

## РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ОПТИЧЕСКОГО СИГНАЛА В РАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНИТЕЛЯХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

**Цель работы:** оценить потери оптических сигналов в разъемных соединителях.

### Краткие сведения из теории

Назначение **оптического соединителя (ОС)** – обеспечить прохождение света из одного элемента волоконно-оптической системы передачи (ВОСП) в другой, внося при этом минимальные оптические потери на стыке. Оптический соединитель должен обеспечить параметры стыка не только в нормальных климатических условиях, но и при воздействии различных внешних факторов. Должна также обеспечиваться стабильность вносимых потерь на стыке при многократном соединении/разъединении (воспроизводимость соединения).

Документами, определяющими основные характеристики и параметры разъемов для всего мира, являются рекомендации МЭК (IEC). Основными рекомендациями МЭК для данного случая являются: IEC 60874 (для оптических разъемов) и IEC 61754 (для оптических интерфейсов). В рекомендации IEC 61300 приводятся методы испытаний и измерений параметров.

Наиболее важными параметрами оптических разъемов являются: вносимые потери и возвратные потери (потери на отражение).

Качество оптического разъема в первую очередь определяется величиной **вносимых потерь**:

$$\alpha = 10 \cdot \lg \left( \frac{P_{in}}{P_{out}} \right). \quad (1)$$

где  $P_{in}$  – мощность оптического сигнала на входе соединителя;

$P_{out}$  – мощность оптического сигнала на выходе соединителя.

Вносимые потери обычно зависят от типа волокна, типов и качества соединителей и составляют от 0,3 до 0,5 дБ.

Рассмотрим конструктивные факторы, влияющие на величину этих потерь, условно разделяемых на два вида: внешние и внутренние. К внешним факторам относятся зависимости вносимых потерь от несовершенства конструкции разъема.

Для соединителей одномодового волокна основное влияние на величину вносимых потерь оказывают следующие факторы:

1) осевое смещение  $L$  одного волокна относительно другого (рисунок 1) рассчитывается по аналитической формуле

$$\alpha_L = 4,34 \left( \frac{2L}{d_1 + d_2} \right)^2, \quad (2)$$

где  $L$  – величина осевого смещения, мкм;

$d_1$  – диаметр поля моды первого волокна, мкм;

$d_2$  – диаметр поля моды второго волокна, мкм;

2) угловое смещение осей соединяемых волокон оптических разъемов (рисунок 2):

$$\alpha_{\Theta} = -10 \cdot \lg e^{-\left( \frac{\pi(d_1 + d_2)m\Theta}{2\lambda} \right)^2}, \quad (3)$$

где  $\Theta$  – угловое смещение осей волокон, град;

$\lambda$  – длина волны, нм;

$n$  – показатель преломления среды, заполняющей зазор.

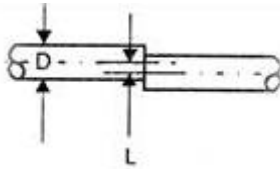


Рисунок 1 – Осевое смещение оптических волокон

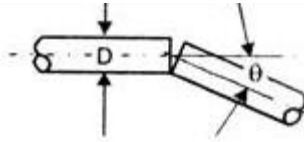


Рисунок 2 – Угловое смещение оптических волокон

В разъемах с одномодовыми оптическими волокнами основной причиной вносимого затухания является поперечное смещение одного волокна относительно другого. Угловое смещение также оказывает значительное влияние на вносимое затухание разъема.

**Внутренние факторы**, влияющие на величину оптических потерь разъема:

1) потери, вызванные неидеальностью соединяемых волокон (отличием диаметров их сердцевин и оболочек, различием их эллиптичности и концентричности). Данный вид потерь, дБ, сказывается только тогда, когда диаметр сердцевины «передающего» волокна больше диаметра сердцевины «принимающего» волокна, и определяется как:

$$\alpha_1 = 10 \cdot \lg \left( \frac{D_1}{D_2} \right), \quad (4)$$

где  $D_1, D_2$  – диаметры сердцевины «передающего» и «принимающего» волокон, мкм;

2) потери, вызванные различием величины показателя преломления сердцевины волокон, а также профиля показателя преломления (ступенька, градиент), дБ. Они являются следствием Френелевского отражения и в слу-

чае стыковки волокон со ступенчатым профилем показателя преломления вычисляются как

$$\alpha_2 = -10 \cdot \lg \left( 1 - 2 \left( \frac{n_1 + n_2 - 2n}{n_1 + n_2 + 2n} \right)^2 \right), \quad (5)$$

где  $n_1, n_2$  – показатели преломления первого и второго волокон;

3) потери, вызванные различием апертур соединяемых волокон, дБ. Данный вид потерь возникает в случае, когда апертура «передающего» волокна  $NA_1$  больше апертуры «принимающего» волокна  $NA_2$ , и определяется как

$$\alpha_3 = 10 \cdot \lg \left( \frac{NA_1}{NA_2} \right)^2. \quad (6)$$

При  $NA_1 < NA_2$  апертурные потери не возникают;

4) потери, связанные с различием диаметров модового поля стыкуемых волокон, дБ

$$\alpha_4 = 20 \cdot \lg \left[ \left( \frac{2d_1 d_2}{d_1^2 + d_2^2} \right)^2 \right]. \quad (7)$$

Внутренние факторы невозможно контролировать. Следует аддитивно учитывать все эти потери. Можно ожидать случайное изменение этих факторов даже в том случае, когда волокна одинакового стандарта или с одной и той же катушки. Эти факторы проявляются меньше на непрерывном сегменте оптического кабеля, так как они плавно меняются с длиной. На внутренние потери влияет технология производства волокна и соответствующие критерии контроля качества, а не конструктор соединителя. Зная разброс значений перечисленных выше параметров, можно определить максимальное значение внутренних потерь.

**Возвратные потери** (коэффициент обратного отражения) оптического разъема:

$$RL = -10 \cdot \lg \left( \frac{P_1}{P_2} \right), \quad (8)$$

где  $P_1, P_2$  – мощность отраженного и прямого оптических сигналов.

Лучшими характеристиками обладает разъем с более высокими (по абсолютной величине), отрицательными возвратными потерями.

Основным фактором, определяющим эффект обратного отражения, является Френелевское отражение на границе раздела двух сред «кварц – воздух». Для уменьшения уровня возвратных потерь используют так называемую сферическую полировку оптических волокон. Уменьшение отражения

в этом случае происходит за счет более качественного плотного контакта между торцами волокон, а также из-за того, что обратное отражение будет направлено в сторону от оси разъема.

### Порядок выполнения работы

1 Изучить краткие сведения из теории.

2 В соответствии с шифром из таблиц 1, 2 и 3 выбрать исходные данные для расчета потерь оптического сигнала в разъёмных соединителях оптических волокон.

**Таблица 1 – Исходные данные первого волокна для расчета потерь оптического сигнала в разъёмных соединителях оптических волокон**

Первая цифра шифра	$d_1$ , мкм	$D_1$ , мкм	$NA_1$	$n_1$
0	9,5	8,0	0,100	1,483
1	9,9	8,2	0,105	1,481
2	10,3	8,4	0,110	1,479
3	10,7	8,6	0,115	1,477
4	11,1	8,8	0,120	1,475
5	11,5	9,0	0,130	1,473
6	11,9	9,2	0,135	1,471
7	12,3	9,4	0,140	1,469
8	12,7	9,6	0,145	1,467
9	13,1	9,8	0,150	1,465

**Таблица 2 – Исходные данные второго волокна для расчета потерь оптического сигнала в разъёмных соединителях оптических волокон**

Последняя цифра шифра	$d_2$ , мкм	$D_2$ , мкм	$NA_2$	$n_2$
0	13,3	9,9	0,103	1,466
1	12,9	9,7	0,108	1,468
2	12,5	9,5	0,113	1,470
3	12,1	9,3	0,118	1,472
4	11,7	9,1	0,123	1,474
5	11,3	8,9	0,128	1,476
6	10,9	8,7	0,133	1,478
7	10,5	8,5	0,138	1,480
8	10,1	8,3	0,143	1,482
9	9,7	8,1	0,148	1,484

3 По формулам (2) и (3) рассчитать вносимые потери, вызванные осевым и угловым смещением оптических волокон в разъеме.

4 По формулам (4)–(7) рассчитать вносимые потери, вызванные внутренними факторами разъемов.

5 Вычислить суммарные потери оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон.

6 Построить график зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон от величины осевого смещения одного волокна относительно другого в диапазоне от 0 до 2 мкм.

*Таблица 3 – Длина волны, величины осевого и углового смещения, показатель преломления среды, заполняющей зазор в разветвителе*

Последняя цифра суммы первой и последней цифр шифра	$\lambda$ , нм	$L$ , мкм	$\Theta^\circ$	$n$
0	1537,40	1,4	0,5	1,10
1	1538,98	1,2	1,5	1,09
2	1540,56	1,0	2,5	1,08
3	1542,14	0,8	3,5	1,07
4	1543,73	0,6	4,5	1,06
5	1545,32	0,5	5,0	1,05
6	1546,92	0,7	4,0	1,04
7	1548,51	0,9	3,0	1,03
8	1550,12	1,1	2,0	1,02
9	1551,72	1,3	1,0	1,01

7 Построить график зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон от величины углового смещения осей соединяемых волокон в диапазоне от 0 до 7°.

8 Построить график зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон из-за потерь, вызванных различием величины показателя преломления сердцевин волокон, а также профиля показателя преломления (ступенька, градиент) от показателя преломления среды, заполняющего зазор между волокнами в диапазоне от 1 до 2.

### **Содержание отчета**

1 Цель работы.

2 Исходные данные для выполнения практической работы.

3 Расчет вносимых потерь, вызванных осевым и угловым смещением оптических волокон в разьеме.

4 Расчет вносимых потерь вызванных внутренними факторами разъемов.

5 График зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон от величины осевого смещения одного волокна относительно другого.

6 График зависимости потерь оптического сигнала в разъемных соединителях оптических волокон от величины углового смещения осей соединяемых волокон.

7 Вывод по работе.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Назначение и параметры оптических соединителей.
- 2 Внешние факторы, влияющие на потери в оптических соединителях.
- 3 Внутренние факторы, влияющие на потери в оптических соединителях.
- 4 Суть Френелевского отражения.