

Лабораторная работа № 4

Ослабление сигнала в волоконных световодах

Цель работы – определение зависимости оптических потерь от длины волоконного световода.

Уменьшение потерь мощности оптического сигнала, передаваемого по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС), долгое время было, и в значительной степени остается до сих пор, основной проблемой для изготовителей и разработчиков этих систем передачи информации. За время, прошедшее с момента создания ВОЛС (1966 г.), ослабление сигнала в них удалось снизить более чем в 1000 раз. Однако для современных линий связи, в которых необходимо сочетать высокую скорость передачи информации и точность ее воспроизведения, достигнутый уровень потерь еще слишком высок.

Потери мощности оптического сигнала по различным причинам возникают во всех элементах ВОЛС: оптических соединениях, волоконных световодах (ВС), приемнике излучения. Для их количественного описания применяют большое число физических величин, часть которых, к сожалению, не унифицирована. В настоящей книге, исходя из международных и национальных стандартов [3], а также сложившейся практики [16], используются следующие названия, обозначения и единицы наиболее употребительных величин такого рода.

Коэффициент пропускания (оптического сигнала элементом ВОЛС) τ – величина, равная отношению мощности сигнала на выходе элемента ВОЛС (соединения, ВС) P к мощности сигнала на входе этого элемента P_0 :

$$\tau = \frac{P}{P_0}.$$

Коэффициент пропускания – величина безразмерная, ее единицей служит число 1, в технике чаще всего выражается в процентах.

Коэффициент ослабления β – логарифмическая величина, численное значение которой определяет соотношение

$$\beta = -10 \lg \tau = -10 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right). \quad (1)$$

Эту величину часто называют коэффициентом затухания (мощности). Единицей коэффициента ослабления, определенного формулой (1), является *децибел*.

Показатель ослабления (оптического сигнала в элементе ВОЛС) – логарифмическая величина, которую задает формула

$$\mu = \frac{\beta}{L}, \quad (2)$$

где L – длина элемента ВОЛС. Эту величину в разных изданиях называют, ослаблением, коэффициентом ослабления, коэффициентом затухания (мощности) и т.п. Наиболее часто употребляемой единицей показателя ослабления для ВС служит *децибел на километр*.

Используется также (в основном в теоретических расчетах) *линейный показатель ослабления* (оптического сигнала в элементе ВОЛС) μ' , который входит в наиболее часто встречаемый закон изменения мощности (интенсивности, потока излучения) сигнала P по длине элемента z :

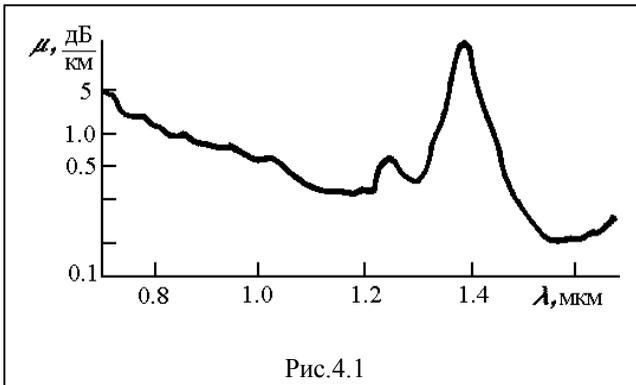
$$P = P_0 e^{-\mu' z}, \quad (3)$$

где P_0 – мощность сигнала на входе элемента ВОЛС ($z = 0$). Единица линейного показателя ослабления – *метр в минус первой степени*.

Из определений (1) – (3) вытекает, что в случае однородного ВС численное значение показателя ослабления μ (в дБ/км) связано с численным значением линейного показателя ослабления μ' (в м^{-1}) соотношением

$$\mu = 4,3 \cdot 10^3 \mu'. \quad (4)$$

Материалом, из которого изготовлены подавляющее большинство волоконных световодов, применяемых в современных ВОЛС, служит кварцевое стекло (с возможным включением различных примесей). Такие ВС имеют минимальные потери в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах длин волн (0,8 – 1,8 мкм). Сказанное иллюстрирует рис. 4.1, на котором



показан типичный спектр оптических потерь одномодового кварцевого ВС.

Ослабление оптического сигнала в кварцевом ВС в указанной спектральной области определяется фундаментальными механизмами поглощения и рассеяния света в стеклах, а также поглощением примесями и дефек-

тами структуры. К фундаментальным механизмам оптических потерь в кварцевых стеклах относятся:

- поглощение, обусловленное электронными переходами (на длине волны 0,8 мкм не превышает 1 дБ/км);
- ИК-поглощение, обусловленное колебаниями решетки, которое начинает играть существенную роль, т.е. приводит к ослаблению на более, чем 1 – 2 дБ/км, лишь при длинах волн, превышающих 1,8 мкм;
- рэлеевское рассеяние света на неоднородностях состава и плотности стекла, меньших длины волны (на длинах волн порядка 0,8 мкм не превышают 1 – 2 дБ/км).

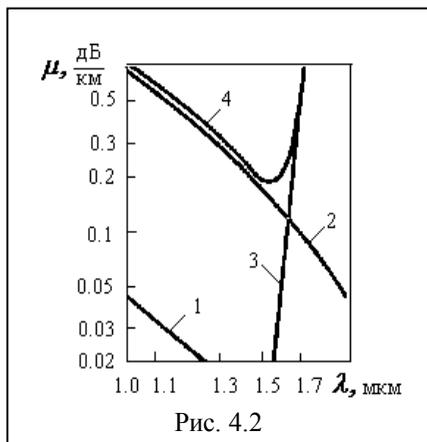


Рис. 4.2

На рис. 4.2 приведены спектральные зависимости показателя ослабления μ , для оптических потерь, обусловленных фундаментальными механизмами, в кварцевом стекле, легированном германием (кривая 1 – поглощение, обусловленное электронными переходами; кривая 2 – рэлеевское рассеяние; кривая 3 – поглощение, связанное с колебаниями решетки; кривая 4 – суммарные потери).

Вклад примесного поглощения в оптические потери современных ВС в указанном спектральном диа-

пазоне пренебрежимо мал.

Ослабление за счет рассеяния связано также с изгибами ВС. В местах изгиба световода часть поля направляемых мод излучается в пространство из-за нарушения условия полного отражения. Однако экспериментально показано, что при реально существующих радиусах одиночных изгибов (более 10 см), это ослабление мало и им можно пренебречь.

При разработке новых типов ВС, отработке технологии очистки исходных материалов для изготовления световодов нужны измерения спектральной зависимости ослабления [5]. По форме спектральной зависимости показателя ослабления ВС можно сделать заключение о наличии в составе вещества световода остаточных примесей и принять меры по усовершенствованию технологии производства волокон.

При проектировании, производстве, наладке и эксплуатации различных устройств, содержащих ВС, необходимо производить измерения коэффициента ослабления световодов на фиксированных длинах волн.

Методика выполнения работы

В данной работе ослабление сигнала измеряется на фиксированных длинах волн ($\lambda_1 = 0,85 \mu\text{м}$ и $\lambda_2 = 1,3 \mu\text{м}$) с помощью установки, схема которой приведена на рис. 4.3.

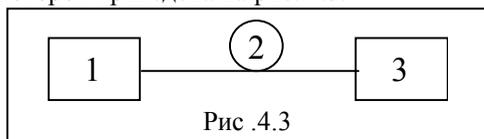


Рис. 4.3

Принцип действия генератора оптических сигналов 1 (ОГЧ-162 для $\lambda_1 = 0,85 \mu\text{м}$ и ОГЧ-163 для $\lambda_2 = 1,3 \mu\text{м}$) основан на преобразовании электрического сигнала в оптический с помощью светоизлучающего диода, обладающего большой мощностью излучения, высоким КПД и хорошей совместимостью с волокном 2. На светодиод от внешнего генератора через усилитель мощности подаются постоянное напряжение и переменный модулирующий сигнал. Ваттметр поглощаемой мощности 3 типа ОМЗ-65 используется для измерения мощности светового сигнала, излучаемого волокном.

Для определения потерь мощности в волоконном световоде используется метод, в котором через один конец ВС вводится мощность P_0 на определенной длине волны (предполагаемая известной), а измеряется мощность излучения P , выходящего из другого конца волокна [12]. Измерения выполняются несколько раз для нескольких волокон, которые имеют разные длины L , но одинаковы по всем остальным параметрам.

Для определения потерь мощности в волоконном световоде используется метод, в котором через один конец ВС вводится мощность P_0 на определенной длине волны (предполагаемая известной), а измеряется мощность излучения P , выходящего из другого конца волокна [12]. Измерения выполняются несколько раз для нескольких волокон, которые имеют разные длины L , но одинаковы по всем остальным параметрам.

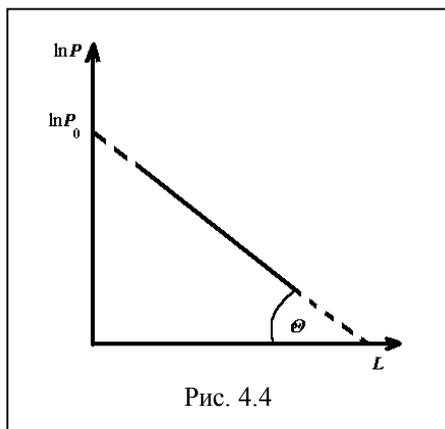


Рис. 4.4

Как следует из соотношения (3), график полученной при этом зависимости $\ln P(L)$ должен представлять собой прямую линию (рис. 4.4), причем

$$\operatorname{tg} \theta = \mu', \quad (5)$$

где μ' – показатель ослабления волокна. Поскольку из-за конструктивных особенностей приборов, используемых в работе, отсутствует возможность прямого измерения вводимой в ВС мощности P_0 , то ее значение находится путем экстраполяции графика

$\ln P(L)$ до пересечения с осью ординат.

Порядок выполнения работы

1. Включить в сеть генератор 1 и ваттметр 3. Время прогрева приборов – 15 мин.

2. Подсоединить к выходному разъему генератора ОГЧ-162 ($\lambda = 0,85$ мкм) один из прилагаемых ВС, предварительно измерив его длину L_1 .
3. Оптический сигнал с выхода ВС подать на преобразователь ваттметра 3. Измерить мощность P_1 оптического сигнала на выходе ВС длиной L_1 .
4. С помощью оптического разъема подсоединить к первому ВС второй ВС и измерить длину L_2 полученного ВС. Измерить мощность P_2 оптического сигнала на выходе ВС длиной L_2 , подав сигнал с его выхода на преобразователь ваттметра 3.
5. Аналогично п.3 к ВС длиной L_2 присоединить третий ВС и измерить длину L_3 полученного ВС. Измерить мощность P_3 на выходе ВС длиной L_3 .
6. Построить график зависимости $\ln P$ на выходе ВС от его длины L , методом экстраполяции определить по графику $\ln P_0$ (рис. 4.4) и вычислить мощность сигнала на входе ВС P_0 . Исходя из номинальной (паспортной) мощности генератора ОГЧ-162 и используя формулу (1) рассчитать коэффициент ослабления β в соединении генератор–волокно.
7. Используя график и формулу (5) вычислить значение линейного показателя ослабления μ' для исследуемого типа ВС.
8. Для каждого ВС по формуле (4) и (2) определить показатель ослабления μ и коэффициент ослабления β . Вычислить средние значения этих величин для исследуемого типа световодов.
9. Заменить генератор ОГЧ-162 на генератор ОГЧ-163 ($\lambda = 1,3$ мкм) и повторить п.п. 1 – 8.
10. Сравнить результаты измерений, полученные для двух длин волн, сделать вывод об оптимальной длине волны для данного типа ВС.