

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Филипенко А.И., Дьяченко Е.Л.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. Технологии и автоматизации производства РЭС и ЭВС,
тел. (057) 702-14-86,

E-mail: tapr@kture.kharkov.ua ; факс (057) 702-14-86

The problem of dispersion in fiber optic systems already is well investigated. However with the further study of this problem the new unsolved tasks are opened. The DS-fibers, having zero dispersion in a vicinity of wavelength of 1550 nm, shown the inconsistency. Simultaneously two reasons result in sharp increase of nonlinear effects in a DS-fiber: zero dispersion in an operating range of wavelength and small effective transversal section. DWDM system are especially sensitive to chromatic dispersion, which in an optical fibers and components results in quality deterioration of transmitted signal and, at the end, limits allowable transfer data speed on a network. High chromatic dispersion in DWDM systems results cross-modulation and signal losses. In super high-speed optical information systems, because of occurrence free electrons, the refractive index dispersion arises. On low frequencies specified electrons is reduced to attenuation of electromagnetic wave because of change of conductivity of material of the directing device. On high frequencies specified dispersion influences on refractive index because plasma effect. At the operating of optic fibers with abnormal dispersion the modulating instability arises. The effect is shown as division of continuous or quasi-continuous periodic wave on a sequence of super short pulses.

Введение. Актуальность исследований объясняется недостаточным развитием в Украине теоретической и конструктивно-технологической базы по созданию и производству отечественных волоконно-оптических компонентов в условиях выдвижения новых задач по дальнейшему улучшению характеристик (увеличению скорости и объемов передачи информации, улучшению надежности и снижению стоимости) и расширению областей использования волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) информации. В настоящее время протяженность магистралей ВОСП составляет несколько десятков тысяч километров. Большинство из них организовано на традиционном волоконно-оптическом кабеле ступенчатого или градиентного профиля. Однако на ряде направлений уже сейчас ощущается недостаток пропускной способности. Наиболее радикальный путь его преодоления – использование ВОСП со спектральным уплотнением. Основным препятствием их внедрения является большая величина хроматической дисперсии в рабочем диапазоне длин волн.

Основной целью исследований является решение задач усовершенствования и дальнейшего развития элементной базы протяженных и локальных волоконно-оптических систем за счет теоретического обоснования технологий изготовления компонентов на базе оптических волокон с малой и смещенной дисперсией. В процессе исследований, прежде всего, необходимо проанализировать условия распространения сигнала и выявить факторы, которые ухудшают дисперсионные характеристики компонентов, затем сформулировать на их основе требования для волоконно-оптических компонентов и технологий их изготовления.

Анализ факторов, обуславливающих дисперсионные свойства компонентов. Известно, что дисперсия ограничивает ширину полосы пропускания и информационную ёмкость кабеля. Достаточно хорошо изученными основными ее причинами и составными частями в общем случае являются: межмодовая дисперсия, которая свойственна только многомодовым волокнами и возникает из-за задержки распространения отдельных мод; хроматическая дисперсия, являющаяся результатом зависимости групповой скорости распространения мод по оптическому волокну от длины волны и поляризационная дисперсия [4]. Хроматическая включает волноводную и материальную составляю-

щие. Волноводная дисперсия обусловлена тем, что оптическая энергия распространяется как по сердцевине, так и по оптической оболочке, имеющим разные показатели преломления. Как следствие этого, излучение распространяется со слегка различающимися скоростями в сердцевине и оболочке. Изменение внутренней структуры волокна позволяет существенно влиять на волноводную дисперсию, тем самым, изменяя специфицированную общую дисперсию волокна. Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления материалов сердцевины и оболочки от длины волны. В одномодовых волокнах, вследствие разницы скоростей распространения двух взаимно перпендикулярных составляющих основной моды, возникает поляризационная модовая дисперсия (МПД). Данная составляющая существенна для круглосимметричных одномодовых волокон, которые в реальности могут иметь неидеально круглое поперечное сечение и неидеальную симметрию распределения показателя преломления, подвергаться воздействию локальных механических нагрузок, характеризуются нарушением регулярности вдоль оси вследствие наличия соединителей оптических кабелей и других факторов. Для высокоскоростных ВОСП МПД является заметно ограничивающим фактором скорость передачи фактором.

Как известно, минимальные значения потерь в стандартном одномодовом волокне 0,2-0,25дБ/км достигаются на длине волны, близкой к 1,550мкм, а минимальная хроматическая дисперсия, в окрестности нуля, достигается на длине волны 1,31мкм. Чтобы обеспечить высокую скорость передачи на большие расстояния, необходимо свести к минимуму потери и дисперсию, причем на одной и той же длине волны. Первоначально для этих целей было создано волокно со смещенной дисперсией (dispersion shifted - DSF), имеющее нулевую дисперсию в окрестности длины волны 1,55мкм, которое было ориентировано на одноканальную передачу. Однако две появившиеся впоследствии технологии уплотнения - DWDM и оптического усиления - EDFA показали несостоятельность волокна данного типа из-за проявления нелинейных эффектов. Одновременно две причины вызывают резкое увеличение нелинейных эффектов в волокне DSF: нулевая дисперсия в рабочем диапазоне длин волн и малое эффективное поперечное сечение. Уменьшение эффективного поперечного сечения связано с тем, что смещение дисперсии достигается за счет увеличения волноводной дисперсии путем усложнения профиля показателя преломления и уменьшении диаметра сердцевины.

В многоволновых системах с уплотнением наблюдается эффект четырехволнового смешивания, выражающийся в появлении дополнительных паразитных сигналов на частотах, являющихся комбинацией рабочих частот [3]. Данные сигналы также усиливаются, проходя через каскады усилителей EDFA.

Сегодня от мультиплексирования с частотным разнесением каналов не менее 200ГГц (8 каналов WDM-системы) переходят к плотному мультиплексированию (DWDM) с частотным разнесением каналов менее 100ГГц (32-40 каналов). Такие системы особенно чувствительны к хроматической дисперсии, высокое значение которой приводит к кросс-модуляции и потере сигнала. В то же время, небольшая и тщательно контролируемая хроматическая дисперсия необходима для того, чтобы ослабить нежелательные нелинейные эффекты, прежде всего четырехволновое смешивание.

Один из недостатков использования волокна DSF для компенсации дисперсии заключается в волновой зависимости хроматической дисперсии $D(\lambda)$. В линейном приближении эту зависимость описывает параметр S - наклон дисперсионной кривой. Компенсация дисперсии, например, статическим методом на одной длине волны приведет к неточной компенсации на других длинах волн. Поведение накопленной дисперсии в линии (период 80 км SMF+DSF) с компенсацией дисперсии для одной длины волны (без компенсации наклона) приведено на рис.1, (а) и при компенсации наклона на рис.1, (б).

Последние исследования показали возможность создания волокна у которого дисперсионная кривая хорошо соответствует кривой стандартного волокна (SMF). Это позволяет точно компенсировать дисперсию в большом диапазоне длин волн, что необходимо в системах передачи WDM.

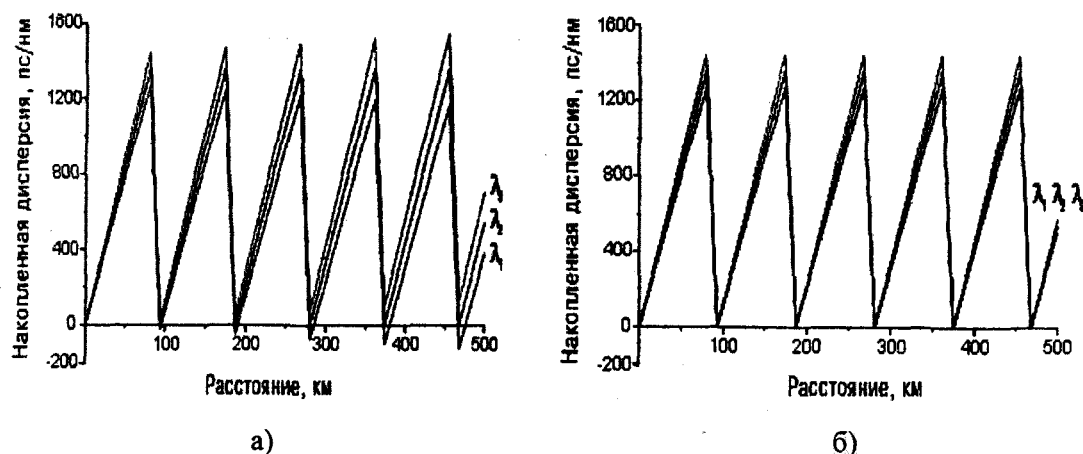


Рис.1

Несмотря на то, что в конце каждого участка SM-волокна дисперсия отдельных волновых каналов различается, после участка компенсации дисперсии она полностью компенсируется. Такой способ компенсации называют: компенсация наклона дисперсии или широкополосная компенсация дисперсии (wideband DSF).

Наклон дисперсионной кривой S (рис.2) на некоторой длине волны имеет следующий смысл: 2 оптических канала WDM на длинах волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$ будут иметь разную дисперсию, отличающуюся на $S\Delta\lambda$. Эта разница будет накапливаться по длине волокна.

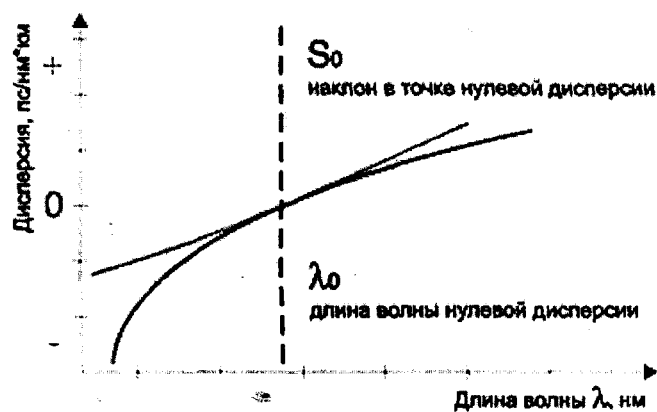


Рис.2

Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF в отличие от DSF оптимизировано для передачи не одной длины волны, а сразу нескольких длин волн (мультиплексного волнового сигнала). Длина волны нулевой дисперсии $\lambda_0 = 1,55 \mu\text{m}$ - смещена за пределы рабочей зоны оптического усилителя EDFA, так чтобы слабая ненулевая дисперсия на длинах волн усиливаемого сигнала приводила к ослаблению нелинейностей усилителя (в частности, четырехволнового смешивания).

Еще одним слабо изученным явлением является дисперсия показателя преломления, вызванная свободными электронами [1]. На низких частотах влияние свободных электронов сводится к затуханию электромагнитных волн из-за изменения проводимости материалов направляющего устройства. На высоких частотах указанная дисперсия влияет на величину показателя преломления за счет плазменного эффекта. Последний появляется при генерации последовательности импульсов в сверхскоростных информационных системах.

Существенное влияние отрицательной дисперсии проявляется в возникновении модуляционной неустойчивости в волоконных световодах. Совместное действие нелинейных и дисперсионных эффектов вызывает модуляцию волнового состояния, что проявляется как распад непрерывной или квазинепрерывной периодической волны на последовательность сверхкоротких импульсов - солитонов. Модуляционная неустойчивость трактуется как четырех волновое смешивание с синхронизмом за счет фазовой самомодуляции. Проводятся исследования по использованию явления индуцированной модуляционной неустойчивости для генерации последовательностей коротких оптических импульсов, частотой повторения которых можно управлять [3, 5]. В данном случае критичным является обеспечение условий наличия отрицательной дисперсии.

Подлежит исследованию ухудшение дисперсионных характеристик, связанное с ростом поляризационной модовой дисперсии под действием грозových разрядов [2]. Электромагнитное поле молний и другие источники сильных внешних электрических полей взаимодействует с распространяющимся по оптическому волокну полем. Под действием поперечного электрического поля угол поворота плоскости поляризации определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{3}{16} K(I_P)^2 / (a^2 + h^2)^{3/2} \quad (1)$$

Под действием продольного магнитного поля плоскость поляризации поворачивается на угол Ψ :

$$\psi = \frac{1}{2} f l \exp[-56(h+a)\sigma] \quad (2)$$

Суммарный поворот составляет $\psi + \varphi$. В формуле (1) и (2): I - амплитуда тока молнии; σ - удельная проводимость земли, $1/\text{Ом} \cdot \text{м}$ ($\sigma = 1/\rho$, где ρ - удельное сопротивление земли); a - расстояние между точкой удара молнии и трассой кабеля, м; h - глубина прокладки кабеля, м; $K = 0,402 \cdot 10^{-13} \text{ м/В}^2$ - постоянная Керра; $f = 1,66 \cdot 10^{-5} \text{ град/А}$. Из (1) видно, что эффект Керра ослабевает пропорционально третьей степени расстояния до точки удара молнии.

Выводы. В ходе анализа явлений, обуславливающих дисперсионные свойства волоконно-оптических систем, выделены группы факторов, которые необходимо учитывать при совершенствовании компонентной и технологической базы.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на учет данных явлений при разработке теоретических и методологических основ создания компонентов на основе волокон с сохранением поляризации и с малой дисперсией, обоснование новых технологий изготовления и контроля их конструктивно-технологических параметров; исследование влияния технологии образования соединений современных сложнопрофильных дисперсионно-компенсированных оптических волокон на потери и скорость передачи информации и обоснование технологических процессов изготовления компонентов на базе оптических волокон с малой дисперсией.

Литература.

1. Власов А.Н., Михайленко Е.В., Чайка Г.Е. Дисперсия показателя преломления, вызванная свободными электронами // Зв'язок.-2003.-№5.-С.71.
2. Соколов С.А. Возникновение поляризованной модовой дисперсии под действием грозových разрядов. // Електросв'язь.- 2004.- №11.-С.26-28.
3. Власов О.М. Модуляційна нестійкість в оптичних світловодах. // Зв'язок -2004 - №2.-С.62-64.
4. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи / Андрушко Л.М., Вознесенский В.А., Каток В.Б. и др.; Под ред. С.В. Свечникова и Л.М. Андрушко.- К.: Техника, 1988.-239с. 5. Власов А.Н. Нелинейное распространение волн в световодах линий связи. // Зв'язок.-2000.-№2.-С.48-49.