ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДИСПЕРСИЙ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ ПЕРЕДАЧ

Бойцов Илья Владимирович
Курсант 5 курса ФВА РВСН им. Петра Великого,
Россия, г. Серпухов

Научный руководитель: **Гвоздь И.И,**
к.т.н, доцент

Понимание физических механизмов и закономерностей, возникающих в процессе распространения сигналов в оптическом волноводе, приобрело особую актуальность в связи с решением одной из важнейших задач в сфере оптических телекоммуникаций — задачи уменьшения дисперсионных и нелинейных искажений оптических сигналов.

Интерес к новым способам ослабления деградации сигналов сильно возрос в последнее десятилетие из-за постоянно увеличивающихся объемов и, как следствие, скоростей передачи информации, ведь искажения из-за поляризационной модовой дисперсии растут пропорционально битовой скорости, а искажения из-за хроматической дисперсии — пропорционально квадрату скорости передачи.

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных проблеме дисперсионных и нелинейных искажений сигналов, ряд важных фундаментальных вопросов оказываются неизученными. Данная статья позволяет восполнить этот недостаток, следовательно, необходимо рассмотреть основные виды дисперсий.

Межмодовая дисперсия — уширение светового импульса при распространении в волокне, связанное с различием времени распространения его компонент рис.1.

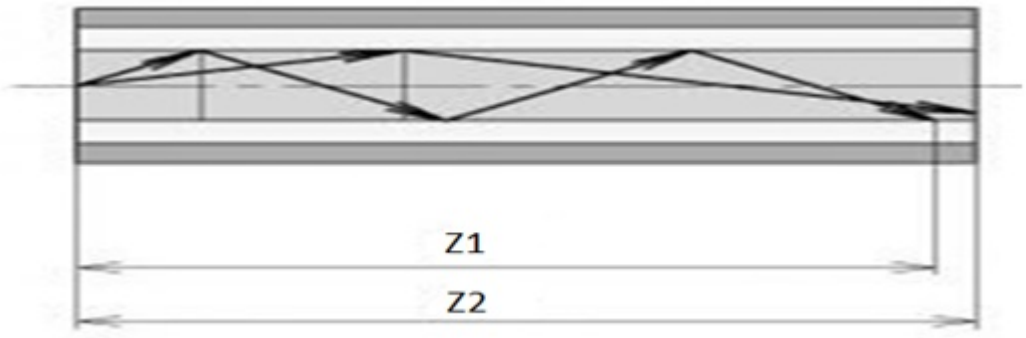

Рис.1. Явление временного запаздывания лучей разных мод в волоконных световодах

Лучи, падающие под углом, равным критическому углу $\theta_{пр}$, проходят в $1/\sin\theta_{пр}$ раз большее расстояние, чем аксиальные лучи. Из-за большей длины пути, которые проходят эти лучи, они отстают от аксиальных лучей на интервал времени ΔT, определяемый отношением:

$$\Delta T / T = 1/ \sin\theta_{пр} - 1, \quad (1)$$

где: T — время распространения импульса вдоль волновода по кратчайшему пути; ΔT — время задержки луча, распространяю-щегося под углом, близким к критическому.

Обратная ΔT величина называется шириной спектра пропускания (1/ΔT) и определяет ширину

спектра модулирующего сигнала, который может быть передан по волокну с малыми потерями. Ширина спектра пропускания уменьшается с увеличением длины волновода. Максимальная скорость передачи информации в ОВ с малыми искажениями определяется шириной спектра пропускания модулирующего сигнала (в зарубежной технической литературе модулирующий сигнал называют электрическим сигналом).

Хроматическая дисперсия — зависимость групповой скорости распространения моды от длины волны передаваемого сигнала.

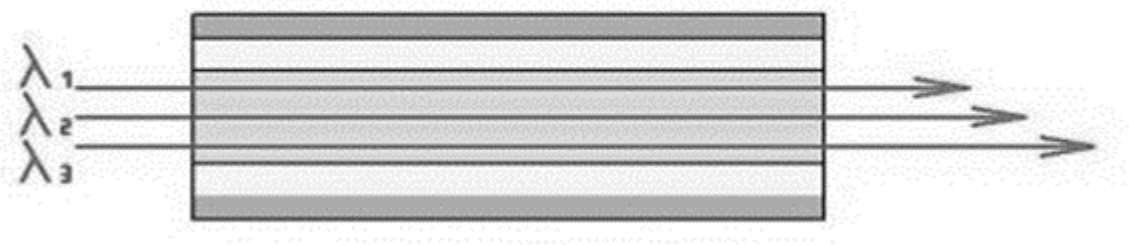

Рис.2. Хроматическая дисперсия вызывается различными длинами волны в источнике света

Расширение световых импульсов из-за хроматической дисперсии может быть скомпенсировано. Принцип компенсации заключается в том, что излучение проходит два участка: с положительной и отрицательной дисперсией. Световой импульс после прохождения отрезка волокна с положительной дисперсией расширяется т.к. его различные спектральные компоненты распространяются с разной скоростью. В результате импульс становится частотно модулированным: на фронте сосредоточены коротковолновые спектральные компоненты, а на спаде — длинноволновые компоненты. Это связано с тем, что в волокне с положительной дисперсией коротковолновые компоненты распространяются с большей скоростью, чем длинноволновые.

Во втором волокне с отрицательной дисперсией фронт импульса распространяется с меньшей скоростью, чем спад, и это приводит к сжатию импульса.

Волноводная дисперсия — это дисперсия реальных свето-водов, отличающаяся от дисперсии объёмной среды по причине наличия волноводной структуры, изменяющей эффективный показатель преломления моды.

Волноводная дисперсия обусловлена зависимостью эффективного показателя преломления от длины волны, что приводит к различию скоростей распространения частотных составляющих излучаемого спектра.

$$\tau_{\text{вол}}(\Delta\lambda, l) = \Delta\lambda * l * \frac{2n_1^2\Delta}{c\,\lambda} = \Delta\lambda * l * N(\lambda), \quad (2)$$

где: $\Delta\lambda$ — ширина спектра источника излучения; l — длина световода; n_1 — показатель преломления сердцевины; Δ — относительный показатель преломления; c — скорость света в вакууме; λ — длина волны излучения.

Типичная зависимость удельной волноводной дисперсии кварцевого одномодового волокна от длины волны приведена на рис. 3.

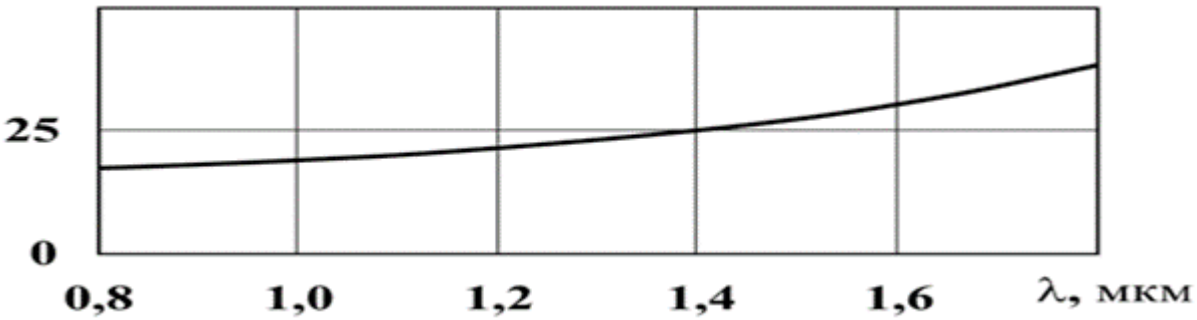

Рис.3. Зависимость удельной волноводной дисперсии кварцевого волокна от длины волны

Как видно из рисунка, удельная волноводная дисперсия *N(λ)* всегда больше нуля, т. е. положительная.

Вклад волноводной дисперсии зависит от:

1. Радиуса сердцевины.

2. Разности показателей преломления сердцевины и оболочки.

3. Числа оболочек.

При рассмотрении разновидностей дисперсий, были изучены различные виды дисперсий. Особенностями их распространения является тот факт, что короткий световой импульс вводится в волокно в пределах числовой апертуры, но не вся энергия достигает конца оптоволокна одновременно. Разные моды переносят энергию по разным длинам. Таким образом импульс, распространяясь по разным длинам светового пути, в оптическом волокне вызывает модовую дисперсию, которая влияет на затухание сигнала. Хроматическая дисперсия происходит, потому что световой импульс имеет разные длины волн, за счет своего уширения и перемещается по волокну с различными скоростями. Хроматическая дисперсия также уменьшает уровень сигнала и искажает его. Волноводная дисперсия представляет собой одну из составных частей хроматической дисперсии, которая обусловлена определенной зависимостью распространения моды от величины длины волны. Этот специфичный вид дисперсии относится к числу важнейших в одномодовых волокнах.

Основными особенностями распространения дисперсии в волоконно-оптических линиях передач является тот факт, что она оказывает большое влияние на снижение уровня сигнала. При рассмотрении данного вопроса можно сделать вывод, что все виды дисперсий приводят к битовым ошибкам и перекрёстным помехам.

Используемая литература:

1. Гвозд И.И., Соловьёв В.В., Хрусталев Р.Н. Теория электрической связи. Учебник (рек. ФГК ВОУ ВО «ВА РВСН»). — Серпухов: ФВА РВСН, 2019.

2. Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. Учебное пособие для ВУЗов (рек. УМО в области телекоммуникаций). — М.: ИНФРА. М, 2016.

3. Клюев Л.Л. Теория электрической связи. Учебник. (Утв. МО) — М.: ИНФРА. М, 2016.

4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. — М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2008.