

1.15. ОПТОВОЛОКОННЫЕ КОММУТАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ

Цель лекции: изучение оптических коммуникаций и проводящих сред, оптического волокна, классификации, основных параметров, конструктивных особенностей, технологии изготовления.

1.15.1. ОПТИЧЕСКИЕ КОММУНИКАЦИИ И ПРОВОДЯЩИЕ СРЕДЫ

Оптоволокно – это стеклянная или пластиковая нить, используемая для переноса света внутри себя посредством полного внутреннего отражения. Волоконная оптика – раздел приборостроения, описывающий такие волокна. Оптоволокна используются в оптоволоконной связи, которая позволяет передавать цифровую информацию на большие расстояния и с более высокой скоростью передачи данных, чем в электронных средствах связи. Оптическое волокно играет ту же роль, что и медный провод, используемый для передачи различной информации (телефонные линии, компьютерные сети и др.). Однако, в отличие от медного провода, по оптоволокну переносится свет, а не электрический сигнал. В связи с этим появляется множество преимуществ, что позволяет использовать оптическое волокно как несущую среду в различных областях. Наиболее важными преимуществами волоконной оптики являются:

1. *Широкая полоса пропускания.* Волоконная оптика может работать в диапазоне до 1 ТГц, что в сотни раз больше максимальной полосы пропускания медных проводников. Более широкая полоса пропускания оптических систем обуславливает более высокую скорость передачи информации в линии. Полоса пропускания волоконной оптики допускает мультиплексирование различных сигналов (аудио, видео, передачу данных и др.).
2. *Низкие потери.* Потери (затухание) определяют расстояние, на которое может передаваться сигнал. В медных проводниках затухание увеличивается с ростом частоты модуляции – чем больше частота сигнала, тем больше потери. В оптическом же кабеле затухание не зависит от частоты и остается постоянным в определенном диапазоне частот вплоть до очень высоких и, как правило, неиспользуемых частот. На рис. 1.61 приведены графики влияния частоты сигнала на скорость затухания.

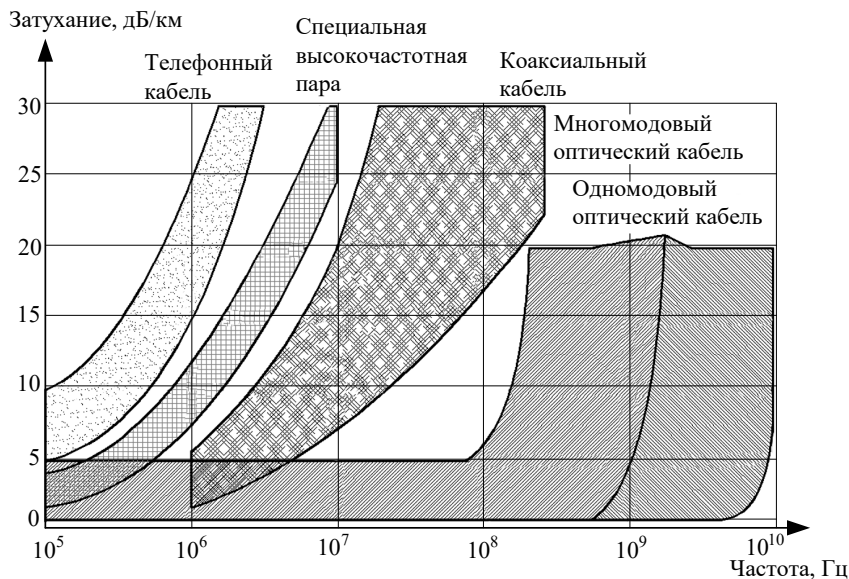


Рис. 1. 61. Влияние частоты сигнала на затухание

3. *Нечувствительность к электромагнитным полям.* В отличие от медных проводников, оптоволокну не излучает и не воспринимает электромагнитные волны. Важнейшим результатом нечувствительности оптического волокна к наводкам от электромагнитного излучения является то, что световые сигналы не искажаются под их влиянием. Эта особенность дает возможность прокладки оптоволоконных линий передач вблизи высоковольтных без необходимости использования специальной защиты.
4. *Малый вес.* Оптическое волокно весит значительно меньше медного проводника. В основном это связано с тем, что оптоволоконные линии имеют полосу пропускания намного шире, чем медные, и, как следствие, необходимо меньше линий для передачи одного и того же количества информации. Также стекло (основной компонент оптоволоконных проводников) имеет значительно меньший вес, чем медь. Этот параметр является одним из важнейших в таких областях как автомобиле- и самолетостроение.
5. *Малый размер.* Оптический кабель меньше по размеру, чем его медный аналог. Типичный диаметр оптоволоконного кабеля – 125 мкм. Кроме того, достаточно часто одно оптическое волокно может заменить несколько медных проводников.
6. *Безопасность.* Оптоволокну является диэлектриком и не проводит электрический ток. Его использование безопасно с точки зрения искро- и пожаробезопасности. Более того, волоконно-оптический кабель может ис-

пользоваться в опасных местах, в которых из соображений безопасности вообще не применялись кабели (топливные баки и др.).

7. *Секретность*. Оптическое волокно является сверхбезопасной средой для передачи информации. Оно не излучает волны, которые могут быть перехвачены специализированным оборудованием. Кроме того, подключение к оптоволоконному проводнику крайне затруднено и требует специальных инструментов и микроскопа.

Все перечисленные выше особенности делают оптические волокна наиболее перспективными для коммутационных структур. В настоящее время оптические коммутационные структуры только начинают развиваться, в то время как коммутационные структуры при помощи медных кабелей близки к своим теоретическим пределам.

В действительности не все оптические кабели имеют низкие потери и широкую полосу пропускания. В тех случаях, когда потери и высокие скорости не являются критическими (например, в автомобилестроении) достаточно хорошо работают более дешевые оптические линии на основе пластиковых волокон.

Однако стоит заметить, что оптические коммуникации не лишены ряда недостатков. Как правило, они являются основными факторами, обуславливающими ограниченное применение оптоволоконных коммуникаций. Некоторые из них перечислены ниже:

1. *Хрупкость*. Основным материалом для изготовления оптического волокна является стекло. Как известно, этот материал очень хрупок. Это не означает, что оптоволокно не может быть изогнуто, однако допустимые углы изгиба намного меньше, чем у металлических проводников. Также наличие изгибов увеличивает потери при передаче сигнала.
2. *Трудности в обслуживании*. В отличие от медных проводников, микротрещины в оптоволоконном кабеле приводят к резкому ухудшению его параметров. Из-за того, что оптоволокно имеет очень маленький диаметр (ядро имеет диаметр от 3 до 100 мкм), обнаружение изломов и дефектов является сложной и длительной процедурой.
3. *Сложность сопряжения волокон*. Для соединения медных линий передач используется пайка, либо (в редких случаях) сварка. Как правило, это достаточно простая процедура, не требующая специализированного оборудования. Сопряжение же оптических волокон является трудоемкой процедурой, требующей применения специальных микроскопов и инструментов. От точности сопряжения и полировки концов сопрягаемых частей напрямую зависят потери в оптоволоконном кабеле.
4. *Использование дополнительного оборудования*. Использование оптоволоконного кабеля требует специальных оптических приемников и передатчиков, преобразующих световые сигналы в электрические и обратно, что порой существенно увеличивает стоимость сети в целом.

Все эти недостатки не позволяют оптоволоконным линиям связи вытеснить привычные медные. Однако стоимость оптоволоконных линий постоянно снижается, а необходимость в высокоскоростных коммуникациях увеличивается. Это делает оптические линии связи незаменимыми в системах, требующих передачи данных с высокой скоростью на большие дистанции и с малым числом ошибок.

1.15.2. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В настоящее время основным применением оптоволоконных линий передач являются телефония и компьютерные сети. Это обусловлено высокой скоростью передачи данных и широкой полосы пропускания.

Для сравнения, медный кабель диаметром 4,5 дюйма может передавать 40 300 двусторонних разговоров на короткие расстояния. Волоконно-оптический кабель диаметром 0,5 дюйма содержащий 144 волокна обеспечивает 24 192 разговора на каждую волоконно-оптическую пару или около 1,75 миллионов звонков на весь кабель в целом. Таким образом, емкость волоконно-оптического кабеля существенно превосходит емкость коаксиального несмотря на то, что его диаметр почти в 10 раз меньше.

Высокое быстродействие и нечувствительность к электромагнитным помехам дают оптоволоконным линиям передач широкое применение в компьютерных сетях. Применяют оптоволоконный кабель только в сетях с топологией «звезда» и «кольцо». Никаких проблем согласования и заземления в данном случае не существует. Кабель обеспечивает идеальную гальваническую развязку компьютеров сети.

Также оптоволокно применяется в отраслях, где критичны масса и помехозащищенность. Например, автомобиле- и авиастроение широко используют оптические кабели для соединения бортового оборудования. В данном случае высокая скорость передачи данных не требуется, поэтому используется в основном пластиковое оптическое волокно. Данный тип коммуникаций используется для передачи информации в условиях сильных электромагнитных помех. В частности, допускается прокладка оптических кабелей вместе с высоковольтными линиями электропередач.

Как и в случае с коммуникациями медным кабелем сигнал в оптоволоконных линиях мультиплексируется. В частности, для оптоволоконных систем это технология спектрального уплотнения *WDM (Wavelength Division Multiplexing)*, позволяющая одновременно передавать по оптоволокну несколько сигналов с различной длиной волны. У спектрального уплотнения есть один принципиальный недостаток: для усиления и коммутации оптический сигнал сперва преобразуется в электрический, а затем – обратно в оптический. Это усложняет и удорожает построение магистральных сетей. Однако в настоящее время имеется ряд разработок для решения данной проблемы. Одна из них – использование усилителей на основе оптоволокна, ле-

гированного эрбием (*EDFA*), дающая возможность передавать данные по оптическим сетям на расстояние больше тысячи километров.

Постоянно растущие тактовые частоты процессоров и периферии требуют более высокоскоростных линий для передачи информации. Здесь уже требуется повышение скорости соединения не целых сетей или отдельных компьютеров, а межсоединений в самом устройстве. Сейчас разрабатывается и внедряется новая технология оптических межсоединений и встроенных оптических волноводах на печатных платах для быстродействующих устройств. Данная технология позволит решить проблемы, связанные с ростом частоты передачи данных свыше 10 ГГц и перехода на скорость передачи в несколько терабит/секунду. Применение оптоэлектроники в этих областях должно существенно повысить вычислительную мощность.

1.15.3. ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО

Оптическое волокно – это диэлектрическая структура, по которой распространяется оптический сигнал. Как правило, волокно используется в виде кабеля, т. е. окружено защитной оболочкой, предохраняющей его от механических повреждений и воздействий окружающей среды.

Оптическое волокно имеет два концентрических слоя – ядро (сердцевина) и оптическая оболочка. Внутреннее ядро предназначено для переноса светового сигнала. Окружающая его оптическая оболочка имеет отличный от ядра показатель преломления и обеспечивает полное внутреннее отражение света в ядро. Характерные величины показателей преломления – 1,47 для ядра и 1,46 – для оптической оболочки.

Волокна имеют дополнительную защитную оболочку вокруг оптической. Она представляет собой один или несколько слоев полимера и предохраняет ядро и оптическую оболочку от внешних воздействий. Защитная оболочка не влияет на процесс распространения света по волокну.

Свет удерживается внутри сердцевины и распространяется по зигзагообразной траектории вдоль оси волокна вследствие эффекта полного внутреннего отражения при условии

$$\sin \alpha \leq \sqrt{n_1^2 - n_2^2},$$

где α – угол падения; n_1 и n_2 – показатели преломления ядра и оптической оболочки соответственно.

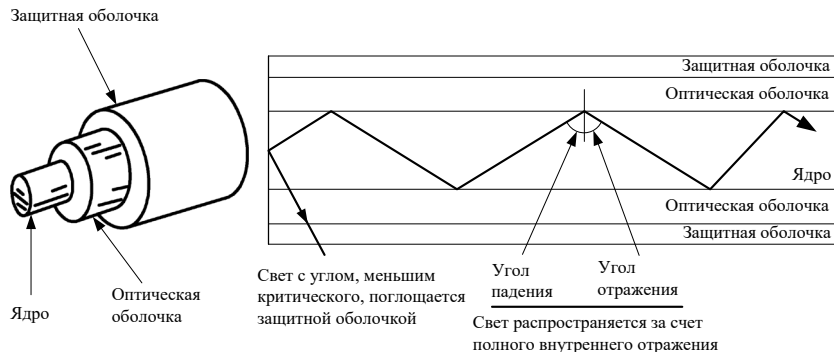


Рис. 1.62. Полное внутреннее отражение в оптическом волокне

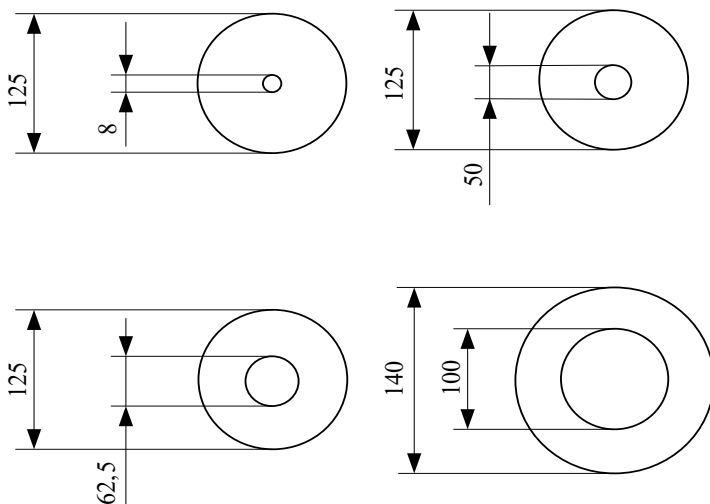


Рис. 1.63. Типичные диаметры ядра и оптической оболочки (в мкм)

На рис.1.62 представлена схема распространения света по волокну. Свет инжектируется внутрь волокна под углом, большим критического к границе ядро/оптическая оболочка, и испытывает полное внутреннее отражение на этой границе. Поскольку углы падения и отражения совпадают, то свет и в дальнейшем будет отражаться от границы. Таким образом, луч света будет двигаться зигзагообразно вдоль волокна.

Внутреннее отражение служит основой для распространения света вдоль обычного оптического волокна. При этом учитываются только меридианные лучи, проходящие через центральную ось волокна после каждого отражения. Другие лучи, называемые асимметричными, движутся вдоль волокна, не проходя через его центральную ось. Траектория асимметричных лучей

представляет собой спираль, накручивающуюся вокруг центральной оси. Асимметричные лучи, как правило, игнорируются в анализе большинства волоконно-оптических процессов.

Волокна сами по себе имеют чрезвычайно малый диаметр. На рис. 1.63 представлены поперечные сечения и диаметры для ядра и оптической оболочки четырех наиболее распространенных видов волокон.

1.15.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

Оптические волокна в зависимости от области применения, требуемым характеристикам и стоимости изготавливаются из различных материалов:

1. *Стеклянные волокна.* Данный тип волокон имеет стеклянное ядро и стеклянную оболочку и обладает наилучшими характеристиками из всех, однако это волокно является самым дорогостоящим. Стекло, используемое в данном типе волокон, состоит из сверхчистого диоксида кремния или плавленого кварца. Для получения требуемого показателя преломления в стекло добавляют различные примеси. Для увеличения показателя в стекло добавляется германий и фосфор, а для уменьшения – бор и фтор. Также в стекле присутствуют другие примеси, ухудшающие характеристики волокна (в основном мельчайшие капли воды).
2. *Стеклянные волокна с пластиковой оптической оболочкой.* Являются промежуточным вариантом. Они имеют не столь хорошие характеристики как волокна со стеклянной оптической оболочкой, однако являются вполне приемлемыми. В отличие от стеклянных волокон не имеют дополнительной защитной оболочки.
3. *Полимерные волокна.* Имеют пластиковое ядро и пластиковую оптическую оболочку, а также самые худшие характеристики из всех. Однако низкая себестоимость и простота использования делают их привлекательными там, где требования к величинам затухания и полосе пропускания не столь высоки. Электромагнитная невосприимчивость и секретность передачи информации по пластиковым волокнам делают их применение оправданным. Также не имеют защитной оболочки.

Также оптические волокна могут быть классифицированы по индексу преломления ядра и модовой структуре света. На рис. 1.64 показаны три основные особенности волокон в соответствии с этой классификацией.

1. Различие входного и выходного импульсов. Уменьшение амплитуды импульса связано с затуханием его мощности, а расширение – с конечной полосой пропускания волокна и ограниченной информационной емкостью.
2. Траектория лучей, возникающих при распространении света.
3. Распределение значений показателей преломления в ядре и оптической оболочке для различных типов волокон.

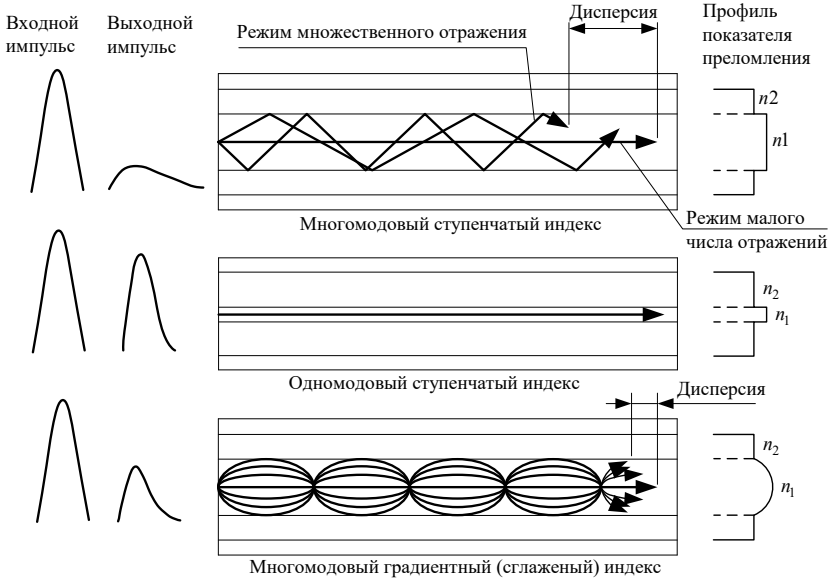


Рис. 1.64. Типы распространения света в волокне

Мода – математическое или физическое понятие, связанное с процессом распространения электромагнитных волн в среде. Под модой можно понимать вид траектории, вдоль которой может распространяться свет. Количество мод в волокне может быть в районе от одной до сотен тысяч. Их количество зависит от размеров и свойств волокна.

Профиль индекса преломления отображает соотношение между индексами ядра и оптической оболочки. Существуют два основных вида профиля – ступенчатый и градиентный.

Волокно со *ступенчатым* профилем имеет ядро с однородным показателем преломления на любом расстоянии от центра. На границе ядра и оптической оболочки показатель преломления резко изменяется.

В волокнах со *сглаженным* профилем показатель преломления плавно изменяется – он максимален в центре ядра и уменьшается по мере приближения к границе с оптической оболочкой. Резкого скачка показателей на границе не наблюдается.

Руководствуясь данной классификацией, все оптические волокна можно разделить на три основных типа:

1. *Многомодовое волокно со ступенчатым индексом.* Является наиболее простым типом волокон.

Разные моды затрачивают различное время на прохождение одного и того же отрезка волокна. Луч, направленный параллельно оси световода, проходит меньшее расстояние, чем луч, распространяющийся по ломаной траектории. Как следствие, лучи достигнут конца сердечника в разные моменты

ты времени. В результате этого световой импульс «расплывается» (расширяется) во времени. Это явление называется *модовой дисперсией* и выражается максимальной разностью времен распространения мод.

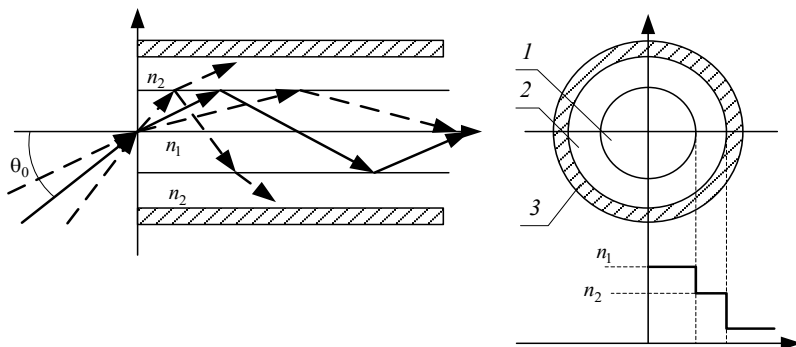


Рис. 1.65. Волокно со ступенчатым показателем преломления:
1 – ядро; 2 – оптическая оболочка; 3 – защитная оболочка

2. Многомодовое волокно со сглаженным индексом.

В этом типе волокон ядро состоит из множества слоев, показатели преломления которых уменьшаются при удалении от центральной оси. Каждый слой ядра отражает световой луч. В отличие от волокна со ступенчатым индексом преломления здесь свет более плавно испытывает отражение от каждого слоя ядра (рис. 1.66). При этом траектория движения светового луча по волокну приобретает синусоидальную форму.

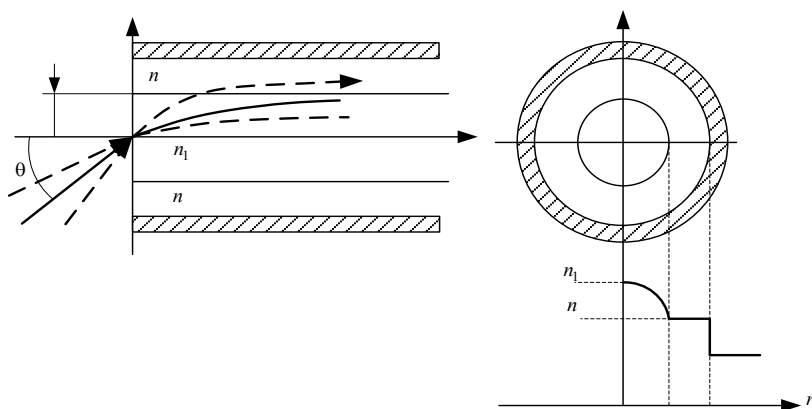


Рис. 1.66. Многомодовое волокно с градиентным профилем показателя преломления

Использование сглаженного профиля показателя преломления приводит к значительному уменьшению модовой дисперсии. Однако полностью устранить межмодовую дисперсию в многомодовом волокне не удастся, что объясняется как несовершенством профиля показателя преломления, так и наличием спиральных мод, возникающих вследствие осевой симметрии оптоволокна.

3. *Одномодовое волокно со ступенчатым индексом.* Как видно из названия, одномодовое волокно способно передавать лишь одну моду. Явление межмодовой дисперсии в таком волокне отсутствует, а ширина полосы пропускания ограничивается молекулярной дисперсией.

Одномодовое волокно имеет малый диаметр ядра – от 5 до 10 мкм. Для работы с этим типов волокон используются лазерные источники излучения с длинами волн 1300 и 1550 нм при ширине спектра несколько нм.

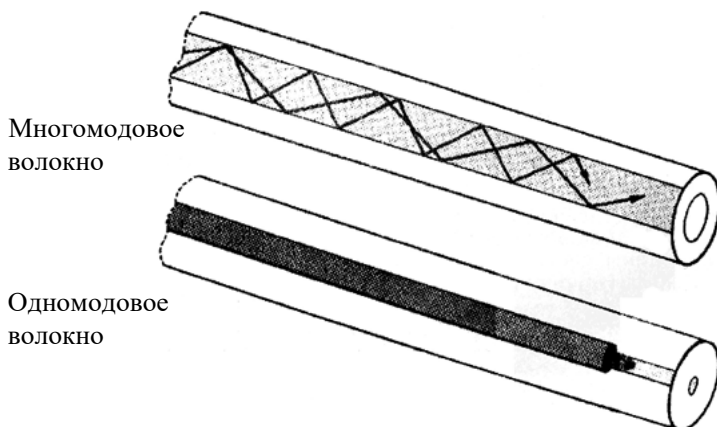


Рис. 1.67. Оптическая мощность в многомодовом и одномодовом волокне

Существует различие в распространении излучения в одномодовом и многомодовом волокне. Некоторая часть электромагнитной энергии переносится в оптической оболочке (рис. 1.67). Эта особенность обуславливает повышенные требования к прозрачности и качеству в целом оптической оболочки ядра. Кроме того, диаметр светового пучка, видимого в волокно, превышает его диаметр.

1.15.5. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВОЛОКОН

Перечислим некоторые основные параметры оптических волокон.

Дисперсия. Дисперсия ограничивает такие важные характеристики волокна, как ширина полосы пропускания и информационная емкость. Нали-

чие дисперсии вынуждает снижать скорость передачи информации. Существуют три вида дисперсии:

1. *Модовая дисперсия*. Присуща только многомодовым волокнам. Возникает в результате того, что лучи в волокне отражаются под различными углами и, следовательно, проходят разный путь. Типичное значение задержки сигнала для стеклянных волокон – порядка 4–5 нс/км.
2. *Молекулярная дисперсия*. Присуща всем видам волокон. Возникает в результате того, что волны различной длины движутся с различными скоростями.

На рис. 1.68 показана зависимость молекулярной дисперсии от длины волны. Из рисунка видно, что в области ниже 1300 нм более длинные волны движутся быстрее коротких. Для длин волн > 1300 нм имеет место обратная ситуация – более длинные волны движутся медленнее коротких.

Молекулярная дисперсия является основным видом дисперсии в одномодовых системах.

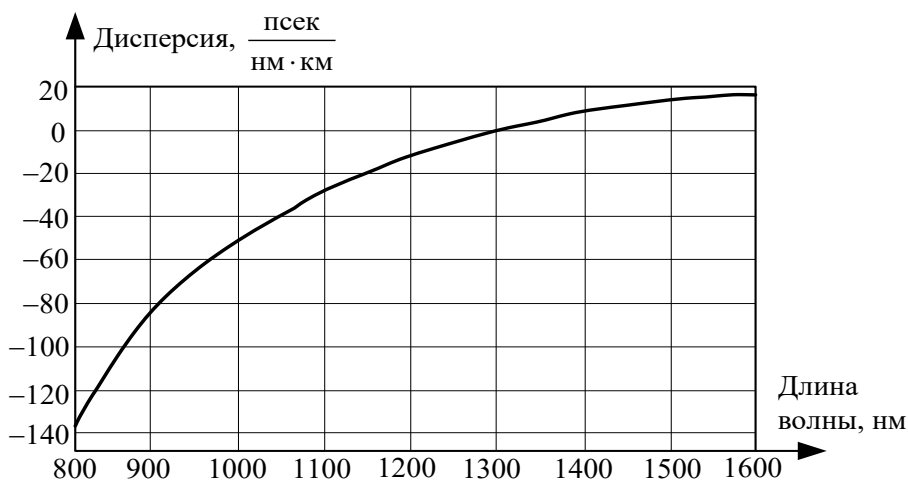


Рис. 1.68. Зависимость молекулярной дисперсии от длины волны

3. *Волноводная дисперсия*. Имеет значение в основном для одномодовых волокон. Обусловлена тем, что оптическая энергия движется как по ядру, так и по оптической оболочке, имеющим различные показатели преломления. Из-за этого скорости распространения в ядре и оптической оболочке различаются.

Затухание – потеря оптической энергии по мере движения света по волокну. Оптический сигнал, распространяясь по волоконно-оптической линии, испытывает потери (уменьшение мощности) вследствие поглощения и рассеивания света в волокне из-за взаимодействия с веществами сердцевины

и оболочки. Поглощение связано с возбуждением в материале световода электронных переходов и резонансов. В результате этого увеличивается тепловая энергия, накапливаемая в оптическом волокне. Поглощение зависит как от свойств материала, из которого изготавливается оптоволокно, так и от длины волны источника света. Измеряется в дБ/км. Имеет разброс от 300 дБ/км для пластиковых волокон до 0,2 дБ/км для одномодовых. Затухание зависит от длины волны. В материале существует несколько областей с пониженным затуханием, которые называются *окнами прозрачности*, в которых функционируют оптические линии связи (рис. 1.69).

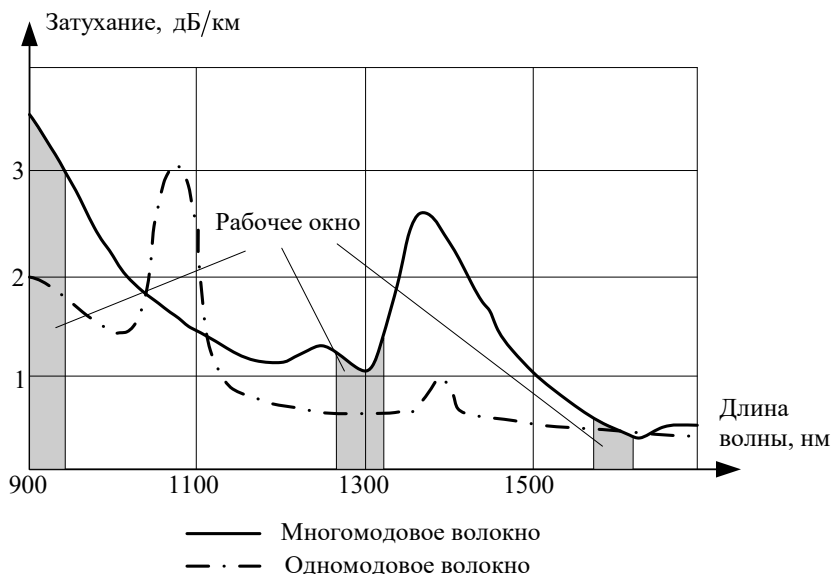


Рис. 1.69. Зависимость затухания от длины волны

Снижение потерь в волокне требует, чтобы источник света работал в области длин волн с наименьшим затуханием.

Важнейшей особенностью затухания в оптическом волокне является его независимость от частоты модуляции внутри полосы пропускания. Для сравнения, в медных кабелях затухание увеличивается с частотой сигнала.

Численная апертура. Численной апертурой (NA) называется способность волокна собирать лучи. Только лучи, которые инжектируются в волокно под углами большими критического, смогут распространяться вдоль него. NA зависит от свойств материалом волокна и определяется показателями преломления ядра и оптической оболочки:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}.$$

NA является безразмерной величиной. Чем меньше значение NA , тем меньше мод проводит оптическое волокно.

Прочность волокна. Предел прочности характеризует способность волокна или провода противостоять натяжению или изгибу без повреждения.

Основная причина, обуславливающая хрупкость волокна – наличие микротрещин на поверхности и дефектов внутри самого волокна. При этом трещины на поверхности являются более существенными. Расширяющиеся дефекты приводят к обрыву волокна.

Радиус изгиба. Достаточно резкий изгиб может разорвать волокно. Поэтому все волокна имеют минимальный радиус изгиба.

Изгибы в волокне приводят к увеличению затухания (это связано с изменением углов падения в местах изгиба, некоторые из мод падают под углами меньше критического и покидают волокно), а также уменьшению предела прочности волокна на разрыв.

Обычно минимальный радиус кривизны равен пяти диаметрам кабеля.

1.15.6. КОНСТРУКЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

На рис. 1.70 представлены основные компоненты простого оптического кабеля с одним волокном.

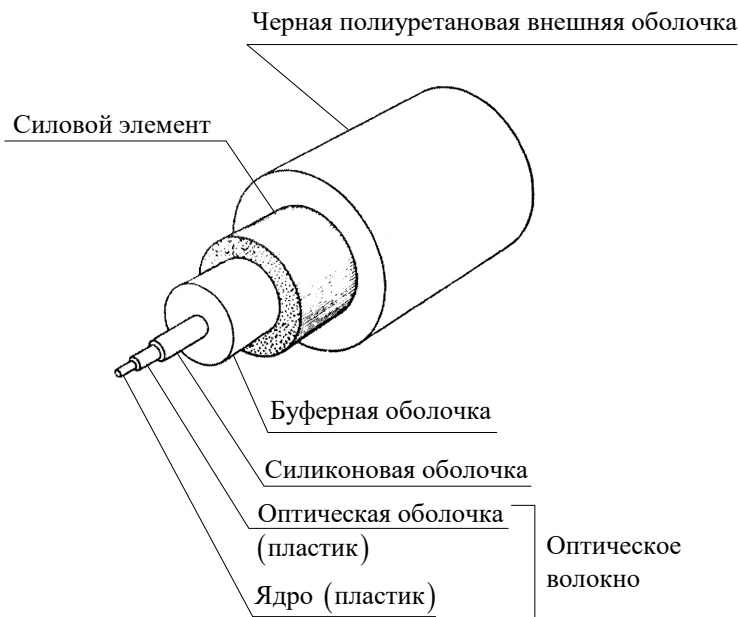


Рис. 1.70. Конструкция волоконно-оптического кабеля

Конструкция кабелей может быть достаточно разнообразной, но общими являются следующие компоненты:

1. *Оптическое волокно* (описание см выше).
2. *Буферная оболочка*. Наиболее простой вид буфера представляет собой пластиковую оболочку, расположенную поверх оптической. Бывают пустотелый и плотный буфер. Основная задача буфера – защита волокна от механических и температурных воздействий.
3. *Силовой элемент*. Повышает механическую прочность кабеля, принимая на себя растягивающие напряжения.
4. *Внешняя оболочка*. Обеспечивает защиту от трения, коррозии, химических воздействий и др.

1.15.7. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Технологический процесс изготовления световодов на основе кварцевого стекла делится на два этапа.

Первый этап – получение заготовки, которая представляет собой стеклянный стержень длиной порядка метра и диаметром около 10–20 мм. Для этого существует несколько способов; каждый из них имеет свои преимущества и недостатки.

Первый способ назван «модифицированным методом химического осаждения из газовой фазы» (*MCVD*). Представьте себе подобие токарного станка, в котором на место резца установлена кислородно-водородная горелка. В станок зажимается стеклянная трубка и через нее на первом этапе пропускается хлорид кремния и кислород (на самом деле состав смеси более сложен). В горячей зоне напротив горелки синтезируется оксид кремния. Образуются мельчайшие частицы окиси, которые дрейфуют из горячей области в более холодную и прилипают к стенке. Этот процесс называется термофорезом. Важно, что осаждение происходит не в месте нагрева пламенем, а перед ним – там, куда пламя еще не дошло. На поверхности трубки образуется пористый слой окиси, и, двигаясь дальше, горелка его проплавляет – остекловывает. Так получается слой чистого стекла. При следующих проходах через трубку пропускают еще и германий в виде хлорида GeCl_4 . Таким образом, легируют материал световода, создавая в нем градиент коэффициента преломления. После того как необходимое число слоев осаждено, подачу хлоридов исключают, а температуру пламени увеличивают – в результате трубка плавится и схлопывается просто под действием сил поверхностного натяжения.

Данный метод является самым простым. Однако для него нужна очень хорошая труба-заготовка без включений, так как включения – это центры напряжений, из которых может начать расти трещина. С этим довольно успешно борются путем химической или огневой полировки поверхности трубок.

Другой метод называют еще внешним осаждением (в отличие от первого – внутреннего): стекло осаждается на огнеупорный стержень прямо из пламени горелки, куда подаются хлориды исходных веществ. Поскольку осаждение происходит в атмосфере пламени, в таком материале остается много воды, получившейся в результате окисления водорода. Поэтому, после того как центральный стержень вынимают, приходится продуть заготовку хлором, который экстрагирует воду. И только после этого заготовка остекловывается.

В третьем методе реализована более сложная конструкция. Заготовка растет из затравки, расположенной на определенном расстоянии выше пламени горелки, имеющего сложную слоевую структуру. В середину пламени подают смесь хлоридов германия и кремния, затем слой буферного газа, потом только хлорид кремния для чистого стекла, потом опять буферный газ, и, в конце концов, на краю горелки – кислород с водородом. Вещество осаждается на только что созданную в этом же процессе поверхность. Однако расстояние до этой поверхности должно быть строго фиксированным, и заготовка постоянно отодвигается от пламени горелки. Таким методом можно создавать заготовки, которых хватает на несколько тысяч километров волокна, а в принципе процесс может быть непрерывен – по мере изготовления заготовки из нее же можно вытягивать волокно.

На втором этапе конец заготовки размягчают в печи и тянут из него волокно. При вытяжке не происходит смешивания отдельных слоев, т. е. если диаметры сердцевины и оболочки заготовки относились, как один к десяти, то так оно будет и в вытянутом волокне. Вытяжка световодов проводится в столько же чистых помещениях, как и при производстве микросхем, чтобы на их поверхность не попадали пылинки – те же самые включения.

После того как волокно остынет, на него наносится защитная пленка полимера. Полимер призван защитить волокно от механических воздействий и от окружающей среды, прежде всего от водорода и воды. Дело в том, что вода ускоряет рост трещин, а водород, диффундируя вглубь волокна, повышает коэффициент затухания.

1.15.8. ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С ОПТОВОЛОКОННЫМИ ПРОВОДНИКАМИ

Современные процессоры работают на частотах порядка 2–4 ГГц. В действительности же быстроедействие КМОП логики, на основе которой в настоящее время изготавливаются все интегральные микросхемы, составляет порядка 10 ГГц. Основная проблема заключается не в том, что микросхемы не способны работать на таких частотах, а в передаче сигналов между этими микросхемами. Особенно чувствительными являются соединения между процессорами и оперативной памятью.

Дело в том, что при повышении частоты передачи сигнала по медным проводникам резко возрастают потери и появляются искажения сигнала. В

результате увеличивается число ошибок при работе. Было показано, что потери на печатных платах стандарта *FR-4* (*Flame Resistance 4*) с медной разводкой быстро растут при частотах свыше 1 ГГц; при этом ухудшается отношение сигнал/шум и появляются ошибки в синхронизации. Вдобавок, перекрестные помехи ограничивают плотность разводки.

Использование оптических линий связи для высокоскоростных шин может решить данную проблему. Высокоскоростные оптические каналы длиной до 10 см между микросхемами имеют ряд преимуществ по сравнению с медными. У них меньшие потери при большей полосе пропускания; кроме того, они не подвержены перекрестным электромагнитным помехам. В настоящее время ведутся работы по внедрению подобного типа коммутационных структур в печатные платы.

На рис. 1.71 представлены возможные варианты построения систем на основе оптических соединений.

Для передачи оптических сигналов по печатным платам фирма *IBM* разработала технологию, основанную на полимерных многомодовых волноводах размера 50×50 мкм. При этом для коротких расстояний при внутрисистемной связимодовая дисперсия не ограничивает скорости передачи сигналов до ожидаемого уровня 20 Гбит/с.

Единой технологии получения оптических волнопроводов на печатной плате на данный момент не существует. Различные компании работают над разработкой дешевой и производительной технологией их получения. В табл. 1.26 представлена одна из возможных технологий.

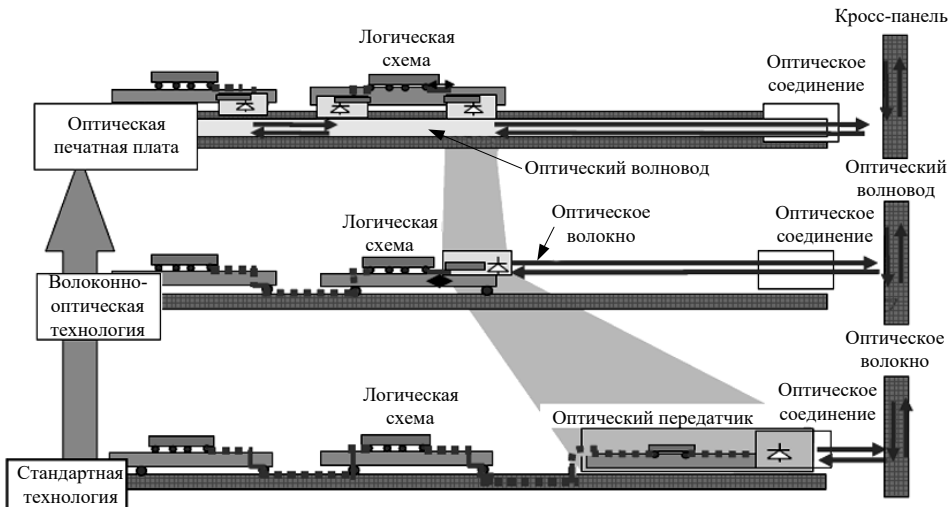


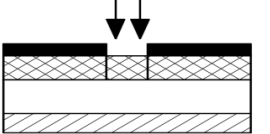
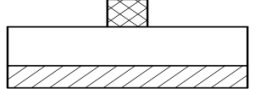
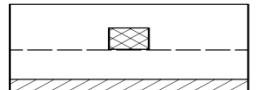


Рис. 1.71. Варианты систем на основе оптических соединений

Одна из технологий получения оптических волноводов

Наименование этапа	Иллюстрация
1. Плакирование на основание слоя полимера	
2. Нанесение слоя волновода на плакированный слой	
3. Формирование изображения волновода	
4. Удаление слоя волновода травлением	
5. Заполнение полимером плакированного слоя	

На рис. 1.72 приведен фотоснимок печатной платы с двумя полимерными волноводными слоями.

Сердцевина волноводов имеет квадратное сечение со сторонами 50 мкм, расстояние между волноводами по горизонтали равно 250 мкм, а затухание на длине волны 850 мкм равно 0,05 дБ/см.

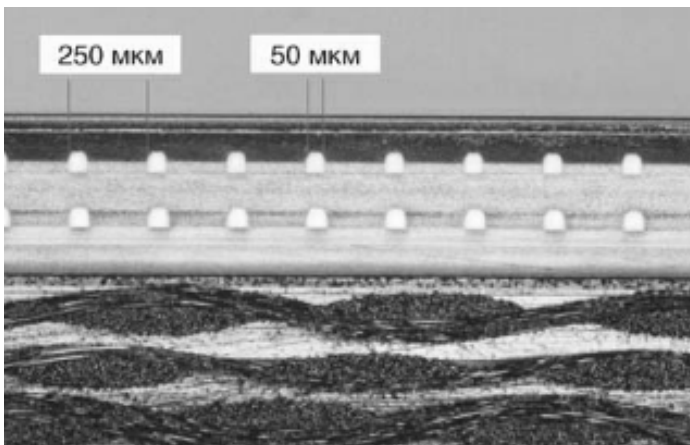


Рис. 1.72. Печатная плата с двумя полимерными волноводными слоями

Тесты к лекции 1.15

1. Укажите главное отличие оптоволоконна от медного провода:
 - а) По оптоволокону переносится свет, а по медному проводу – электрический сигнал;
 - б) Для подключения оптоволоконного кабеля нужен специалист;
 - в) Оптоволоконный кабель стоит дороже, чем медный кабель.

2. Как соотносятся между собой показатели преломления оптической оболочки и ядра оптоволоконного кабеля?
 - а) Показатель преломления ядра больше, чем показатель преломления оптической оболочки;
 - б) Показатель преломления ядра меньше, чем показатель преломления оптической оболочки;
 - в) Они равны.

3. Какой тип оптического волокна имеет дополнительную защитную оболочку?
 - а) Стекланные волокна;
 - б) Стекланные волокна с пластиковой оптической оболочкой;
 - в) Полимерные волокна.

4. Что показывает модовая дисперсия?
 - а) Максимальную разницу во времени распространения разных мод на одном отрезке волокна;
 - б) Минимальное время, за которое луч проходит 1 километр отрезка волокна;
 - в) Количество мод в конкретном волокне.

5. Какую роль играет легирование в изготовлении световода?
 - а) Легирование позволяет получить требуемый показатель преломления;
 - б) В основном легирование используют для увеличения прочности волокна;
 - в) В процессе изготовления световода не используют операцию легирования.