

2. Методы и приборы для измерения основных параметров оптических волокон (ч.1)

Измерение потерь проводится в соответствии с ГОСТ 26599-85 (Метод измерения вносимого затухания) и ГОСТ 26814-86 (Кабели оптические. Методы измерения параметров) ГОСТ 52266-2004. (Кабельные изделия. Кабели оптические. Общие технические условия. 2004). Зарубежными аналогами этих методов измерения потерь являются EIA FOTP (Fiber Optic Test Procedure) – 171; EAI/TIA FO 2.1 OFSTP-7 (для одномодовых световодов) и OFSTP-14 (для многомодовых световодов), а также TR NWT – 000326 (рекомендации Bellcore).

2.1 Тестер

Оптический тестер применяется для измерения мощности оптического излучения в абсолютных и относительных единицах и определения потерь в волоконно-оптических световодах и кабелях. Это, без преувеличения, самое распространенное и наиболее доступное рабочее средство измерения. Тестер используется при входном контроле параметров оптического кабеля, его монтаже, приемо-сдаточных испытаниях кабельной системы, контроле выходных параметров активного оборудования, при обслуживании действующей линии. Преимущества тестера: простота использования, малые габариты и вес, автономное питание, сравнительно низкая стоимость приборов. Основные требования к оптическим тестерам перечислены ниже:

- большой динамический диапазон, достаточный для тестирования участков кабеля между усилителями;
- высокая точность измерения в соответствующем спектральном диапазоне;
- долговременная стабильность параметров;
- малое энергопотребление, обеспечивающее длительную работу от одного комплекта батарей.

По конструктивному исполнению тестеры подразделяются на два типа: первый – это комплекты из двух приборов – источника и измерителя, и второй – совмещающий в одном корпусе источник и измеритель. Рассмотрим работу источников и измерителей, входящих в состав тестера.

2.1.1. Источники

Основные требования к источникам - обеспечение требуемой мощности в волоконном световоде и долговременная временная стабильность параметров излучения. В качестве источников для тестеров используются полупроводниковые лазерные диоды преимущественно для одномодовых применений и светодиоды для многомодовых линий. Лазерные диоды мощнее и угловая апертура их излучения меньше, поэтому мощность, вводимая в волоконный световод выше, чем в случае использования светодиода. Однако стоимость лазеров выше. Достигаемая на практике мощность излучения от лазерного источника в одномодовом волоконном световоде позволяет тестировать кабели длиной до 250 км, что достаточно при существующих длинах регенерационных участков на магистральных линиях связи. Однако точность измерения сильно зависит от стабильности оптического излучения. Для повышения временной стабильности параметров излучения полупроводниковых лазеров при их изготовлении используют комбинацию различных технических решений. Для согласования волноводных параметров лазера с параметрами волоконного световода и уменьшения отражений между выходной гранью лазера и торцом волокна, резонатор лазера покрывается с одной стороны просветляющим покрытием. Такое покрытие, кроме хорошего согласования, снижает амплитудные и фазовые шумы источника. С другой стороны резонатора устанавливается фотодиод обратной связи. Обратная связь по

фототоку позволяет контролировать выходную мощность лазера и компенсировать флуктуации оптического излучения, вызванные температурной чувствительностью полупроводниковой структуры. Для уменьшения зависимости выходной мощности оптического излучения от температуры подложки и стабилизации последней применяются термокомпенсирующие элементы, управляемые внешними электронными схемами. Совокупность этих мер позволяет обеспечить стабильность энергетических параметров источника в течение длительного времени.



Рис.2.1. Источник оптического излучения ОТМ-1.

Светодиодные полупроводниковые источники, наиболее часто применяемые в локальных компьютерных сетях, характеризуются более широкой диаграммой направленности, практически изотропной в азимутальном направлении. Уровни мощности, вводимые в стандартный многомодовый волоконный световод, в среднем на порядок ниже, чем в случае использования полупроводниковых лазеров. Так как длины сегментов компьютерных сетей на многомодовых кабелях в соответствии с действующими стандартами не превышают 2 км, этой мощности вполне достаточно для проведения измерений.

2.1.2. Измерители

С точки зрения практического использования важна не столько мощность оптического излучения, введенного в световод, а такой параметр, как динамический диапазон измерений для данного тестера, измеряемый в дБ интервал между мощностью источника и порогом чувствительности измерителя. Динамический диапазон определяет максимальное затухание оптического сигнала, которое может быть измерено данным комплектом приборов.

Входящие в состав тестера измерители должны обеспечивать низкий порог чувствительности, широкий спектральный диапазон измерений, равномерную чувствительность в заданном спектральном диапазоне или на длинах волн калибровки.

Основным элементом измерителя является фотодиод, чувствительность (R) которого определяет отношение выходного фототока к падающей оптической мощности и измеряется в А/Вт: $R \sim h \cdot I$, где h - квантовая эффективность (соответствие количества электронов на выходе фотодиода количеству падающих на его фоточувствительную площадку квантов света), I - длина волны оптического излучения. Для идеального фотодиода $h = 1$. На рис.2.2 представлены спектральные зависимости чувствительности для некоторых фотодиодов.

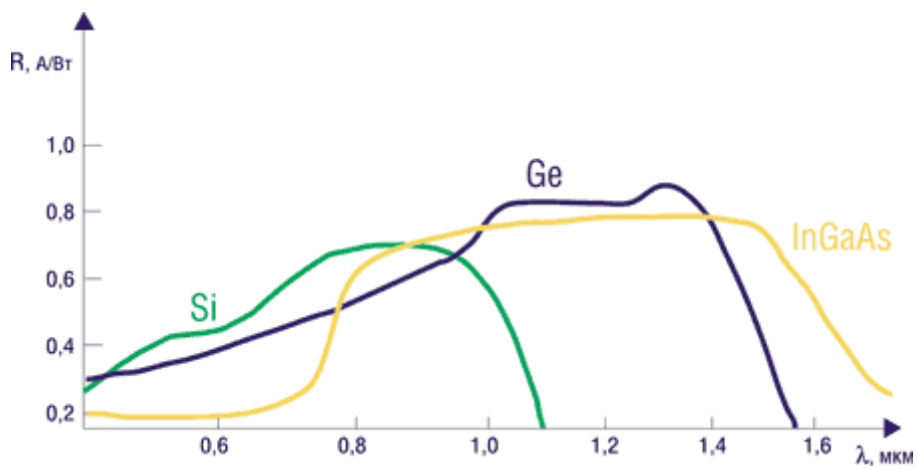


Рис.2.2. Спектральные зависимости чувствительности R (А/Вт) для некоторых фотодиодов.

В ближнем ИК диапазоне высокая квантовая эффективность у кремниевых фотодиодов. В области длин волн 1,0 ... 1,6 мкм высокой квантовой эффективностью характеризуются фотодиоды на основе германия (Ge). Фотодиоды на основе тройных (InGaAs) и четверных (InGaAsP) соединений при прочих равных условиях могут использоваться в более широком спектральном диапазоне. Этим обусловлено все возрастающее применение в тестерах именно таких фотоприемников и эта тенденция еще более усиливается в связи с развитием систем со спектральным уплотнением. Компенсация неравномерности спектральной чувствительности фотодиодов достигается за счет соответствующих схем обработки. В приборах более высокого класса калибровка компенсации неравномерности может осуществляться с заданным шагом по длине волны, например, 1 нм или 5 нм.



Рис.2.3. Измеритель оптической мощности OTM-1.

Применяемые в настоящее время фотоприемники имеют довольно широкую фоточувствительную площадку: типовой размер такой площадки фотодиода на основе InGaAs - 1 мм, на Si и Ge – 5 мм. Эти размеры существенно больше размеров модового пятна на выходе волоконного световода, что позволяет использовать одни и те же измерители как на одномодовых, так и на многомодовых линиях.

2.2. Методы измерения прямых потерь.

Для проведения таких измерений используются различные методы. Остановимся подробнее на самых распространенных.

2.1.1. Метод вносимых потерь (метод замещения)

Применяется для определения потерь на разъёмном соединении (рис.1.2) и для определения потерь в оптическом кабеле.

В первом случае источник соединяется с измерителем калибровочным шнуром и измеряется уровень мощности P_1 . Затем последовательно с калибровочным шнуром включается тестируемый объект и измеряется значение P_2 . Потери α в дБ, внесенные разъемным соединением K_1 , определяются как

$$\alpha_{12} = 10 \lg \left(\frac{P_1}{P_2} \right),$$

где P_1 и P_2 измеряются в Вт, или

$$\alpha_{12} = P_1 - P_2$$

Где P_1 и P_2 измеряются в дБм. После этого измерения повторяются для второго коннектора K_2 тестируемого шнура. Современные модели тестеров позволяют занести значение P_1 в память прибора, и в дальнейшем автоматически вычитать из него результат измерения P_2 .

Во втором случае измерения уровня P_1 проводятся на двух соединенных между собой калибровочных шнурах. Затем вместо второго шнура, подключенного к приемнику, включается тестируемый кабель и фиксируется значение P_2 . Величина потерь α_{12} определяется аналогично первому случаю. Затем выходы кабеля меняются местами и измерения повторяются, фиксируется значение α_{21} . Потери в кабеле определяются как среднее между α_{12} и α_{21} .

Тестирование соединительных шнуров и входной контроль кабеля производится по данному методу с помощью одного тестера или мультиметра, в то время как для измерений потерь в линии необходимо 2 тестера или мультиметра, по одному с каждой стороны. В последнем случае необходимо провести сличение показаний приборов: реперный уровень P_1 на измерителе первого тестера определяется по сигналу источника второго комплекта и наоборот. После этого бригады метрологов, работающие на двух концах линии, подключают последовательно ко всем волокнам кабеля сначала первый источник и второй измеритель, фиксируют значение α_{12} , затем наоборот, и проводят измерения α_{21} во встречном направлении. Поскольку потери во встречных направлениях могут отличаться друг от друга, то производится усреднение результатов измерений α_{12} и α_{21} .

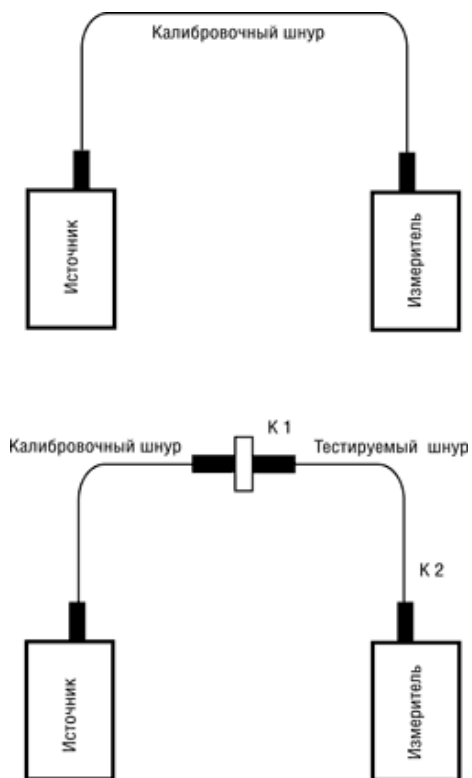


Рис.2.4. Измерение оптических потерь методом замещения.

2.2.2. Метод обрыва:

Этот метод применяется для измерения потерь в оптических кабелях до их прокладки и оконцевания коннекторами. Метод базируется на сравнении уровня мощности на выходе длинного тестируемого отрезка кабеля с уровнем, измеренным на его коротком участке, образованном путем обрыва кабеля в начале измеряемого образца. Другими словами, сначала измеряется уровень P_2 на выходе строительной длины кабеля. Затем волокно обрывают вблизи источника и проводят измерения P_1 на этом коротком участке. Потери определяются аналогично предыдущему случаю.

Этот метод считается более точным, чем метод вносимых потерь, но он требует качественной подготовки торцов волокна и строгого соблюдения правил измерения.

2.2.3. Метод сравнения (сличения)

Используется для определения потерь в кабеле.

Сигнал от источника при помощи равноплечного ответвителя делится на два канала, один из которых подается непосредственно на измеритель и служит реперным уровнем, а второй вводится в оптический кабель и затем на вход того же измерителя. Разница значений мощности между первым и вторым каналом дает величину потерь в кабеле. Достоинство метода в высокой точности, так как исключается влияние флуктуаций выходной мощности источника с течением времени. Используется этот метод преимущественно на заводах при выходном контроле параметров кабеля, при его испытаниях и т.д.

2.2.4. Метод сопряжения волокон

Применяется для определения потерь в кабеле с числом волокон не менее трех. Источник и приемник подключаются к волокнам кабеля на одной стороне линии. На другой стороне

линии волокна поочередно стыкуются между собой, так что сигнал, пришедший с первой стороны по одному волокну, возвращается обратно по другому волокну этого же кабеля. Обозначим как L_{12} результат измерения потерь при стыковке первого и второго световодов в кабеле: $L_{12} = \alpha_1 + \alpha_2$. Аналогично для других пар волокон: $L_{13} = \alpha_1 + \alpha_3$, $L_{23} = \alpha_2 + \alpha_3$. Тогда потери в одном световоде можно определить по результатам трех измерений: L_{12} , L_{13} и L_{23} :

$$\alpha_1 = 0.5 (L_{12} - L_{23} + L_{13}),$$

$$\alpha_2 = 0.5 (L_{12} + L_{23} - L_{13}),$$

$$\alpha_3 = 0.5 (-L_{12} + L_{23} + L_{13}).$$

Метод легко распространить на любое количество волокон, более трех. Преимущество метода – возможность проведения всех измерений с одной стороны кабеля. Для тестирования кабелей на линиях большой протяженности можно пользоваться одним комплектом приборов (источник + измеритель). Легко повторить измерения в обратном направлении (L_{21} , L_{32} , L_{31}). Ограничение точности измерений этим методом – разброс потерь на стыковке волокон с другой стороны кабеля. Поэтому метод используется при достаточной длине световодов в кабеле, когда вкладом этой погрешности (порядка 0.1 дБ) можно пренебречь.