Расчетно-графическая работа № 1.

**Параметры волоконных световодов.**

Задание на контрольную работу. Произвести расчет основных параметров оптических волокон, а также определить пропускную их способность и дальность непосредственной связи.

Значения диаметра сердечника оптических волокон и рабочей длины волны приведены в соответствии с вариантом в табл. 1. Диаметр светоотражающей оболочки для всех вариантов соответствует 125 мкм.

# Таблица 1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Последняя цифра номера зачетной книжки | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Диаметр сердечника (2а), мкм | 8,3 | 50 | 9,0 | 62,5 | 8,7 | 85 | 9,0 | 50 | 8,3 | 8,7 |
| Рабочая длина волны (λ), мкм | 1,31 | 0,85 | 1,55 | 0,85 | 1,55 | 0,85 | 1,31 | 1,31 | 1,55 | 1,31 |

Значения ширины спектра излучения и система передачи приведены в табл. 2.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | | Система | Δλ, нм | сд,км |
| Последняя цифра номера зачетной книжки | 0 | STM-1 | 0,5 | 4 |
| 1 | Сопка-1 | - | 1 |
| 2 | Сопка-4м | 0,3 | 4 |
| 3 | Соната | - | 1 |
| 4 | Сопка–4м | 0,4 | 4 |
| 5 | Соната | - | 1 |
| 6 | Сопка-3 | 0,7 | 2 |
| 7 | Сопка-2 | 0,8 | 2 |
| 8 | STM-4 | 0,2 | 4 |
| 9 | Сопка-4 | 0,6 | 2 |

Данные для расчета потерь в оптическом волокне приведены в табл. 3

Таблица 3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Предпоследняя цифра номера зачетной книжки | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Параметр устойчивости скрутки | 30 | 12 | 28 | 14 | 26 | 16 | 24 | 18 | 22 | 20 |
| Коэффициент микроизгибов | 10 | 15 | 14 | 11 | 12 | 13 | 15 | 10 | 12 | 14 |

1. Расчет показателя преломления компонентов волоконного световода.

При оценки показателя преломления стекол необходимо учитывать его зависимость от длины волны, т.е. спектральную зависимость, которая для диапазона длин волн 0,6 - 2,0 мкм характеризуется трехчленной формулой Селмейера:

,

где Ai и Ii(i=1, 2, 3)- коэффициенты, значения которых находятся

экспериментально;

λ - длина волны, мкм.

Для изготовления световодов применяют кварцевые стекла с добавками окиси германия, фосфора, повышающими показатель преломления кварца, и добавками окиси бора, фтора, понижающими показатель преломления стекла. Значения коэффициентов и  для стекол различных составов приведены в табл.4

При определении показателя преломления основных компонентов волоконного световода, необходимо учитывать, что в качестве материала светоотражающей оболочки, как правило, применяется чистое кварцевое стекло (SiO2), а для изготовления сердечника - легированный кварц.

##### Таблица 4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Тип | Значение коэффициента при , равном | | |
| Состав стекла | коэффициента | 1 | 2 | 3 |
| SiO2 |  | 0,6961663  0,0684043 | 0,4079426  0,1162414 | 0,8974794  9,896161 |
| 3,1% G2O2  96,9% SiO2 |  | 0,7028554  0,0727723 | 0,4146307  0,1143085 | 0,8974540  9,896161 |

2. Расчет нормированной частоты:

,

где а - радиус сердечника световода, мкм;

n1 - показатель преломления сердечника;

n2 - показатель преломления оболочки.

3. Расчет числа мод в световоде: .

4. Расчет числовой апертуры.

Важной характеристикой световода является числовая апертура (Numerical Aperture), которая представляет собой синус от апертурного угла ().

Апертурный угол - это угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, воздействующего на торец световода.

Числовая апертура рассчитывается по формуле :

,

где - относительная разность показателей

преломления.

5. Расчет волнового сопротивления и коэффициента фазы.

В практических расчетах используют предельные значения волнового сопротивления сердечника и оболочки для плоской волны. При этом:

, Ом

где - волновое сопротивление идеальной среды,

- относительная магнитная проницаемость, , Гн/м;

- относительная диэлектрическая проницаемость,

, Ф/м.

Коэффициент фазы зависит от волнового числа среды и находится в пределах

, рад/км

где - волновое число оболочки;

- волновое число сердечника.

Волновое число идеальной среды k0 рассчитывается по формуле:

,

где - угловая частота, 1/с;

- длина волны, мкм.

6. Расчет коэффициента затухания.

Затухание световодных трактов обусловлено собственными потерями в волоконных световодах () и дополнительными потерями, так называемыми кабельными (), обусловленными деформацией и изгибами световодов при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления оптического кабеля, т.е.

.

Собственные потери волоконных световодов состоят в первую очередь из потерь поглощения () и потерь рассеивания (), т.е.

.

Под кабельными потерями понимают потери энергии на макроизгибы и микроизгибы:



Таким образом, полные потери в волоконном световоде составят:

.

Затухание в результате поглощения связано с потерями на диэлектрическую поляризацию и существенно зависит от свойств материала световода:

, дБ/км

где n1 - показатель преломления сердечника;

λ - длина волны, мкм;

- тангенс угла диэлектрических потерь в световоде,

равный .

Затухание на рассеяние рассчитывается по формуле:

, дБ/км

где К - постоянная Больцмана, К= Дж/К;

Т - температура перехода стекла в твердую фазу, Т=1500 К;

 - коэффициент сжимаемости,  м2/Н;

 - длина волны, мкм.

Потери на макроизгибы обусловлены скруткой волоконных световодов по геликоиде вдоль всего оптического кабеля и для ступенчатых стекловолокон рассчитываются по формуле:

, дБ/км

где а- радиус сердечника, мкм;

 - относительная разность показателей преломления,

d - диаметр скрутки, мм;

S - шаг скрутки, мм.

Отношение S/d называется параметром устойчивости скрутки (табл. 3).

Дополнительное затухание за счет излучения при микроизгибах для одномодовых световодов рассчитывается по формуле:

, дБ/км

где - k - коэффициент, зависящий от длины и амплитуды

микроизгибов (табл. 3);

b - диаметр оболочки, мкм;

λ - длина волны, мкм.

- радиус поля моды, мкм,

 , .

Потери на микроизгибы в многомодовых волокнах рассчитываются по формуле:

, дБ/км

7. Расчет дисперсии оптического волокна.

В световодах при передаче импульсных сигналов после прохождения некоторого расстояния импульсы искажаются, расширяются и наступает момент, когда соседние импульсы перекрывают друг друга. Данное явление в теории световодов носит название дисперсии.

Дисперсия возникает по двум причинам: некогерентность источников излучения и появление спектра , существование большого числа мод.

Первая называется хроматической дисперсией, которая делится на материальную и волноводную. Второй вид дисперсии носит название модовой, которая, однако, в одномодовых световодах отсутствует полностью.

Уширение импульсов за счет модовой дисперсии рассчитывается по формуле:

, пс/км,

где с – скорость света в вакууме, с=300000 км/с.

В одномодовых световодах проявляются материальная и волноводная дисперсии, расчет которых производится по формулам:

 пс/км

 пс/км

где  - ширина спектра излучения источника, нм (табл. 2);

- удельная материальная дисперсия;

- удельная волноводная дисперсия.

Коэффициент удельной материальной дисперсии рассчитывается по формуле:

, пс/(км нм)

Производная  рассчитывается по формуле:

.

Коэффициент удельной волноводной дисперсии рассчитывается по формуле:

 пс/(км нм)

где  - относительная разность показателей преломления.

Полное уширение импульсов в одномодовых световодах за счет материальной и волноводной дисперсий, приходящееся на 1 км оптической магистрали, определится:

, пс/км.

Хроматическая дисперсия существенно ограничивает пропускную способность волоконных световодов. Максимальная ширина полосы пропускания на 1 км оптической линии приближенно определяется по формуле:

, Гц км.

8. Расчет длины регенерационного участка.

Длина регенерационного участка для выбранной аппаратуры передачи и заданном качестве связи определяется характеристиками оптического кабеля: затуханием и дисперсией. Затухание лимитирует длину участка по потерям в тракте передачи. Дисперсия приводит к расширению импульсов, которое возрастает с увеличением длины линии, что приводит к повышению вероятности ошибки передаваемой информации.

8.1. Определение длины регенерационного участка по затуханию оптического кабеля.

, км, (1)

где - энергетический потенциал аппаратуры и определяется типом источника излучения и фотоприемника.

. - минимально допустимая мощность на входе фотоприемника, дБ м;

- уровень мощности генератора излучения, Рпр = 0 дБ м;

 - потери при вводе и выводе излучения из волокна, дБ;

 - потери в разъемном соединении, дБ;

 - потери в неразъемных соединениях, дБ;

- коэффициент затухания оптического волокна, дБ/км;

 - строительная длина оптического кабеля (табл. 2), км.

Современные способы сращивания оптических волокон, посредством сварки автоматическими устройствами, обеспечивают величину потерь на одном сростке в пределах 0,01-0,03 дБ.

Потери в лучших образцах разъемных соединителей (оптических коннекторах) составляют 0,3 для одномодовых световодов и 0,5 дБ для многомодовых световодов.

Потери при вводе света в волокно для светоизлучающих приборов составляют =3-5 дБ, при выводе света на фотоприемник - =2-3 дБ.

Рис.1

Требуемую чувствительность приемника выбирают исходя из заданной скорости передачи информации (В) и величины коэффициента ошибок (рош). На рис. 1 приведены зависимости чувствительности наиболее распространенных фотоприемников от скорости передачи информации (Рпр.мин.=f(В)) при рош=10-9.

-70

-65

-60

-55

-50

-45

-40

-35

-30

0

10

100

1000

1

2



В, Мбит/с

Рпр.мин, дБм

-70

-65

-60

-55

-50

-45

-40

-35

-30

0

10

100

1000

1

2



В, Мбит/с

Рпр.мин, дБм

8.2. Определение длины регенерационного участка по пропускной способности оптического кабеля.

Длина регенерационного участка с учетом дисперсии определится:

, км (2)

где В - скорость передачи информации, Мбит/с;

 - уширение импульса, пс/км.

Целью расчета является определение максимальной длины регенерационного участка  при условии одновременного выполнения неравенств (1) и (2).