

3. Методы и приборы для измерения основных параметров оптических волокон (ч.2)

3. Дисперсия в волоконных световодах и методы ее измерения.

3.1. Дисперсия в волоконных световодах.

В одномодовом волокне хроматическая дисперсия возникает вследствие взаимодействия двух явлений: материальной и волноводной дисперсии. Материальная дисперсия возникает из-за нелинейной зависимости показателя преломления кварца от длины волны передаваемого излучения и соответствующей групповой скорости. Волноводная дисперсия зависит от разности показателей преломления сердцевины и оболочки и от профиля показателя преломления. Поляризационная модовая дисперсия определяется поляризационными характеристиками волокна и оказывает влияние, сходное с влиянием хроматической дисперсии. Поляризационная модовая дисперсия второго порядка устанавливает крайний предел, до которого может быть компенсирована хроматическая дисперсия линии передачи.



Рис.3.1. Зависимость хроматической дисперсии от длины волны $D(\lambda)$ для световода со смещенной дисперсией.

По определению, приведенному в рекомендациях Международного союза электросвязи ITU-T G.650, хроматическая дисперсия – это уширение светового импульса в оптическом волокне, вызванное разностью групповых скоростей различных длин волн, составляющих спектр оптического информационного сигнала. Однако на практике применяется величина D , называемая коэффициентом хроматической дисперсии. Прямое измерение хроматической дисперсии путем измерения уширения импульса, прошедшего через световод. Чем выше скорость передачи информации, тем короче битовый импульс, и, как следствие, больше влияние дисперсии. Дисперсия в стандартных одномодовых световодах ограничивает передачу сигналов на длине волны 1550 нм со скоростями порядка 10 Гбит/с. Поэтому был разработан новый тип одномодовых световодов – со смещенной дисперсией (DSF – Dispersion Shifted Fiber, рекомендации ITU-T G.653). В них длина волны нулевой дисперсии смещена в область $\lambda = 1550$ нм (рис.3). Основным фактором, ограничивающим дальность передачи, снова оказываются потери в световоде, но уже заметно меньшей величины.

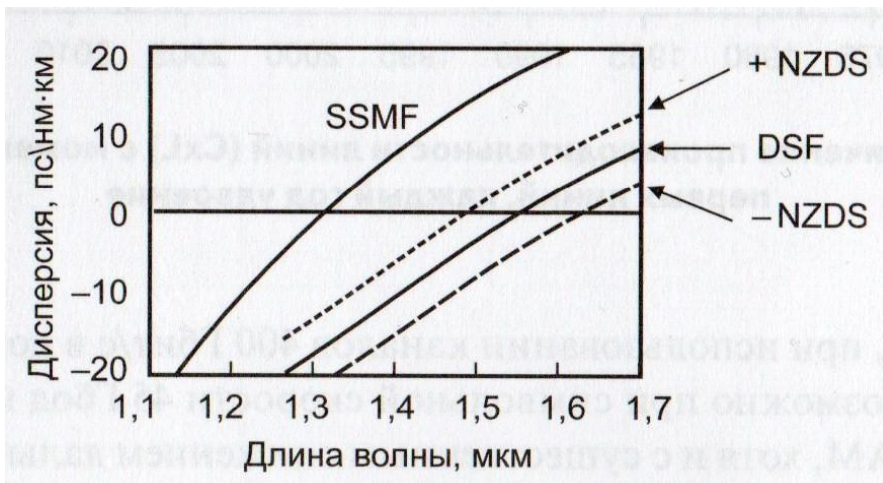


Рис.3.2. Зависимость хроматической дисперсии D волоконных световодов разных типов от длины волны передаваемого оптического сигнала. SSMF – Standard Single Mode Fiber – стандартный одномодовый световод, DSF – Dispersion Shifted Fiber – световод со смещенной дисперсией, NZDSF – Non-Zero Dispersion Shifted Fiber – световод с ненулевой смещенной дисперсией.

С внедрением систем спектрального уплотнения DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) от массового применения DSF-световодов пришлось отказаться. Вызвано это тем, что вблизи длины волны нулевой дисперсии возникают сильные перекрестные помехи из-за эффекта четырехволнового смешения волн (FWM- Four Wave Mixing).

При исследовании эффекта FWM выяснилось, что для его подавления достаточно, чтобы световод обладал небольшой (ненулевой) дисперсией. Поэтому были созданы световоды с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF – Non-Zero Dispersion Shifted Fiber, рекомендации ITU-T G.655). Они позволяют передавать сигналы со скоростями порядка 10 Гбит/с на расстояния порядка 150 км без компенсации дисперсии. Таким образом в наземных DWDM-системах связи наиболее широко применяются световоды NZDSF и SSMF.

3.2. Измерение хроматической дисперсии

Измерение хроматической дисперсии методом сдвига фаз.

Схема измерения хроматической дисперсии по методу сдвига фаз показана на рис.3.3.

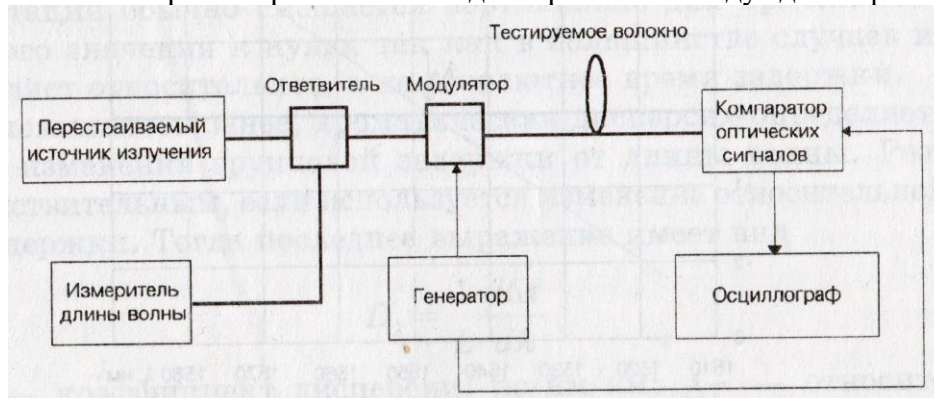


Рис.3.3. Схема измерения хроматической дисперсии одномодового волокна методом сдвига фаз.

Сигнал перестраиваемого источника излучения с узкой полосой частот модулируется по интенсивности и вводится в тестируемый световод, с выхода которого модулированный оптический сигнал поступает на измеритель фазы полученного сигнала относительно модулирующего электрического сигнала. Измерение фазы повторяется по всему диапазону длины волны с определением групповой задержки по формуле [95]:

$$\tau(\lambda) = \frac{\varphi(\lambda)}{2\pi f},$$

где f – рабочая частота, Гц, $\varphi(\lambda)$ – измеренный сдвиг фазы, рад.

На основе измеренных значений групповой задержки строится зависимость производной дисперсии от длины волны. Пример зависимости относительной групповой задержки и коэффициента дисперсии от длины волны приведен на рис.2.8.

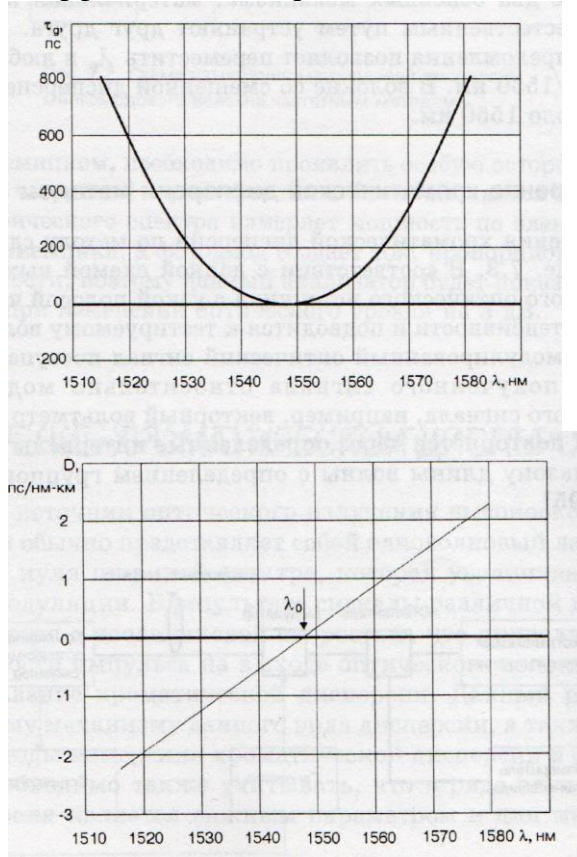


Рис.3.4. Результаты измерения групповой задержки $\tau(\lambda)$ и дисперсии D в световоде со смещенной дисперсией.

С учетом данных зависимостей значение коэффициента хроматической дисперсии D определяется выражением:

$$D = \frac{1}{L} \frac{d\tau(\lambda)}{d\lambda},$$

где $\tau(\lambda)$ – групповая задержка в пс, L – длина линии в км, λ - длина волны в нм.

Увеличение длительности импульса ΔT в пс в первом приближении можно записать как:

$$\Delta T = D\Delta\lambda L,$$

где $\Delta\lambda$ – ширина спектра модулированного светового сигнала, нм.

Таким образом, значение хроматической дисперсии возрастает с увеличением длины линии передачи или ширины спектра сигнала. В связи с этим *узкополосный* сигнал с центральной частотой λ_0 может распространяться на большие расстояния с минимальной деградацией, вызванной хроматической дисперсией. Однако, чем выше скорость передачи данных, чем короче битовый импульс, тем больше ширина его спектра.

Для оценки дисперсии на соседних длинах волн можно воспользоваться выражением:

$$D(\lambda) = S_o (\lambda - \lambda_o),$$

где S_o – коэффициент наклона кривой дисперсии при λ_o , пс/нм² км.

Для повышения точности измерения хроматической дисперсии обычно проводится подгонка соответствующей модели к измеренным данным. Уравнение модели выбирается в соответствии с типом измеряемого волокна. Так, для волокна с несмещенной дисперсией, в котором основное влияние оказывает материальная дисперсия, обычно используется трехзначное уравнение Селлмейера для:

$$\tau(\lambda) = A\lambda^2 + B + C\lambda^{-2}.$$

Квадратичное уравнение обычно используется для волокна со смещенной дисперсией, в котором доминирующей является волноводная дисперсия и имеет вид:

$$\tau(\lambda) = A\lambda^2 + B\lambda + C.$$

В некоторых случаях могут применяться другие уравнения.

Точность измерения хроматической дисперсии зависит от используемого оборудования. В первую очередь это касается точности измерения фазы в диапазоне ± 180 градусов в широком частотном диапазоне.

Точность длины волны также важна, так как действительное смещение фазы пропорционально заданной длине волны. В зависимости от целей измерения может оказаться достаточной точность установки длины волны перестраиваемого лазера или широкополосного источника, равная, например, 0,1 нм.

3.3. Измерение диаметра модового пятна

3.3.1. Диаметр модового пятна, измеряемый в ближнем поле, характеризуется распределением Гаусса. Полностью определяется двумя показателями: расстоянием между двумя точками, в которых мощность спадает в e – раз от максимального значения, и длиной волны.

Для приближенной оценки диаметра модового поля используется соотношение 7λ .

Измерение диаметра модового пятна W можно провести двумя способами: методом проходящих полей и методом поперечного сдвига.

3.3.2. Метод проходящих полей (метод ближнего поля) базируется на прямом измерении диаметра модового пятна с помощью хорошо сфокусированной оптики. Распределение мощности по торцу световода сканируется и передается на фотодиод, регистрирующий интенсивность в каждой точке ближнего поля.

3.3.3. Метод поперечного сдвига использует два последовательно соединенных световода. Размер диаметра модового пятна определяют по уровню $1/e^2$ функции передачи мощности в зависимости от смещения. Он имеет максимум при соосном расположении световодов.

Отличительной особенностью метода поперечного сдвига является его простота при точности измерения, не уступающей другим методам. Однако в отличие от предыдущего метода данный метод не позволяет определить геометрические параметры световода, в частности, диаметр и неконцентричность сердцевин и оболочек.

3.4. Длина волны отсечки

3.4.1. Длина волны отсечки одномодового волокна, определяющая самую низкую длину волны, при которой сохраняется одномодовый режим.

Диаметр модового пятна зависит от длины волны. Это свойство можно использовать для определения длины волны отсечки, которая определяется как линейная экстраполяция спектральной зависимости диаметра модового пятна $W(\lambda)$.

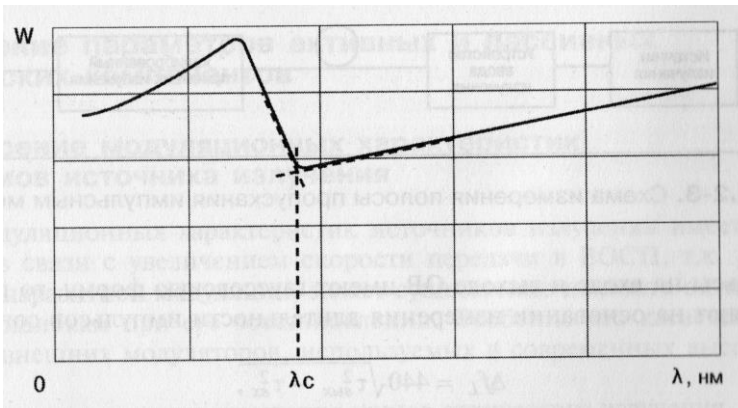


Рис.2.9. Измерение длины волны отсечки с использованием диаметра поля моды.

3.4.2. Метод широкополосного излучения

Для определения *длины волны отсечки* в короткое волокно вводится широкий спектр излучения, например, от вольфрамовой лампы. На выходе измеряется ослабление каждой спектральной составляющей. Длина волны отсечки измеряется как отсутствие непрерывности кривой ослабления. (В многомодовом режиме большой объем возбуждаемой мощности может достичь конца световода.)

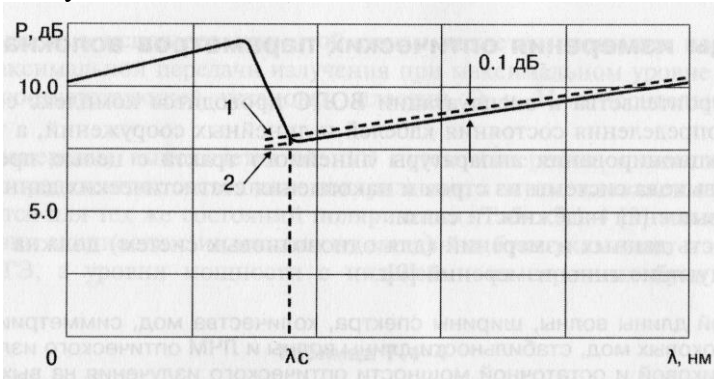


Рис.2.10. Измерение длины волны отсечки.

3.4.2. Метод изгиба

Другой метод измерения основан на условии, что моды более высокого порядка более чувствительны к изгибам волокна, чем фундаментальные моды. Важно обеспечить стабильность интенсивности излучения и постоянство длины волны, согласованной со спектральной чувствительностью детектора.