

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 Θ – угловое смещение осей волокон, град;

λ – длина волны, нм;

n – показатель преломления среды, заполняющей зазор.

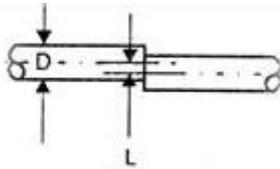


Рисунок 1 – Осевое смещение оптических волокон

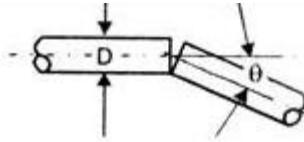


Рисунок 2 – Угловое смещение оптических волокон

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 разъемных соединителях оптических волокон.

Таблица 1 – Исходные данные первого волокна для расчета потерь оптического сигнала в разъемных 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 разъемных 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	λ , нм	L , мкм	Θ°	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.