

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ХРОМАТИЧЕСКОЙ ДИСПЕРСИИ НА РАБОТУ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

© 2011 г. В. А. Бурдин, доктор техн. наук; М. В. Дашков, канд. техн. наук; К. А. Волков

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара

E-mail: burdin@psati.ru, mvd.srttc@gmail.com, volkov_ka_lsits@mail.ru

Приведены результаты моделирования волоконно-оптической линии передачи с учетом статистики распределения отклонений длин сегментов схемы компенсации хроматической дисперсии от номинальных значений.

Ключевые слова: управление дисперсией, вариационный метод, дисперсионная карта.

Коды OCIS: 060.2330

Поступила в редакцию 13.04.2010

Развитие современных сетей связи происходит в условиях постоянного увеличения пропускной способности, рост которой обеспечивается, как правило, за счет перехода к более высоким канальным скоростям передачи. В настоящее время на региональном уровне единой сети электросвязи РФ широко используются волоконно-оптические линии передачи (ВОЛП) с аппаратурой спектрального разделения каналов со скоростью передачи в оптическом канале 10 Гб/с и выше. На подобных линиях весьма перспективно применение солитонов, управляемых за счет изменения дисперсии вдоль линии передачи [1, 2]. В частности, для увеличения пропускной способности ВОЛП может быть использован режим управления дисперсией на плотных схемах компенсации – DDMS (*dense dispersion management soliton*) [2, 3].

DDMS предусматривает чередование с заданным периодом волокон строительных длин кабеля с положительной и отрицательной хроматической дисперсией в соответствии со схемой компенсации – дисперсионной картой (ДК). Причем период ДК для DDMS много меньше, чем длина усилительного участка. Порядок прокладки строительных длин оптического кабеля (ОК) определяется укладочной ведомостью, в которой указаны номинальные длины прокладываемых кабелей. На практике муфты, в которых выполняются соединения ОК, размещают с учетом конкретных условий на местности. Как следствие, длины сегментов схемы компенсации отклоняются от номинальных

значений, заложенных в проекте. Представляют интерес исследование влияния допусков длины сегментов ДК на работу ВОЛП с плотными схемами компенсации и разработка стратегии формирования и корректировки укладочной ведомости.

Для описания распространения сигнала в оптической линии была разработана модель регенерационного участка ВОЛП с DDMS на основе известного решения модифицированного нелинейного уравнения Шредингера вариационным методом [4, 5]. С учетом ограничений вариационного метода и в предположении гауссовой огибающей система уравнений для параметров импульса записывается в виде [5]

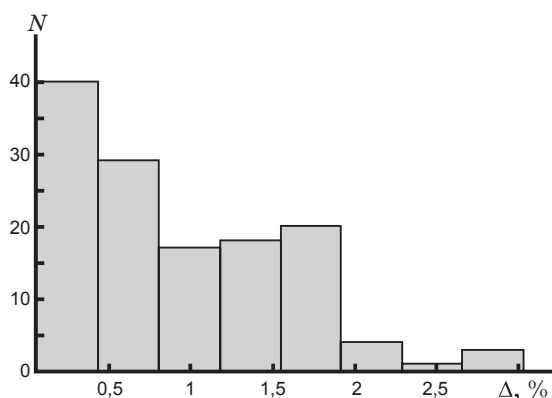
$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial Z} = \beta_2(Z) \frac{C}{T} \\ \frac{\partial C}{\partial Z} = \frac{\gamma E_0 p(Z)}{\sqrt{2\pi} T} + \frac{\beta_2(Z)}{T^2} (1 + C^2) \end{cases}'$$

где T , C – длительность и чирп импульса, γ – параметр, описывающий нелинейность оптического волокна (ОВ), E_0 – входная энергия импульса, β_2 – функция, описывающая изменение параметра хроматической дисперсии вдоль линии, $p(Z)$ – функция, описывающая изменение пиковой мощности солитона между двумя соседними усилителями.

Распространение солитоноподобного импульса в оптической линии с управлением дисперсии приводит к ухудшению параметров режима передачи. Как отмечалось выше, при практическом применении DDMS параметры ДК от-

личаются от номинальных значений, что в свою очередь будет ухудшать параметры передачи за счет внесения дополнительных флуктуаций, вызванных периодическими перекомпенсацией и недокомпенсацией хроматической дисперсии вдоль линии. Для оценки отклонений длин сегментов ДК от номинальных значений (параметр Δ) была проанализирована исполнительная документация ВОЛП протяженностью от 100 до 400 км, строительные длины которых составили 4–6 км. Результаты статистической обработки представлены на рисунке.

В качестве исходных данных при моделировании регенерационного участка (РУ) ВОЛП задавались тип и характеристики ОВ, длина РУ, количество и параметры оптических усилителей на РУ, номинальная длина периода компенсации и схема компенсации. Номинальные значения длины сегментов рассчитывались по заданной глубине компенсации хроматической дисперсии в зависимости от типа схемы и длины периода компенсации. Для отдельной реализации длины сегментов формировались случайным образом с учетом заданных допусков на отклонения от номинальных значений. При этом период компенсации также менялся случайным образом вдоль линии. При моделировании ограничили случаем амплитудного формата модуляции. В целях упрощения математической модели рассматривался случай идеальной компенсации потерь оптического сигнала в линии. Исследуя искажения оптических импульсов, ограничили влиянием только межсимвольной интерференции и не учитывали солитон–солитонного взаимодействия



Распределение отклонений смонтированных длин ОК от номинальных значений.

и джиттера. Качество передачи оценивалось по уширению оптических импульсов на выходе РУ. В работе рассматривались два типа ДК, состоящих из двух сегментов, параметры которых приведены в таблице.

Параметры ДК

ДК	#1	#2	#3
Тип ОВ а	NZDSF(+)	SMF	NZDSF(+)
Тип ОВ б	NZDSF(-)	DCF	NZDSF(-)
$\langle \beta_2 \rangle$, пс ² /км	-0,01	-0,1	-0,01
Скорость передачи, Гб/с	10	10	40

Примечание. SMF – одномодовое волокно (англ. *single mode fiber*), DCF – волокно с компенсацией дисперсии (англ. *dispersion-compensating fiber*), NZDSF(+) – волокно с положительным значением дисперсии в диапазоне длин волн 1525–1565 нм (англ. *positive nonzero dispersion-shifted fiber*), NZDSF(-) – волокно с отрицательным значением дисперсии в диапазоне длин волн 1525–1565 нм (англ. *negative nonzero dispersion-shifted fiber*).

Здесь $\langle \beta_2 \rangle$ – среднее значение остаточной дисперсии.

В результате компьютерного моделирования было выявлено, что для всех ДК не требуется учета влияния отклонений длин ОК от номинальных значений до 2%, при $\Delta = 3\%$ учет необходим только для ДК#3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров В.Е., Шабат А.Б. Точная теория двумерной самофокусировки и одномерной автомодуляции волн в нелинейных средах // ЖЭТФ. 1971. Т. 61. № 1. С. 118–134.
2. Turitsyn S.K. Reduced-power optical solitons in fiber lines with short-scale dispersion management // Opt. Lett. 1999. V. 24. № 13. P. 869–871.
3. Liang Toda H., Hasegawa A. High-speed soliton transmission in dense periodic fibers // Opt. Lett. 1999. V. 24. № 12. P. 799–801.
4. Turitsyn S.K., Gabitov I., Laedke E.W., Mezentssev V.K., Musher S.L., Shapiro E.G., Schäfer T., Spatschek K.H. Variational approach to optical pulse propagation in dispersion compensated transmission systems // Opt. Commun. 1998. V. 151. № (1–3). P. 117–135.
5. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communications Systems, 3rd ed. N. Y.: Wiley, 2002. P. 561.