

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВОД И ВОИС

Умаров А. А.

Зарипов О. О.

Ташкентский государственный технический  
университет имени Ислама Каримова

Определить характеристики сигналов и компонентов спектрометрических ВОИС на основе волоконно-оптических дифракционных решеток (ВОДР) сложнее, чем при тестировании датчиков и систем с передачей сигнала на фиксированной длине волны. По существу, такие оптические параметры, как вносимые потери, затухание при отражении, поляризационные эффекты, должны тестироваться для целого диапазона длин волн. Продолжающееся внедрение и возрастающая сложность компонентов ВОДР поднимают вопрос об интеграции с существующими волоконно-оптическими измерительными системами технологий их контроля, а также полной автоматизации испытаний. Конечной целью измерений параметров сигналов в системах с ВОДР является проверка работоспособности распределенной ВОИС, которая формирует множество информационных потоков, т. е. подтверждение того, что полезная информация не только передается по всему оптическому тракту и что ее можно выделить из общего сигнала на принимающей стороне. Поскольку реальный сигнал имеет очень сложную структуру, к тому же меняющуюся во времени, то задачу контроля упрощают, измеряя несколько ключевых характеристик: спектральных, временных и поляризационных.

Основными, конечно, являются параметры спектра, связывающие длину волны излучения и его мощность, полученную от датчика на базе ВОДР в какой-либо точке оптического тракта. Анализ полученной зависимости позволяет достаточно точно судить о прохождении реальных сигналов, при условии незначительности нелинейных явлений, неизбежных в любой оптической системе. Важнейшими параметрами отдельного канала при контроле за являются центральная длина волны  $\lambda_0$ , максимальная (минимальная) мощность сигнала  $P_m$  и ширина спектра измерительного канала  $\Delta\lambda$ . Центральная длина волны должна соответствовать одному из расчетных значений. Канальная мощность представляет интерес для расчета отношения сигнал/шум, что позволяет судить о надежности выделения полезной информации из прошедшего сигнала. Уровень шума

при этом определяется по диаграмме спектра, точнее, по пороговому уровню сигнала. В протяженной линии ВОИС, на стадии создания и ввода в эксплуатацию необходимо применять эталонные источники лазерного излучения, поскольку при расчетах используется так называемое «актуальное» отношение сигнал/шум, т. е. разница между полезным сигналом и уровнем аккумулялированных шумов. В этом случае пороговый уровень включает в себя аккумулялированные шумы и, соответственно, располагается выше. Чем длиннее линия ВОИС, тем шире спектр сигнала, во-первых, из-за влияния нелинейных эффектов во всем волоконно-оптическом тракте и, главным образом, в оптических усилителях (если они используются), а во-вторых, в результате поляризационно-модовой дисперсии (ПМД) сигнала в оптической кабеле.

Контроль спектральной ширины канала особенно важен для систем с близкорасположенными каналами, где даже небольшое расширение сигнала в спектральной области может означать его переход в соседнюю область. Еще одна важная характеристика сигнала — стабильность указанных параметров во времени, в особенности стабильность центральной длины волны источника излучения в течение длительного времени, а также стохастические процессы вследствие, например, флуктуаций поляризационно-зависимых потерь на любом участке оптического тракта.

Если измерения параметров измерительного тракта дают неудовлетворительные результаты, то переходят к тестированию параметров отдельных компонентов: источников излучения, пассивных устройств и усилителей сигнала. Пассивные оптические компоненты — соединительные муфты, разъемы, разветвители — характеризуются вносимыми потерями, связывающими длину волны тестирующего сигнала с мощностью сигналов на входе спектроанализатора. При измерениях нелинейные эффекты обычно не учитываются, поскольку их практическая обработка слишком сложна. Поэтому о вносимых потерях судят только по нескольким параметрам работы каждого отдельного канала. В первую очередь, это максимальные вносимые потери и соответствующая им центральная длина волны канала. Максимальные вносимые потери — критическая величина для работоспособности системы, от которой зависит амплитуда переданного сигнала. Если вносимые потери превышают суммарно допустимые потери системы, то сигнал нужно дополнительно усилить, чтобы компенсировать такое ослабление.

Вместо полной функции зависимости вносимых потерь от длины волны используются две близкие по смыслу величины — полоса пропускания и пропускная способность. Ширина сигнала на уровне 1 дБ ниже максимума называется полосой пропускания, а ширина сигнала на уровне 20 дБ ниже максимума — пропускной способностью и относится обычно к устройствам фильтрации сигналов. При этом отношение указанных величин указывает на крутизну наклонов боковых сторон в диаграмме фильтра и существенно влияет на величину перекрестной связи каналов.

К пассивным элементам относится и волоконно-оптический кабель, основное влияние которого — вносимые потери, в том числе и поляризационно-зависимые. Нахождение сигнала в длинной линии оказывает значительное влияние и другой вид дисперсии — хроматическая, которая приводит к росту взаимного влияния соседних каналов.

Измерение и контроль оптических сигналов и компонентов обычно производятся по одной из трех методик: в первой используют лазер с перестройкой частоты и измеритель оптической мощности, в другой — широкополосный источник излучения и оптический анализатор спектра; третья методика предназначена для контроля поляризационно-зависимых потерь. Согласно первой схеме все каналы проверяются последовательно, для чего приходится так же последовательно перестраивать источник излучения. Для изменения длины волны в них как правило применяется принцип Фабри-Перо. Собственно источниками излучения служат лазеры с внешним резонатором или перестраиваемые полупроводниковые лазеры. Лазеры с перестройкой частоты дают излучение с точностью до 50 пм. С добавочным измерителем длины волны точность измерения повышается до 1 пм и выше. Для определения частоты тестируемого излучения используют принцип генерации и сравнения интерферограмм внутреннего и исследуемого сигналов. Таким образом, на вход подается монохроматическое излучение для одного определенного канала. Далее мощность сигнала измеряется в различных точках оптического тракта, для чего можно использовать обычный оптический ваттметр. По полученным данным рассчитываются вносимые потери отдельных участков тракта либо тестируемых устройств.

Главный недостаток этого метода — временные затраты, необходимые для перевода излучения в желаемый диапазон длин волн, а также для проверки длины волны дополнительным устройством.

Второй метод предусматривает использование широкополосного источника излучения, а также оптического спектроанализатора (ОСА). Широкополосный источник излучает во всем спектре частот проверяемого устройства. Таким образом, измерения проводятся для всех длин волн. При этом дополнительные устройства не требуются, поскольку анализатор спектра разделяет излучение по длине волны для всего диапазона и измеряет передаваемую мощность для каждой длины волны отдельно. Обычно ОСА позволяют контролировать центральную длину волны, расстояние между соседними каналами, а также общие характеристики, такие, как мощность, отношение сигнал/шум и др. Однако их разрешающая способность зависит от используемой модели и обычно ограничена 1 пм. Принцип работы ОСА состоит в разделении светового потока на монохроматические компоненты с последующим измерением мощности каждой составляющей. Тем самым, ОСА позволяет исследовать весь спектральный профиль сигнала в требуемом диапазоне длин волн. Далее профиль отображается на графике в координатах «длина волны—мощность».

Сегодня наибольшее распространение получили анализаторы на основе перестраиваемых фильтров, главным образом, работающих по принципу Фабри-Перо.

Диапазон длин волн определяет способность ОСА анализировать сигналы в определенном участке спектра. Он может быть выражен как в абсолютной шкале (например, 400 нм), так и указанием начальной и конечной длин волн (т. е., например, от 1250 до 1650 нм). Многие из имеющихся сегодня систем с ВОДР построены так, что все каналы расположены в С-зоне — от 1525 до 1565 нм, именно в этом диапазоне длин волн эрбиевые усилители функционируют наиболее эффективно.

При заполнении С-зоны дополнительно используют L-зону (L — long) для волн с длиной, большей, чем 1565 нм, в результате чего число каналов может быть увеличено до 160 и более. Переход в S-зону (S — short), с длиной волны менее 1490 нм, позволяет увеличить число каналов до 200 и выше, что в перспективе дает возможность осуществить дешевые реализации ВОДР в области 1310 нм. Большинство современных эффективных ОСА представляют собой вставные модули с шиной PCI или с интерфейсом USB, разработанные как для монтажников ВОИС, так и для исследовательских нужд.

Промышленный ОСА фирмы “NP Photonics” в виде PCI платы, содержит сверхчувствительный фотоприемник со встроенной калибровкой и некогерентный равномерный источник света. Характеристики ОСА приведены ниже в Таблице 3. Блок ОСА предназначен для зондирования больших массивов волоконно-оптических дифракционных датчиков.

Таблица 3

Параметр	Величина	Примечание
Диапазон оптической мощности	- 60 дБм ÷ + 10 дБм	
Оптический вход/выход	Одномодовый	Соединитель FC / APC
Разветвитель/Циркулятор	3 дБ / 0,7 дБ	Объединяет вход/выход
Полная выходная мощность	13 дБм	Стандартное значение
Спектральный диапазон	1525 – 1565 нм	C – область
Спектральная точность	± 15 пм	Возможна и выше
Время сканирования	0,5 с	Минимальное
Потребляемая мощность	< 3 Вт	Типично
Интерфейс с компьютером	PCI	
Язык команд	SCPI	Язык команд
Температурный диапазон	0 до 65 0С	
Габаритные размеры	180 x 110 x 18	
Масса нетто	2,5 кг	Брутто 4,0 кг

В технологии волновых оптических мультиплексоров (ВОМ) и ВОДР существенное влияние на качество передачи информации оказывают поляризационно зависимые потери (ПЗП), т. е. различие в потерях по-разному поляризованных мод излучения. Фотоприемник реагирует на комбинацию этих мод, и результирующий импульс света хаотически изменяется по амплитуде. Чтобы избежать порождаемых таким явлением нежелательных эффектов, оптические характеристики устройств тракта с ВОДР должны быть слабо чувствительными к поляризации излучения. Наличие ПЗП выражается в максимальном изменении мощности сигнала на выходе устройства. При расчете полных вносимых потерь необходимо

вводить поправку на ПЗП. Потенциальные неисправности системы, вследствие чрезмерной чувствительности компонентов к виду поляризации сигнала, могут быть минимизированы, если каждый компонент протестировать по величине ПЗП, а затем включить в расчет величины общих потерь системы самый худший вариант.

ПЗП могут быть измерены одним из двух методов, для каждого из которых требуется специальный поляризационный контроллер, способный генерировать сигнал с различной поляризацией.

Первый подход использует контроллер для генерации сигналов различной поляризации. Оптические потери вычисляются по наблюдаемой выходной мощности прошедшего сигнала. Максимально наблюдаемые потери на выходе принимаются за величину ПЗП тестируемого устройства. Данный метод представляется трудоемким, поскольку для определения величины поляризационно-зависимых потерь требуется провести целую серию измерений.

Второй подход состоит в том, что на проверяемое устройство подается набор сигналов определенных видов поляризации: горизонтальной, вертикальной, диагональной и правой круговой поляризации. Чтобы вычислить ПЗП по зарегистрированной для каждого состояния выходной мощности, применяется анализ Мюллера-Стокса. Главное преимущество этого подхода — минимум измерений. К автоматизированной системе тестирования компонентов ВОИС с ВОДР предъявляются не только чисто технические требования, но и, например, обеспечение максимальной производительности при минимальном влиянии человеческого фактора на результаты измерений. Одна из основных целей автоматизированной измерительной системы — уменьшить время полного цикла измерений. Сколько времени потребуется для измерения характеристик проверяемого устройства, зависит прежде всего от следующих параметров:

- скорости сбора данных и их измерения оптическим ваттметром;
- скорости работы оптического спектроанализатора;
- угловой скорости вращения поляризационного контроллера.

Использование прикладного программного обеспечения для упрощения и автоматизации рутинных действий в хорошо разработанной и интегрированной измерительной системе уменьшает количество ошибок измерения. Кроме того, операторы избавляются от необходимости проводить ручные измерения и настраивать нужные устройства, что также

увеличивает общую производительность. Это программное обеспечение как правило должно обладать:

- интегрированным системным интерфейсом пользователя;
- механизмом управления измерительными приборами;
- вычислительными средствами для обработки данных;
- возможностью архивации результатов;
- генератором отчетов.

Применение технологий ВОИС с ВОДР существенно расширяет возможности сбора информации, но, вместе с тем, усложняет процесс наладки и контроля оборудования.

Исправить этот недостаток можно, используя современные высокоэффективные оптические анализаторы. В таких системах очень важное место занимает программное обеспечение, позволяющее оператору в автоматическом или полуавтоматическом режиме выполнять весь комплекс измерений.

#### **Литература:**

1. Ишанин Г.Г., Панков Э.Д., Челибанов В.П. Приемники излучения. -М. Физматлит, 2003. – 383 с.
2. Ёдгорова Д.М., Ашрапов Ф.М. Исследование примесного фотоэффекта в двухбарьерных р-п-п-структурах. Технология конструирования в электронной аппаратуре. 2006. №. 3. С. 40-47
3. Репин В.Н. Волоконно-оптические соединители. - Технологии и средства связи, 2004, № 2, с. 72 – 78.
4. Мурашкина Т. И. Выбор параметров амплитудных ВОД для ВОССД // Российский космический бюллетень, 1998. ДСП - 2.
5. Мурашкина Т. И. Состояние проблемы ВО датчикоостроения // Состояние и проблемы технических измерений: Тез. докл. Всероссийск. науч. -техн. конф. 24-26 ноября 1998. - Москва, 1998. - С. 183-184.