

Влияние эффекта комбинационного саморассеяния на характеристики солитонной системы передачи данных

М.А. Шевченко¹, Е.И. Андреева¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Большевиков 22, корп.1, Санкт-Петербург, Россия, 193232

Аннотация

Рассмотрено влияние эффекта комбинационного саморассеяния на характеристики солитонной системы передачи данных с учетом шумов источника символьных импульсов и параметров волоконного световода – дисперсии и потерь.

Ключевые слова

Волоконно-оптические системы передачи данных, оптические солитоны, комбинационное саморассеяние

1. Введение

Требования к производительности волоконно-оптических систем связи, определяемой как произведение скорости на дальность передачи информации, постоянно возрастают. Повышение скорости передачи информации в канале предполагает использование импульсов малой (пикосекундной и субпикосекундной) длительности. На эволюцию таких импульсов по мере распространения по световоду существенное влияние оказывает дисперсия групповых скоростей. Увеличение длины пролета возможно при высокой входной мощности символьных импульсов. Сосредоточение высокой мощности в широком спектральном интервале инициирует проявление различных нелинейных эффектов. Эффект фазовой самомодуляции при определенных условиях позволяет компенсировать дисперсионное уширение символьного импульса – солитонный режим распространения. При высоких скоростях передачи информации становятся существенными и другие нелинейные эффекты, такие как комбинационное саморассеяние, при котором высокочастотные спектральные компоненты символьного импульса выступают накачкой для низкочастотных компонент, и спектр импульса смещается в низкочастотную область – так называемый “красный сдвиг”. При высоких скоростях информационного потока влияние линейных (дисперсия, потери) и нелинейных (фазовая самомодуляция, комбинационное саморассеяние) эффектов может оказывать существенное влияние на качество связи и требует комплексного рассмотрения с учетом взаимосвязи параметров символьной последовательности и среды их передачи [1-3]. Цель данного исследования – выбор параметров символьной последовательности и волоконного световода, обеспечивающий наибольшую скорость и дальность передачи информации.

Солитонный режим распространения символьных импульсов обеспечивается при балансе нелинейных эффектов, характеризующихся длиной нелинейности L_{NL} , $L_{NL} = (\gamma P_o)^{-1}$, где γ - коэффициент нелинейности световода, P_o – начальная мощность импульса, и дисперсионных, характеризующихся дисперсионной длиной L_D , $L_D = \tau^2/\beta_2$, где $\tau = T_o/1,763$, T_o – начальная длительность солитонного импульса, β_2 – дисперсия групповых скоростей световода. Для получения оптических солитонов необходимо обеспечить в волоконном световоде достаточно высокую мощность символьной последовательности сверхкоротких импульсов, при которой $L_{NL} = L_D$.

В волоконных световодах со смещенной дисперсией уровень входной мощности, необходимый для формирования солитона, значительно ниже, чем в стандартных световодах. Поэтому использование световодов с низкой дисперсией в рабочем диапазоне длин волн предпочтительно. В реальных световодах баланс дисперсии и нелинейности нарушается

влиянием потерь в световоде, характерная длина проявления потерь $L_\alpha = \alpha^{-1}$, где α - коэффициент потерь. При условии $L_{NL} = L_D \ll L_\alpha$ эволюция солитонных импульсов может быть описана в рамках теории возмущений. Снижение энергии солитонных импульсов сопровождается увеличением их длительности $T(z) = T_0 \exp(z/L_\alpha)$. Применимость теории возмущений нарушается, когда текущее значение $L_D(z)$ превышает величину L_α .

Выбирая малые начальные значения T_0 , можно получить большие длины L_S распространения импульсов в солитонном режиме и высокую скорость передачи $B \sim (QT_0)^{-1}$, Q – скважность следования импульсов в последовательности, принимаемая равной 10 для исключения влияния эффекта взаимодействия солитонов.

Последствия комбинационного саморассеяния солитонных импульсов дают двойной эффект: сдвиг частоты импульса и флуктуации положения битовых импульсов относительно центра тактового интервала в символьной последовательности вследствие шумов источника солитонообразующих импульсов, что может приводить к ошибкам при детектировании.

Вообще говоря, сдвиг t_R положения импульса в битовой последовательности не создает проблем при регистрации. Однако, если энергия импульсов на входе испытывает флуктуации ΔE , это вызывает флуктуации ΔT_0 длительности импульсов, $\Delta E/E = \Delta T_0/T_0$, и, как следствие, возникают флуктуации положения солитонных импульсов Δt_R в битовой последовательности [2]. Таким образом эффект комбинационного саморассеяния дает дополнительный вклад в совокупности с шумами источника солитонообразующих импульсов ΔE (рисунок 1). Увеличение длительности импульса резко ослабляет этот эффект.

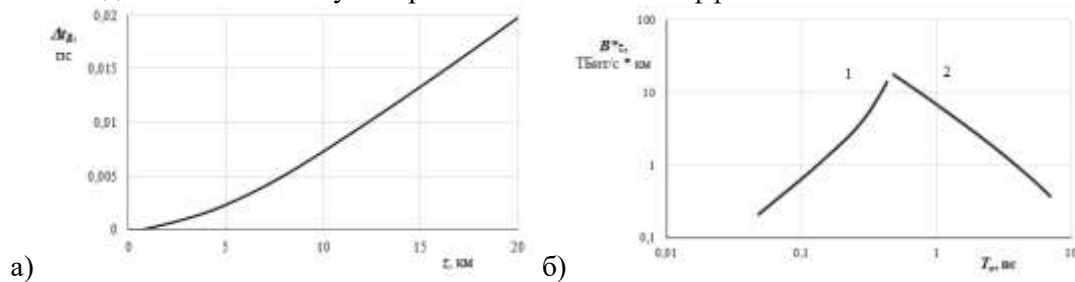


Рисунок 1: Зависимость флуктуаций Δt_R положения центра битового импульса при его начальной длительности 1 пс от расстояния распространения z (а) и производительность $B \cdot z$ солитонной системы передачи данных (б) для случая, когда входные флуктуации энергии 0,001, в волоконном световоде с $\beta_2 = 2 \text{ пс}^2/\text{км}$ при уровне потерь 0,2 дБ/км

2. Заключение

Производительность $B \cdot z$ системы передачи данных на волоконном световоде с дисперсией $\beta_2 = 2 \text{ пс}^2/\text{км}$ достигает значений около 10 Тбит/с*км при потерях α на уровне 0,2 дБ/км при уровне флуктуаций энергии символьных импульсов на входе в пределах 0,001 (рисунок 1б). При использовании стандартного световода протяженность солитонного режима распространения несколько увеличивается, но влияние шумов источника на флуктуации положения импульсов в символьной последовательности сказывается сильнее, так что производительность системы снижается.

3. Литература

- [1] Kivshar, Y.S. Optical Solitons. From fibers to Photonic Crystals / Y.S. Kivshar, G.P. Agrawal – New York: Academic Press, 2003. – 540 p.
- [2] Wood, D. Constraints on the bit rates in direct detection optical communication systems using linear or soliton pulses // J. of Lightwave Techn. – 1990. – Vol. 8(7). – P. 1097-1106.
- [3] 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. 5-10.