**Контрольная работа по теме:**

**Затухание**

Важнейшими параметрами световода являются оптическое потери и соответственно затухание передаваемой энергии. Эти параметры определяют дальность связи по оптическому кабелю и его эффективность.

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.



.



Потери на поглощение существенно зависят от частоты материала и при наличии посторонних примесей () могут быть значительными.



В результате

. (1)



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

Потери обусловлены комплексным характером показателя преломления nд+jnм, который связан с тангенсом угла диэлектрических потерь выражением

.



Затухание в результате поглощения определяется отношением потерь в световоде Рп к удвоенному значению полной мощности Р, распространяющейся по волоконному световоду. Учитывая, что Рп=GU2, Р=U2/Z, получим:

,



где U - напряжение;

G- проводимость материала световода;

Z - волновое сопротивление световода.

Так как , а , получим:



Выражая через комплексный показатель преломления, получаем



Если коэффициент преломления имеет действительное значение n=nд, то =0 и потери на поглощение отсутствуют.



Из формул видно, что частотная зависимость затухания в результате поглощения имеет линейный характер при постоянных значениях n.

Невозможно избежать поглощения света в стекловолокнах. Даже чистейший кварц сильно поглощает свет на определенных длинах волн.

Так, например, на длинах волн меньших 1,3 мкм имеет место ультрафиолетовое поглощение, а на длинах волн, больших 1,3 мкм - инфракрасное поглощение, которое с увеличением длины волны растет и около 1,6 мкм становится настолько значительным, что и является тем фактором, которое ограничивает применение кварцевых волокон для длин волн больше приведенной.

Для изменения показателя преломления волокна используются различные легирующие добавки.

Некоторые из них, например, бор (В2О3) имеют большее естественное поглощение, а некоторые, например, германий (GeO2) - меньшее. В настоящее время при производстве стекловолокон используют легирующие добавки с низкими потерями на поглощение.

На ранних этапах развития оптических волокон большую часть примесей составляли ионы металлов. Но в настоящее время эти примеси существенно малы в современных высококачественных волокнах, и единственной оставшейся значительной примесью является гидроксильная группа ОН.

На длине волны 2,73 мкм вследствие теплового движения в этой группе атомов водорода и кислорода возникают резонансные явления, которые вызывают максимальное поглощение в стекловолокне.

И если указанный пик поглощения находится вне рабочего диапазона длин волн кварцевого стекловолокна, то сопутствующие гармоники оказывают непосредственное воздействие на волокна в диапазоне длин волн от 0,7 до 1,6 мкм и вызывают три пика поглощения.

Рассеяние света в волоконном световоде в основном обусловлено наличием в материале сердечника мельчайших (около одной десятой доли длины волны) случайных неоднородностей.

При рассеянии света в волокне лучи расходятся в новых направлениях, часть из которых имеет меньший угол падения, чем угол полного внутреннего отражения.

Одни лучи, при этом, покидают сердечник и уходят в оболочку, а другие остаются в сердечнике, но распространяются обратно к источнику излучения.

Такое рассеяние присутствует в любом волоконном световоде и получило название **Релеевского рассеяния**.

Затухание на рассеяние рассчитывается по формуле:



где С - коэффициент релеевского рассеяния;

К - постоянная Больцмана;

Т - температура перехода;

- сжимаемость.



Даже при отсутствии легирующих добавок чистое кварцевое стекло имеет коэффициент релеевского рассеяния С=0,75 мкм4дБ/км. Легирующие добавки, которые необходимы для изменения показателя преломления сердечника световода, увеличивают степень неоднородности стекла. Поэтому, чем больше , тем больше потери вследствие релеевского рассеяния.



Так для многомодового градиентного стекловолокна, легированного германием и фосфором, коэффициент релеевского рассеяния рассчитывается по формуле:

, мкм4дБ/км.



Это означает, что при =1% на длине волны 1,31 мкм величина потерь вследствие релеевксого рассеяния для многомодового градиентного световода составляет 0,39 дБ/км.



К кабельным потерям относятся потери на макроизгибы, микроизгибы и вследствие неоднородности изготовления.

Потери на макроизгибы обусловлены изменением геометрии луча пр изгибах оптического кабеля. Рассмотрим появление таких потерь на примере световода со ступенчатым профилем показателя преломления.

На изгибе луч образует угол падения 2 <1, а, следовательно, нарушается условие полного внутреннего отражения (2<c). Такой луч преломляется и рассеивается в окружающем пространстве (оболочке).



В многомодовых градиентных световодах моды высших порядков, распространяющиеся вблизи границы сердечник-оболочка, имеют малые значения угла падения 1, поэтому при сворачивании такого световода в круг в первую очередь теряются именно именно эти моды. Затухание за счет макроизгибов рассчитывается по формуле:



,



где g - коэффициент, определяющий вид профиля показателя преломления;

2а - диаметр сердечника световода

R- радиус изгиба.

Изгибы одномодовых волокон вызывают непрерывную утечку мощности из моды. Эти непрерывные потери рассчитываются по формуле:

,



где - длина волны, соответствующая значению нормированной частоты .



Потери от микроизгибов возникают в результате случайных отклонений волокна от его прямолинейного состояния.

Размах таких отклонений составляет менее 1 мкм, а протяженность - менее милиметра. Подобные случайные отклонения могут появляться в процессе наложения защитного покрытия и изготовления из стекловолокон кабеля, в результате температурных расширений и сжатий непосредственно волокна и защитных покрытий.

Микроизгибы в многомодовых волокнах приводят к переходу части энергии с одних мод на другие. Потери на микроизгибы в таких волокнах не зависят от длины волны и рассчитываются по формуле:

,



где - k - коэффициент, зависящий от амплитуды и длины микроизгибов;

а - радиус сердечника стекловолокна;

b - диаметр оболочки.

В одномодовых волокнах, в отличие от многомодовых, потери вследствие микроизгибов зависят от длины волны. Если потери вследствие микроизгибов для многомодового волокна с диаметром сердечника 50 мкм и =1,0% составляют , то потери для одномодового волокна рассчитываются по формуле:



,



где - радиус поля моды.



На первый взгляд кажется, что с увеличением длины волны затухание на микроизгибы уменьшается. Однако, происходит увеличение потерь, т.к. с увеличением длины волны растет радиус поля моды

затухание энергия световод волоконный

,



где .



Неоднородности изготовления, например, изменение размеров диаметра или круглой формы сердечника, наличие пустот в стекле и дефектов на границе сердечник оболочка, неравномерное распределение легирующих добавок могут вызвать потери на рассеяние.

Рассмотрим зависимость затухания от частоты и длины волны.

Из приведенных выше данных очевидно, что оптические потери увеличиваются с ростом частоты. При этом затухание на поглощение возрастает по линейному закону, а затухание на рассеяние увеличиваются значительно быстрей, по закону квадратичной параболы. Обычно потери на рассеяние превышают потери на поглощение.

Принципиальная разница между характеристиками затухания симметричных (Е01, Н01) и смешанных (НЕ11) волн. Симметричные волны имеют критическую частоту f0, ниже которой передача невозможна. Смешанная волна не имеет критической частоты и затухание растет плавно во всем частотном диапазоне.

Наибольший интерес представляет зависимость затухания от длины волны.

В целом затухание с увеличением длины волны уменьшается. Однако, на отдельных длинах волн (0,95; 1,25 и 1,39 мкм) возникают всплески затухания, которые обусловлены резонансными явлениями в гидроксильных группах ОН. На длине волны более 1,6 мкм затухание возрастает за счет потерь на поглощение в инфракрасной области спектра. Между пиками затухания находятся три области с минимальными оптическими потерями, которые получили название **окон прозрачности**. С увеличением номера окна затухание уменьшается. Так 1 окно прозрачности наблюдается на длине волны 0,85 мкм, на которой величина затухания составляет 2-4 дБ/км. 2 окно прозрачности соответствует длине волны 1,3 мкм, на которой затухание составляет 1,0-1,5 мкм 3 окно прозрачности наблюдается на длине волны 1,55 мкм, на которой затухание составляет 0,5-0,2 дБ/км. Таким образом, целесообразно, чтобы оптические системы передачи по волоконным световодам работали именно на указанных длинах волн, которые получили название **рабочих**. В настоящее время наибольший интерес вызывают два последних окна прозрачности, которые обеспечивают наименьшее затухание и максимальную пропускную способность волоконных световодов.