

2 Классификация и конструкция волоконно-оптических кабелей

2.1 Классификация оптических кабелей

Как правило, волокна перед использованием должны быть снабжены защитной оболочкой, называемой кабельной или защитной. Кабельная оболочка - это внешняя защитная структура, окружающая одно или более волокон. Она схожа по назначению с изоляцией, применяемой в медных кабелях. Кабельная оболочка защищает медные проводники и волокна от внешних агрессивных и механических воздействий, способных привести к повреждению или ухудшению их характеристик.

Подобно своим медным аналогам, оптические кабели имеют весьма разнообразную структуру. Но в основном оптический кабель состоит из скрученных по определённой системе оптических волокон, заключённых в общую защитную оболочку. При необходимости кабель может содержать силовые (упрочняющие) и демпфирующие элементы, а также некоторое количество металлических проводников.

Для любого кабеля важными характеристиками являются предел его прочности на разрыв, твердость, срок службы, гибкость, защищенность от внешнего воздействия, диапазон рабочих температур и даже внешний вид.

ОК применяют на информационных сетях различного назначения, при этом они могут подвергаться всевозможным вредным воздействиям окружающей среды. Поэтому конструкции ОК должны быть разнообразными, пригодными для эксплуатации при любых внешних условиях.

Классификация оптических кабелей

Существующие оптические кабели по своему назначению могут быть классифицированы на несколько групп:

Магистральные кабели предназначены для передачи информации на большие расстояния и на большое число каналов. Они обладают малыми затуханием и дисперсией и большой информационно-пропускной способностью.

Зоновые кабели предназначены для связи областного центра с районами и городами области. Дальность связи, как правило, составляет порядка сотни километров.

Городские кабели применяют в качестве соединительных между городскими АТС и узлами связи. Они рассчитаны на короткие расстояния (5...10 км) и большое число каналов.

Объектовые кабели служат для передачи информации внутри объекта. Сюда относятся учрежденческая и видеотелефонная связь, внутренняя сеть кабельного телевидения, а также бортовые информационные системы подвижных объектов, например, самолётов, кораблей и спутников.

В зависимости от условий прокладки и эксплуатации ОК подразделяют на следующие группы:

- подземные;
- для прокладки в кабельной канализации, коллекторах и трубах;
- подводные;
- подвесные;
- внутренние (станционные).

Подземные ОК прокладывают в грунтах всех категорий, через неглубокие болота и несудоходные реки.

Кабели второй группы предназначены для прокладки в кабельной канализации, трубах, блоках, коллекторах, шахтах и на мостах.

Подводные кабели предназначены для осуществления связи через большие водные преграды. Применяемые для этой цели оптические кабели должны обладать высокой механической прочностью на разрыв и иметь надёжные влагостойкие покрытия. Для подводной связи также важно иметь затухание и

большие длины регенерационных участков.

Подвесные ОК применяют для прокладки на грозотросе и фазовом проводе ЛЭП, контактной сети электрифицированных железных дорог, а также для устройства переходов от одного здания к другому в городских условиях и для прокладки на опорах воздушных линий связи и специальных стойках в сельских районах.

Станционные кабели предназначены для межстоечных и блочных соединений и монтажа аппаратуры. Они выполняются чаще всего в виде жгутов или плоских лент.

На рис. 3.19 представлены основные компоненты простого оптического кабеля с одним волокном.

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

- Оптическое волокно.
- Буферная оболочка.
- Силовой элемент.
- Внешняя оболочка.

Поскольку устройство оптических волокон уже достаточно подробно обсуждено, то остановимся на буферной оболочке, силовом элементе и внешней оболочке.

Буферная оболочка. Наиболее простой вид буфера представляет собой пластиковую оболочку, расположенную поверх оптической оболочки. Данный буфер является частью волокна и наносится производителями волокна.



Рис. 3.19 Конструкция волоконно-оптического кабеля

Силовые элементы - важная часть ВОК, особенно в процессе протягивания во время монтажа линии. Уровень напряжений в кабеле в процессе протяжки и других действий при монтаже таков, что может вызвать увеличение потерь за счет возникновения микроизгибов, что в свою очередь приводит к возрастанию затухания и возможным эффектам «усталости» материала. Чтобы снять эти стрессовые нагрузки во время монтажа и эксплуатации, в структуру ВОК добавляются внутренние силовые элементы. Эти элементы обеспечивают свойства растяжения под нагрузкой, подобно тому, что имеет место при прокладке телефонных линий и других кабельных конструкций. Они предохраняют ВОК от перегрузки путем минимизации удлинений и сжатий. Нужно иметь в виду, что оптическое волокно хрупкое и растягивается очень мало, перед тем как разорваться. Таким образом, силовые элементы должны иметь лишь небольшое удлинение под действием ожидаемой растягивающей нагрузки.

Наиболее распространенными силовыми элементами являются кевларовая нить, стальные и эпоксидные стержни. Кевлар используется тогда, когда каждое волокно помещается внутри индивидуальной оболочки. Стальные нити и стекловолокна применяются в многожильных кабелях. Сталь характеризуется лучшей механической устойчивостью по сравнению со стекловолокном, но в ряде случаев требуется изготовление полностью диэлектрических кабелей. Сталь, например, притягивает разряды молнии, а стекло избавлено от этого недостатка.

В настоящее время известны две конструктивные разновидности оптического кабеля:

- Кабели, содержащие металлические элементы (проводники, оболочки из

свинца или алюминия, бронепокровы).

- Кабели полностью диэлектрические (без металла).

К достоинству первых относятся высокая механическая прочность и влагостойкость. По медным проводникам можно осуществлять служебную связь, использовать их для дистанционного электропитания линейных регенераторов и находить трассу прокладки кабеля. Но такие кабели уязвимы в отношении электромагнитных воздействий (грозы, промышленные и транспортные помехи и др.) и имеют большие габариты и массу.

Диэлектрические кабели свободны от электромагнитных воздействий, но менее прочны механически, менее влагостойки и подвержены агрессии со стороны грызунов.

Внешняя оболочка, подобно изоляции провода, обеспечивает защиту от механического трения, масла, озона, кислот, щелочей, растворителей и т.д.

Бронепокрова. Применяются для защиты подземных ОК от давления земляной засыпки. Наряду с традиционными видами стальной проволочной брони широко используют оплетку из тонких стальных проволок и броню из неметаллических материалов в виде повива из арамидовых нитей или пластмассовых лент с упрочняющими стекловолокнами. Подводные кабели имеют усиленную двойную броню из стальной проволоки с цинковым покрытием или проволоки из нержавеющей стали.

Гидрофобные наполнители. В ОК наружной прокладки очень важна защита ОВ от проникновения воды. Традиционный метод защиты заключается в использовании гидрофобного компаунда в виде желе или геля. Компаунд в сердечник вводят под давлением при температуре 65...70 °С.

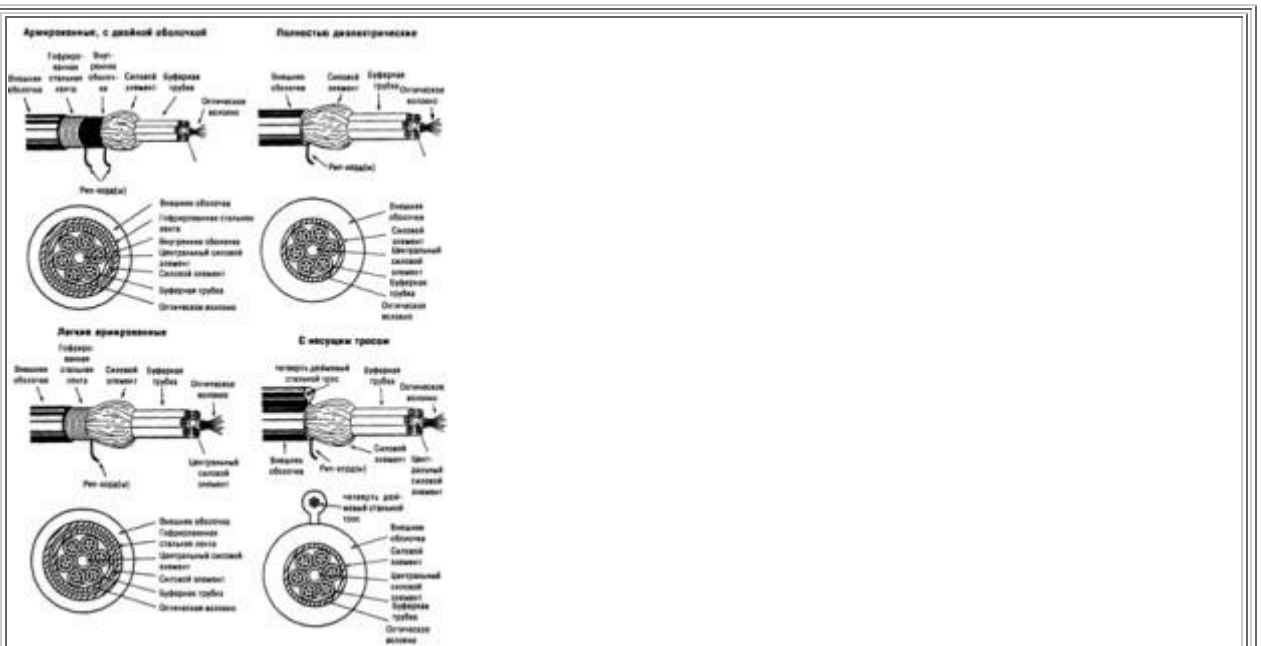


Рис. 3.20 Возможные конструкции волоконно-оптических кабелей

Оболочки, бронепокровы в соответствии с их функциональными назначениями и областью применения должны обеспечивать:

- герметичность и влагостойкость;
- механическую защиту;
- стойкость к воздействию соляного тумана, солнечного излучения;
- стойкость к избыточному гидростатическому давлению;
- защиту от грызунов;
- нераспространение горения.

Пассивные оптические компоненты включают в себя оптические соединители, розетки, шнуры, распределительные панели, кроссовые шкафы, соединительные муфты, оптические разветвители, аттенюаторы, системы спектрального уплотнения и т.д., то есть всё, что необходимо для обеспечения передачи оптического сигнала по волоконно-оптическому кабелю от передатчика к приёмнику.

По мере роста сложности и увеличения протяжённости волоконно-оптической кабельной системы роль пассивных компонентов возрастает. Практически все системы волоконно-оптической связи, предназначенные для магистральных информационных сетей, локальных вычислительных

сетей, а также для сетей кабельного телевидения, охватывают сразу всё многообразие пассивных волоконно-оптических компонентов. Ниже будут рассмотрены лишь некоторые из них.

Оптические соединители

Одной из самых важных задач, которую необходимо решить при построении любой оптической системы связи, является задача обеспечения надёжного соединения оптических волокон. Оптический соединитель это устройство, предназначенное для соединения различных компонентов волоконно-оптического линейного тракта в местах ввода и вывода излучения. Такими местами являются: оптические соединения оптоэлектронных модулей (приёмников и передатчиков) с волокном кабеля, соединения отрезков оптических кабелей между собой, а также с другими компонентами.

Различают неразъёмные и разъёмные соединители. Неразъёмные соединители используются в местах постоянного монтажа кабельных систем. Разъёмные соединители (широко употребляется термин коннекторы (connectors)) допускают многократные соединения/разъединения.

Основными требованиями к оптическим соединителям являются:

- малые вносимые потери;
- устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям;
- высокая надёжность;
- простота конструкции.

Дополнительно к разъёмным соединителям предъявляют требования неизменности параметров при многократных соединениях. Кроме того, любая их целесообразная конструкция по возможности должна исключать необходимость дополнительной юстировки.



Рис. 3.21 Основные разновидности оптических соединителей

1. Разъемные соединители.

На рынке существует большое количество специализированных оптических разъемов. Волоконно-оптические разъемы доступны в двух типоразмерах: разъемы стандартного размера и миниатюрные оптические разъемы.

Номенклатура стандартных соединителей достаточно велика. Наиболее широкое распространение получили соединители FC, ST и SC, которые различаются по уровню затухания света в них, конструкции и материалам изготовления.

2. Неразъемные соединители.

Неразъемное соединение, или сросток, постоянно соединяет два волокна. Существуют два типа соединений (сростков):

- Механическое соединение.
- Сварное соединение.

Сварные неразъемные соединители. В настоящее время для постоянного соединения ОВ кабелей почти всегда применяют сварные соединения. Освобожденные от покрытия ОВ после шлифовки торцов закрепляют в юстировочном устройстве и сваривают электрической дугой или лазерным лучом. Для установки сварных соединителей применяется электрическая дуга, позволяющая сварить два волокна между собой. Сварные соединители позволяют добиваться очень точного, контролируемого компьютером расположения волокон, что, в свою очередь, определяет их чрезвычайно низкие потери на уровне 0,05 дБ. Основным недостатком сварных неразъемных соединителей является высокая стоимость оборудования. Тем не менее, сварные соединители продолжают применяться там, где

существуют строгие ограничения на уровне допустимых потерь.

Возможности получения хорошего сварного соединения постоянно возрастают с усовершенствованием применяемого оборудования и технологии сварки, в дополнение к непрерывному совершенствованию геометрии волокна.

Качество сварного соединения можно характеризовать двумя параметрами:

- затуханием в месте сварки;
- прочностью сварного соединения.

Механические неразъемные соединители. Механическое соединение - небольшой участок механически соединенного оптоволокна - сросток длиной 6 см и диаметром 1 см. Этот сросток осуществлен путем точного выравнивания двух концов волокон и их надежного постоянного механического соединения. Сросток закреплен с помощью быстросхватывающего покрытия или клеевой обвязки, или с использованием того и другого. Механические сростки допустимы как для организации постоянного, так и временного соединения. Вносимые потери за счет механического соединения обычно выше, чем сварного соединения, и имеют порядок 0,1-0,8 дБ. В настоящее время разработано несколько видов механических неразъемных соединителей. Все они имеют следующие общие характеристики: легко устанавливаются в полевых условиях, с использованием только простого инструмента.

3.3.2 Оптические разветвители

Оптический разветвитель представляет собой в общем случае многополюсное устройство, в котором излучение, подаваемое на часть входных оптических полюсов, распределяется между его остальными оптическими полюсами.

Различают направленные и двунаправленные разветвители, а также разветвители, чувствительные к длине волны (спектрально-селективные) и нечувствительные (неселективные). В двунаправленном разветвителе каждый полюс может работать как на приём сигнала, так и на его передачу. Поэтому в этом случае группы приёмных и передающих полюсов могут меняться местами в функциональном смысле. В направленном разветвителе коэффициенты передачи между оптическими полюсами зависят от направления оптического излучения, а в спектрально-селективном

разветвителе от длины волны.

По своей конструкции разветвители разделяют на две основные группы - биконические, в которых излучение передается через боковую поверхность, и торцевые, в которых излучение передается через торец. В обеих группах излучение может передаваться либо при непосредственном контакте световодов, либо через вспомогательные элементы зеркала, линзы, смесители. В биконических разветвителях свет может быть извлечен через боковую поверхность при преобразовании направляемой моды в моду излучения или при связи со вторым световодом через исчезающее поле. Аналогично биконическим ответвителям могут быть реализованы ответвители на планарных структурах.

Различают следующие типы разветвителей: древовидный, звездообразный и ответвитель (рис. 3.22).

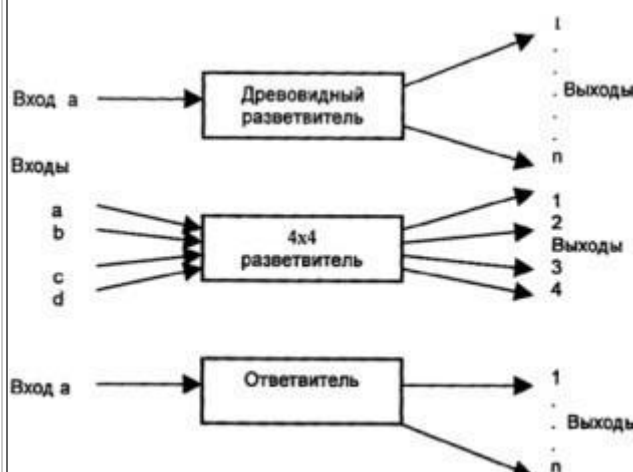


Рис. 3.22 Типы разветвителей: а) древовидный разветвитель; б) звездообразный разветвитель; в) ответвитель

Древовидный разветвитель осуществляет расщепление одного входного оптического сигнала на несколько выходных, или выполняет обратную функцию - объединение нескольких сигналов в один выходной (рис. 3.22, а). Обычно древовидные разветвители распределяют мощность в равной степени между всеми выходными полюсами. Конфигурация полюсов обозначается как $n \times m$, где n - число входных полюсов (для древовидного разветвителя $n = 1$), m - число выходных полюсов, когда устройство работает в режиме расщепления. В поставляемых в настоящее время моделях количество выходных портов может находиться в пределах от 2 до 32.

Звездообразный разветвитель обычно имеет одинаковое число входных и выходных полюсов. Оптический сигнал в таком разветвителе приходит на один из p входных полюсов и в равной степени распределяется между p выходными полюсами. Наибольшее распространение получили звездообразные разветвители 2×2 и 4×4 . Звездообразные разветвители распределяют мощность в равной степени между всеми выходными полюсами.

Ответвитель - это обобщение древовидного разветвителя, когда выходная мощность распределяется необязательно в равной пропорции между выходными полюсами (рис. 3.22, в). Конфигурации ответвителей бывают 1×2 , 1×3 , 1×4 , 1×5 , 1×6 , 1×8 , 1×16 , 1×32 . Некоторая доля (меньше 50%) выходной мощности идёт на канал (каналы) ответвителя, в то время как большая часть остаётся в магистральном канале. Выходные полюса нумеруются в порядке убывания мощности.

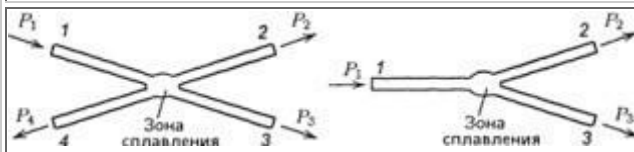


Рис. 3.23 Схемы волоконно-оптических разветвителей

Оптические изоляторы и вентили пропускают свет в одном направлении с малым затуханием и практически не пропускают свет в обратном направлении.

Изоляторы исключают влияние отражения прямого излучения на частоту и амплитуду сигналов, генерируемых полупроводниковыми лазерами и другими источниками. Одним из способов реализации оптических изоляторов является использование эффекта Фарадея, т.е. вращения плоскости поляризации оптического луча, распространяющегося в оптически активных средах, находящихся под действием магнитного поля.

Оптические аттенюаторы, или ослабители, характеризуются теми же параметрами, что и соединители. Только у соединителей вносимое затухание должно быть минимальным, а у аттенюаторов оно имеет разную величину. Различают фиксированные и регулируемые аттенюаторы.

К пассивным компонентам относятся и другие специальные компоненты ВОЛС, такие как:

- оптические переключатели, осуществляющие коммутацию одного или

нескольких оптических сигналов, переходящих из одних волокон в другие;

- соединительные муфты, задача которых герметично и на длительный срок закрыть область сваренных ОВ;
- оптические распределительные устройства и кроссовые устройства.

1 Оптический передатчик

В системах оптической связи происходит передача и обработка оптических сигналов. В состав ВОСП входят: оборудование сопряжения, оптический передатчик, оптическое волокно, оптический ретранслятор, оптический приемник.



Рис. 3.24 Передача сигнала в ВОСП

Оптический передатчик

Передающие оптоэлектронные модули (ПОМ), применяемые в волоконно-оптических системах, предназначены для преобразования электрических сигналов в оптические. Последние должны быть введены в волокно с минимальными потерями. Производятся весьма разнообразные ПОМ, отличающиеся по конструкции, а также по типу источника излучения. Одни работают на невысоких скоростях на линиях с максимальной длиной до нескольких метров, другие передают сотни и даже тысячи мегабит в секунду на расстояния в несколько десятков километров.

В состав оптического передатчика обычно входят источник оптического излучения, согласующее оптическое устройство, электронные схемы модуляции и стабилизации режимов работы источника излучения.

Главным элементом ПОМ является источник излучения. Он должен излучать на длине волны, соответствующей одному из окон прозрачности ОВ; обеспечивать достаточно высокую мощность излучения и эффективный ввод его в ОВ; иметь высокое быстродействие, позволяющее осуществлять высокоскоростную модуляцию; отличаться простотой, надежностью и

малыми габаритами.

Этим требованиям наиболее полно удовлетворяют полупроводниковые источники излучения: светодиоды (СИД) и лазеры (ЛД).

Светоизлучающие диоды. Благодаря своей простоте и низкой стоимости, светодиоды распространены значительно шире, чем лазерные диоды.

Применяются две основные конструкции СИД: с поверхностным и торцевым излучением. Основой первой является двухслойный полупроводник, содержащий р-п-переход. При прямом напряжении смещения спонтанная излучательная рекомбинация происходит непосредственно в области р-п-перехода, а свет распространяется по всем направлениям. Поэтому излучение на выходе СИД является некогерентным и слабонаправленным. В СИД с торцевым излучением используется двойная гетероструктура, представляющая собой в упрощенном виде трехслойный полупроводник (рис. 3.25).



Рис. 3.25 Схематичное изображение двойной гетероструктуры

Излучательная рекомбинация происходит в узком активном слое 1. Пассивные слои 2 образуются из полупроводниковых материалов с большей шириной запрещенной зоны $E_{g2} > E_{g1}$. Граница раздела между двумя слоями с различными E_g называется гетеропереходом. Другая особенность двойной гетероструктуры - это то, что показатель преломления активного слоя больше, чем пассивных ($n_1 > n_2$). Поэтому рекомбинационное излучение распространяется вдоль активного слоя, испытывая полное внутреннее отражение на границах.

В торцевых СИД, как и в СИД с поверхностным излучением, используется механизм спонтанной рекомбинации, что делает источники некогерентными. Однако частичная внутренняя канализация спонтанного излучения активным слоем позволяет сделать излучение торцевых СИД на выходе более направленным. При повышении напряжения смещения (тока накачки) спонтанно образующиеся фотоны распространяются вдоль

активного слоя, испытывая полное внутреннее отражение на границах.

Вывод излучения из источников с двойной гетероструктурой осуществляется с торца. Поскольку его распространение сопровождается большими потерями на поглощение, активный слой делают очень тонким (порядка 0,5 мкм).

В торцевых СИД, как и в СИД с поверхностным излучением, используется механизм спонтанной рекомбинации, что делает источники некогерентными.

Лазерные диоды. Принципиальным отличием лазерного диода от светодиода является наличие в нём встроенного оптического резонатора, что позволяет при условии превышения током инжекции некоторого порогового значения получить режим индуцированного излучения, которое характеризуется высокой степенью когерентности. В связи с чем ЛД имеют значительно меньшую ширину спектра излучения (1-2 нм) по сравнению со светодиодами (30-50 нм).

Зависимость мощности излучения от тока накачки описывается ватт-амперной характеристикой ЛД. При малых токах накачки лазер испытывает слабое спонтанное излучение, работая как малоэффективный светодиод. При превышении некоторого порога током накачки $I_{пор}$ излучение становится индуцированным, что приводит к резкому росту мощности излучения и его когерентности.

Главная отличительная черта между светодиодами и лазерными диодами - это ширина спектра излучения. Светоизлучающие диоды имеют широкий спектр излучения, в то время как ЛД имеют значительно более узкий спектр (рис. 3.26).

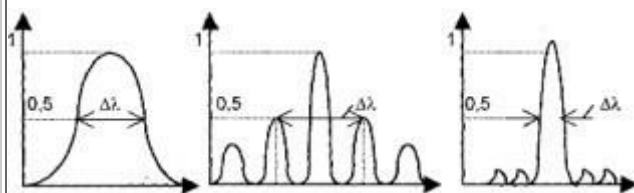


Рис. 3.26 Спектры излучения светодиодов (а) и лазерных диодов (б, в): а) $\Delta\lambda = 30-50$ нм; б) многомодовый лазер ($\Delta\lambda = 1-3$ нм); в) одномодовый лазер ($\Delta\lambda = 0,1-0,4$ нм)

Оба типа устройства весьма компактны и хорошо сопрягаются со стандартными электрическими цепями.

Характеристики источников. Сравним СИД и лазеры, данное сравнение позволит определить пригодность того или другого вида источников для различных применений. В таблице 3.1 представлены характеристики лазеров и светоизлучающих диодов.

Таблица 3.1 Сравнительные характеристики лазеров и СИД

Параметр	СИД	Лазер
Выходная мощность	Низкая	Высокая
Скорость	Низкая	Высокая
Выходная апертура (NA)	Высокая	Низкая
Спектральная характеристика	Широкая	Узкая
Совместимость с одномодовым волокном	Нет	Да
Применение	Простое	Сложное
Период эксплуатации	Очень длинный	Длинный
Стоимость	Низкая	Высокая

Выходной мощностью называется мощность излучения при специфицированном значении управляющего тока. Как показано на рис. 3.27, СИД излучает большую мощность по сравнению с лазером, работающим ниже порога генерации. Выше порога генерации мощность лазера резко возрастает и непрерывно увеличивается вместе с силой управляющего тока.

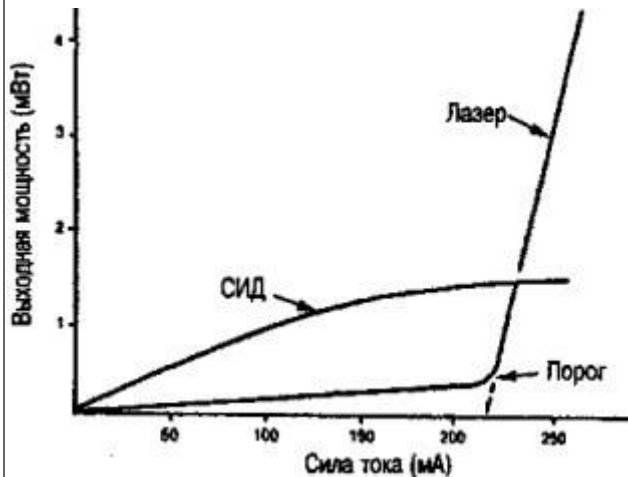


Рис. 3.27 Зависимость выходной мощности от силы тока

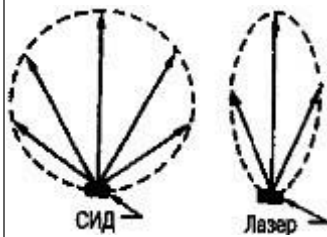


Рис. 3.28 Угловые диаграммы мощности от силы тока

В настоящее время мощности выпускаемых светодиодов составляет величину порядка 0,1-0,5 мВт (что соответствует от -10 до -3 дБм), лазерные диоды имеют выходную мощность порядка 1-5 мВт (0 - 7 дБм).

Расходимость излучения света является важной характеристикой для волоконно-оптических приложений. После выхода света из источника начинается расширение светового пучка, и только малая его часть в действительности попадает в волокно. Чем уже световой пучок, тем большая часть света может попасть в волокно. Хорошие источники должны иметь малые диаметры выходных пучков света и малую апертуру (NA). На рис. 3.28 представлены типичные угловые диаграммы излучения диодов и лазеров.

Передающий оптический модуль кроме СИД или ЛД включает в себя схемы стабилизации напряжения и тока, формирователь импульсов,

микророзоодильник, поддерживающий постоянную температуру излучателя, и устройство согласования излучателя с ОВ.

2 Оптический приемник

Приёмные оптические модули (ПРОМ) являются важными элементами волоконно-оптических систем. Их функция преобразование оптического сигнала, принятого из волокна, в электрический, который обрабатывается далее электронными устройствами.

Основными элементами ПРОМ являются фотоприёмник, преобразующий полученный оптический сигнал в электрический, и каскад электрических усилителей, усиливающих сигнал и преобразующих его в форму, пригодную для обработки.

Фотодетектор, как и источник оптического излучения, должен отвечать определенным требованиям, а именно: обладать высокой чувствительностью и быстродействием, вносить минимальные шумы в приемную систему, отличаться стабильностью рабочих характеристик, иметь небольшие размеры, быть высоконадежным и недорогим.

Полнее всего этим требованиям удовлетворяют полупроводниковые фотодетекторы.

Принцип работы фотоприемника. Среди полупроводниковых фотодетекторов наибольшее применение в ВОСП получили рiп-фотодиоды (ФД) и лавинные фотодиоды (ЛФД). В основе работы фотоприёмника лежит явление внутреннего фотоэффекта, при котором в результате поглощения фотонов с энергией, превышающей энергию запрещённой зоны, происходит переход электронов из валентной зоны в зону проводимости (генерация электронно-дырочных пар). Если к полупроводнику приложить напряжение, то появится электрический ток, обусловленный движением электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне.

Эффективная регистрация генерируемых в полупроводнике электронно-дырочных пар обеспечивается путём разделения носителей заряда. Для этого используется полупроводниковая конструкция с р-п-переходом, которая называется фотодиодом.

р-і-п-фотодиод. Отличительной особенностью р-і-п - фотодиода является наличие і-слоя (слаболегированного полупроводника п-типа) между

слоями p^+ - и n^+ -типа (+ означает сильное легирование) (рис. 3.29).

Такой i -слой называется обеднённым слоем, поскольку в нём нет свободных носителей. Сильное легирование крайних слоев делает их проводящими, поэтому всё напряжение падает на i -слой и в нём создаётся максимальное значение электрического поля. Но поскольку в i -слое нет свободных носителей, то в нём нет и электрического тока.



Рис. 3.29 Схема структуры $p-i-n$ - фотодиода

При наличии падающего на i -слой излучения в нём образуются свободные электронно-дырочные пары, которые под воздействием электрического поля быстро разделяются и двигаются в противоположных направлениях к своим электродам, образуя электрический ток. Электрический ток идёт до тех пор, пока образуются электронно-дырочные пары, то есть пока на фотодиод падает свет. Эффективным является взаимодействие излучения только с i -слоем, поэтому его делают протяжённым, а крайние слои узкими.

Лавинные фотодиоды. Главное отличие ЛФД от обычного фотодиода наличие внутреннего усиления сигнала. Если структура слоев у обычного фотодиода имеет вид $p^+ - i - n^+$, то в ЛФД добавляют p -слой ($p^+ - i - p - n^+$). Причём профиль распределения легирующих примесей выбирается так, чтобы наибольшее сопротивление, а следовательно, и наибольшую напряжённость электрического поля имел p -слой.

При воздействии света на i -слой образуются электронно-дырочные пары и благодаря небольшому полю происходит направленное движение носителей к соответствующим полюсам (рис. 3.30).

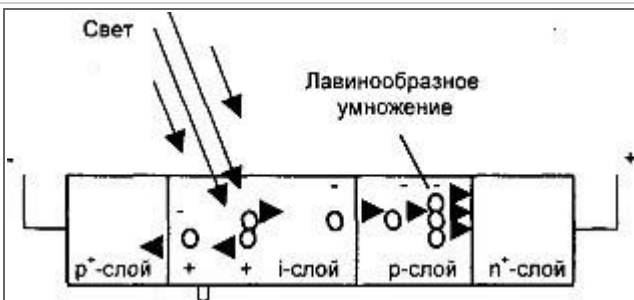


Рис. 3.30 Схема структуры лавинного фотодиода

Лавинные фотодиоды имеют преимущество перед p-i-n-фотодиодами по чувствительности. Однако они обладают рядом недостатков по сравнению с p-i-n-фотодиодами. Основными недостатками ЛФД являются более высокое рабочее напряжение питания по сравнению с p-i-n-фотодиодами и довольно сильная зависимость коэффициента умножения от температуры. Другими недостатками являются меньшая надёжность и относительно высокая стоимость. Поэтому в ВОЛС более широко используются p-i-n-фотодиоды.

Основным параметром оптического приемника является пороговая чувствительность (минимально допустимый уровень мощности принимаемого оптического сигнала), квантовая эффективность и время отклика.

Квантовой эффективностью называется отношение числа первичных пар электрон-дырка к числу падающих на материал диода фотонов. Данный параметр является либо безразмерным, либо выражается в процентах. Квантовая эффективность 1, или 100%, означает, что каждый поглощенный фотон приводит к образованию электронно-дырочной пары.

Временем отклика называется время, которое требуется фотодиоду для преобразования поступающей оптической энергии в электрический ток.

Чувствительность современных p-i-n составляет величину от 10нВт до 100пВт (что соответствует -50 дБм - -70 дБм).

3 Оптические усилители и повторители

По мере распространения оптического сигнала по оптическому волокну происходит его ослабление, а также уширение импульсов из-за дисперсии. Любой из этих факторов может оказаться причиной ограничения максимальной длины волоконно-оптической линии связи. Если же

максимально допустимая длина между приёмником и передатчиком превышена, то необходимо в промежуточных точках линии связи добавлять один или несколько повторителей и оптических усилителей.

Типы повторителей. По методу усиления оптического сигнала повторители подразделяются на две категории: регенераторы и оптические усилители.

В волоконно-оптических линиях связи регенераторы значительно больше распространены, чем оптические усилители. При построении оптических магистралей оптические усилители в последнее время играют незаменимую роль.

Регенератор (электронно-оптический повторитель) сначала преобразует оптический сигнал в электрическую форму, усиливает, корректирует, а затем преобразовывает обратно в оптический сигнал (рис. 3.31).

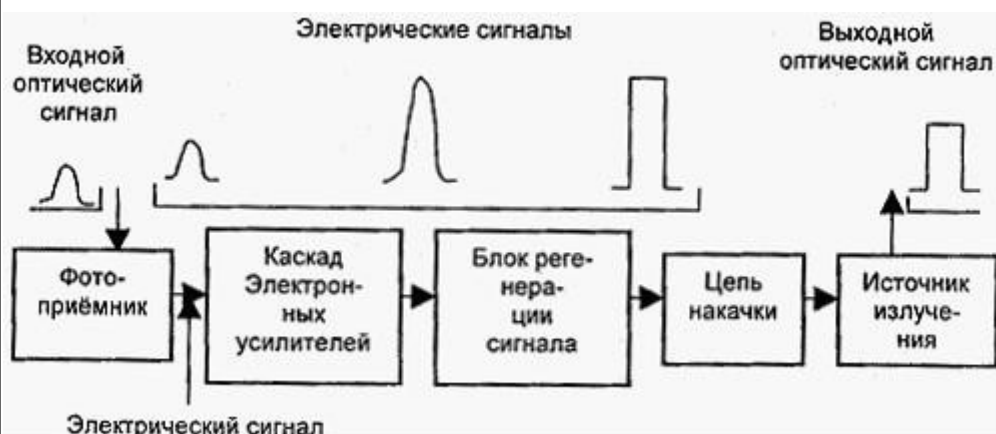


Рис. 3.31 Электронно-оптический повторитель

Повторитель можно представить как последовательно соединённые приёмный и передающий оптические модули. Блок регенерации восстанавливает прямоугольную форму импульсов, устраняет шум.

Оптический усилитель (ОУ), в отличие от повторителя, не осуществляет оптоэлектронного преобразования, а сразу производит усиление оптического сигнала (рис. 3.32).



Рис. 3.32 Оптический усилитель

Оптические усилители в равной степени усиливают как входной сигнал, так и шум. Кроме того, они вносят собственные шумы в выходной оптический канал.

Одним из основных достоинств ОУ является простота конструкции, в которой преобладают пассивные компоненты, имеющие низкую цену, и меньшее число компонентов чем у повторителя. ОУ имеет более высокую надёжность, чем повторитель, что особенно важно для ретрансляторов ВОЛС, пролегающих под водными преградами.

Оптический усилитель не привязан к скорости передачи, в то время как повторитель обычно предназначен для работы на определённой скорости.

Повторители работают с одноволновым сигналом, а ОУ могут одновременно усиливать несколько оптических сигналов с разными длинами волн в пределах определённого волнового интервала, который называется зоной усиления. Это позволяет наращивать пропускную способность линии связи, на которой установлены ОУ, без добавления новых волокон.

В настоящее время наиболее перспективными для ВОСП считаются полупроводниковые усилители и усилители на примесном ОВ.

Принципы действия указанных ОУ весьма сложны.

Сравнительный анализ повторителей и ОУ позволяет сделать некоторые выводы. Повторители осуществляют регенерацию цифрового оптического сигнала, но имеют сложную конструкцию и, как следствие, высокую стоимость и относительно низкую надёжность. Кроме того, регенератор обычно предназначен для работы на определенной скорости передачи информации и не допускает одновременной передачи нескольких волновых каналов, что затрудняет его использование в ВОСП с волновым мультиплексированием. ОУ имеет простую и высоконадежную конструкцию, а его стоимость постоянно снижается. Он не привязан к скорости передачи информации, что позволяет увеличивать пропускную способность действующих ВОСП без значительного увеличения затрат на оборудование.

Создание современных сверхпротяженных ВОСП невозможно без регенераторов и ОУ.

5 Измерение параметров волоконно-оптических систем

Так как большинство параметров систем передачи могут определяться числовыми значениями физических величин, роль измерительной техники в телекоммуникациях трудно переоценить. В настоящее время используется множество методов и средств измерений, служащих для определения соответствия этих параметров установленным нормам. Последние, как и при тестировании взаимодействия открытых систем, регламентируются соответствующими стандартами, включающими комплекс взаимосвязанных рекомендаций, совместно определяющих методики измерений и обработки их результатов, а также требования к характеристикам используемых для этой цели средств. Однако, для обеспечения необходимой точности и достоверности результатов измерений тех или иных параметров, сами средства измерений должны отвечать совокупности требований, наиболее важным из которых является точность средства измерения. Обеспечение требуемой точности и единства измерений являются задачами метрологического обеспечения предприятий, организаций и государства и решаются органами государственной метрологической службы.

Назначение и виды измерений. В процессе строительства и технической эксплуатации ВОЛС проводится комплекс измерений для определения состояния кабелей, линейных сооружений, качества функционирования аппаратуры линейного тракта, предупреждения повреждений, а также накопления статистических данных с целью разработки мер повышения надежности связи.

На этапе строительства ВОЛС в целях контроля качества строительства и связи измеряют следующие параметры: затухание ОВ на строительных длинах и смонтированных участках регенерации; затухание, вносимое соединениями ОВ; уровни мощности оптического излучения на выходных передающих и входных приемных электронных модулях; коэффициент ошибок. При необходимости устанавливают места повреждений.

Измерение трассы ВОСП. В настоящее время наибольшее распространение для измерений в ВОСП получил прибор, называемый рефлектометр. В основе метода измерения рефлектометром лежит явление обратного рэлеевского рассеяния. При реализации этого метода измеряемое волокно зондируют оптическими импульсами, вводимыми в ОВ через оптический направленный ответвитель. Из-за флюктуаций показателя преломления сердцевины вдоль волокна, отражений от рассеянных и локальных

неоднородностей, распределенных по всей длине волокна, возникает обратнорассеянный поток. Мощность этого потока, измеренная в точке ввода оптических зондирующих импульсов в волокно с некоторой задержкой t относительно момента посылки зондирующего импульса, пропорциональна мощности, обратнорассеянной в точке кабеля, расположенной на расстоянии $l_x = tv/2$ от места измерения, где v групповая скорость распространения оптического импульса. Соответственно при измерении с конца кабеля зависимости мощности обратного рассеянного потока от времени определяется распределение мощности обратнорассеянного оптического сигнала вдоль кабеля характеристика обратного рассеяния волокна. По этой характеристике можно определить функцию затухания по длине конца кабеля.

Для реализации данного метода разработаны специальные приборы оптические рефлектометры во временной области. Они получили широкое распространение благодаря своей универсальности, так как обеспечивают одновременное определение целого ряда важнейших параметров: степени регулярности кабеля, мест неоднородностей и повреждений, потерь в местах соединений, затухания и др.

Измерение затухания. Измерение затухания осуществляется на всех стадиях производства оптического кабеля, строительства и эксплуатации ВОЛС. Измеряют коэффициент затухания оптического кабеля, затухание строительных длин, затухание смонтированного участка регенерации, затухание соединений ОВ.

Оптическими вносимыми потерями называют отношение суммарной мощности оптического излучения на входных оптических полюсах компонента ВОСП к суммарной мощности оптического излучения на входных полюсах компонента ВОСП, выраженное в децибелах.

Соответственно при измерении вносимого затухания определяют разность уровней мощности, воспринимаемой приемником излучения при его непосредственном подключении к источнику излучения, и мощности, поступающей на приемник при его включении на выходе измеряемого волокна, концы которого армированы оптическими соединителями.

Измерение числовой апертуры. Числовую апертуру необходимо знать для лучшего согласования ОВ при соединении между собой, а также с источниками и приемниками излучения, уточнения потерь на стыках ОВ при измерениях с одной стороны и т.п. Наиболее простой способ измерения

числовой апертуры косвенный: по результатам измерения апертурного угла.

Измерение профиля показателя преломления. Профиль показателя преломления является одним из основных параметров ОВ, определяющих его широкополосность. В отдельных случаях на стадиях строительства и эксплуатации ВОЛС может возникнуть потребность в его измерении. Для измерения профиля показателя преломления могут использоваться различные методы: интерферометрические, лучевые и рассеяния, сканирования отражения от торца, пространственного распределения излучения и др.

Измерение геометрических характеристик ОК. Поперечные геометрические параметры ОВ могут быть определены различными методами. Однако на практике в условиях строительства и эксплуатации ВОЛС их оценка, как правило, осуществляется по результатам измерения профиля показателя преломления; определение конструктивных размеров кабеля и модулей, а также отклонение сечения от круглого могут производиться обычными визуальными методами, в частности микроскопом с измерительной сеткой, микрометром и т.д.

Измерение механических характеристик ОК. Механические характеристики ОК играют важную роль. Их значение необходимо при производстве работ по строительству ВОЛС. Оценка механических характеристик ОК осуществляется в процессе их производства.

Измерение уровней оптической мощности. Измерение уровней оптической мощности в процессе строительства и эксплуатации ВОЛС производится достаточно часто. Под абсолютным уровнем мощности понимают величину $P = 10 \lg(P/P_H)$,

где P мощность измеряемого оптического излучения в заданной точке, мВт;
 P_H мощность нормального генератора, равная 1 мВт.

Для измерения уровня оптической мощности используют ваттметры поглощаемой оптической мощности.

Измерение коэффициента ошибок. Коэффициент ошибок важнейшая характеристика линейного тракта. Он измеряется как для отдельных участков регенерации, так и для тракта в целом. Определяется коэффициент ошибок кош по формуле:

$$k_{\text{ош}} = N_{\text{ош}} / N,$$

где N - общее число символов, переданных за интервал измерения; $N_{\text{ош}}$ - число ошибочно принятых символов за интервал измерения.

Измерение коэффициента ошибок носит статистический характер. Для измерения $k_{\text{ош}}$ разработаны специальные приборы - измерители коэффициента ошибок, включающие генераторы псевдослучайной последовательности символов и приемное оборудование, осуществляющее собственно измерение коэффициента ошибок.

Измерение энергетического потенциала и чувствительности приемного оптического модуля. Энергетический потенциал это разность между уровнем оптического сигнала на выходе передающего и чувствительностью приемного оптических модулей. Чувствительность приемного оптического модуля (ПрОМ) - это минимальный уровень оптического сигнала на входе ПрОМ, при котором обеспечивается требуемый коэффициент ошибок.

Величину энергетического потенциала можно определить как разность между измеренными уровнями средней мощности цифрового оптического сигнала на выходе ПОМ и входе ПрОМ, соединенных оптической линией связи, при таком максимальном значении вносимого затухания, при котором обеспечивается максимально допустимое значение коэффициента ошибок.

Соответственно для измерения энергетического потенциала необходимо иметь линию с регулируемым затуханием. В качестве такой линии обычно используют оптический аттенюатор. При проведении измерений он контролирует коэффициент ошибок. Аттенюатор может быть включен между ПОМ и ПрОМ одного пункта.