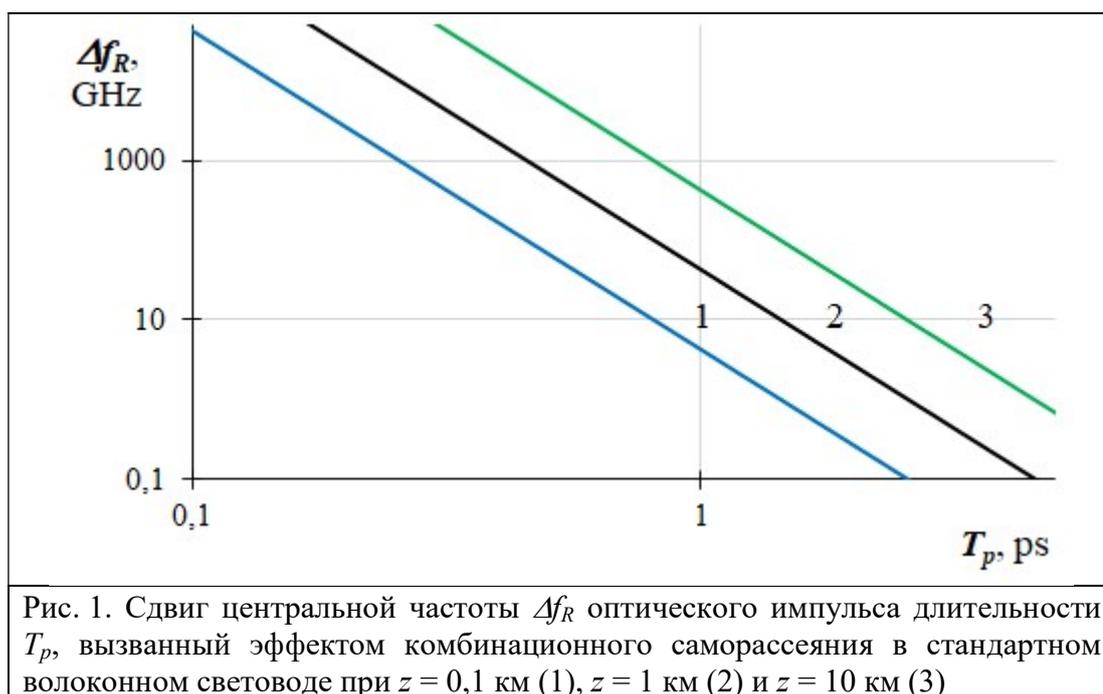
использован для получения источников сверхкоротких импульсов на различных длинах волн. Преимущество этого метода в широте охвата частотного диапазона, в простоте и доступности исполнения. Целью данной работы является анализ возможности получения символьной последовательности сверхкоротких импульсов на различных длинах волн для систем со спектральным уплотнением каналов и численное моделирование в программе Optisystem.

Эффект комбинационного саморассеяния сверхкороткого импульса с физической точки зрения приводит к непрерывному сдвигу вниз несущей частоты импульса, когда спектр импульса становится столь широким, что высокочастотные компоненты импульса могут передавать энергию низкочастотным компонентам того же импульса посредством комбинационного усиления [1–3].

Для оптического солитона $\eta = 1$ сдвиг частоты, вызванный комбинационным саморассеянием, в размерных единицах представляется как [1]:

$$\Delta\omega_R(z) = -\frac{8}{15} \frac{|\beta_2| T_R}{T_0^4} z,$$

где β_2 – дисперсия в волоконном световоде, T_R – параметр, характеризующий эффект комбинационного саморассеяния в волоконном световоде, обычно $T_R = 3$ фс, параметр T_0 связан с длительностью T_p импульса соотношением: $T_p = 1,763 T_0$, z – длина волоконного световода (рис. 1).



Отрицательный знак указывает на то, что несущая частота уменьшается, то есть спектр импульса смещается в сторону больших длин волн («красный» сдвиг). Величина частотного сдвига в предположении отсутствия потерь в волоконном световоде представлена на рис. 1.

При длительности импульсов, близких к 1 пс или менее, спектральная ширина импульса столь велика, что эффект вынужденного комбинационного саморассеяния оказывает значительное влияние на пространственную эволюцию импульсов. Что еще важно, этот процесс продолжается вдоль световода (зависимость от z), то есть частотный сдвиг возрастает с расстоянием.

В реальном световоде на эволюцию импульсов влияют потери в волоконном световоде. Энергия импульса уменьшается, а его длительность увеличивается, так что эффект смещения центральной частоты импульса ослабевает, рис. 2.

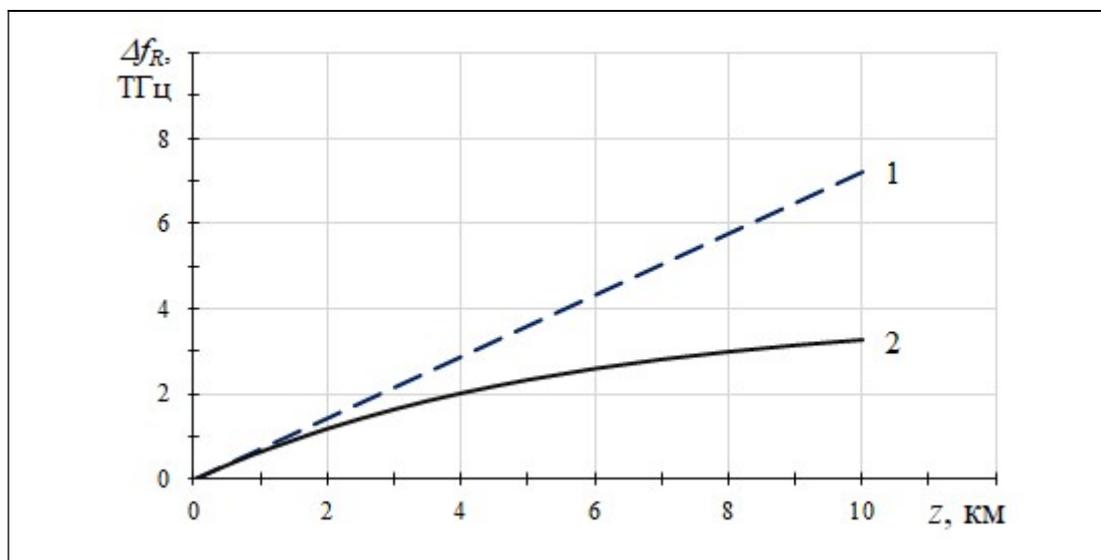


Рис. 2. Зависимость смещения центральной частоты оптического импульса в зависимости от расстояния распространения по волоконному световоду при начальной длительности $T_p = 0,5$ пс: 1 – без учета потерь, 2 – с потерями 0,2 дБ/км, $\beta_2 = 20$ пс²/км

Моделирование проводилось в программе OptiSystem. В качестве источника цифровой последовательности сверхкоротких импульсов предполагался источник, генерирующий импульсы длительности 0,5 пс, следующие со скважностью 5 в стандартном волоконном световоде с дисперсией $\beta_2 = 20$ пс²/км. На рис. 3 показаны спектры на входе и выходе световода длиной 3 км. Видно, что смещение центральной частоты превышает ширину спектра символического импульса. Величина смещения соответствует расчетному значению.

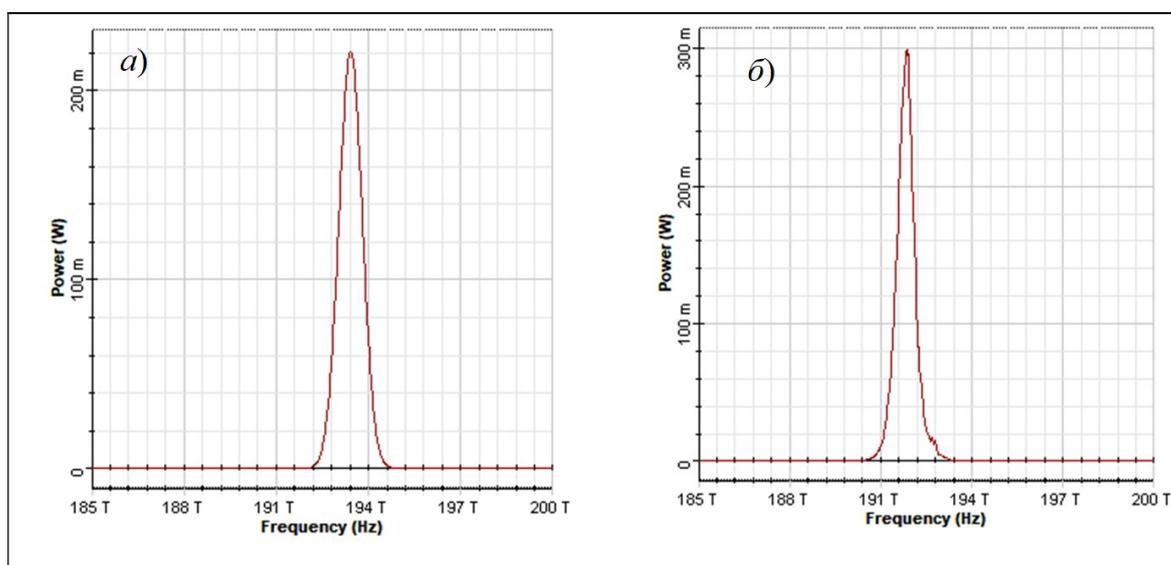


Рис. 3. Спектр символического импульса на входе (а) и на выходе (б) световода

Лазеры. Измерения. Информация. 2021. Том № 01. № 03 (03)
<https://lasers-measurement-information.ru>

Моделирование в программе OptiSystem подтвердило, что за счет использования нелинейного эффекта комбинационного саморассеяния в волоконном световоде можно получить источники, работающие на различных несущих частотах. Использование эффекта комбинационного саморассеяния позволяет создавать перестраиваемые по частоте (рабочей длине волны) источники сверхкоротких импульсов для высокоскоростных волоконно-оптических сетей со спектральным уплотнением.

Конфликт интересов

Автор статьи заявляет, что у него нет конфликта интересов по материалам данной статьи с третьими лицами, на момент подачи статьи в редакцию журнала, и ему ничего не известно о возможных конфликтах интересов в настоящем со стороны третьих лиц.

Список литературы

1. Ю. С. Кившарь, Г. П. Агравал. Оптические солитоны. От волоконных световодов до фотонных кристаллов. М.: Физматлит, 2005. – 648 с.
2. Г. П. Агравал. Нелинейная волоконная оптика. М.: Мир, 1996. – 323 с.
3. G. Gordon. Theory of the soliton self-frequency shift // Opt. Letters, 1986. V. 11, no. 10, p. 662–664.

Investigation of the features of the formation of a high-speed sequence of optical pulses with a tuning of the carrier frequency for FOCL with wavelength division multiplexing

Andreev D. P.

*195251, Russia, Saint-Petersburg, Polytechnicheskaya street 29,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

The possibility of tuning the carrier frequency of a symbolic sequence of ultrashort optical pulses by using the nonlinear properties of a fiber is analyzed. Numerical modeling of this process was carried out in the OptiSystem program. The possibility of shifting the carrier frequency of optical pulses for use in fiber-optic communication lines with wavelength division multiplexing has been confirmed.

Key words: fiber-optic communication lines, optical fiber, nonlinear effects.