

Лекция 2 Пассивные оптические компоненты

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 все, что необходимо для обеспечения передачи оптического сигнала по волоконно-оптическому кабелю от передатчика к приемнику.

По мере роста сложности и увеличения протяженности волоконно-оптической кабельной системы роль пассивных компонентов возрастает. Практически все системы волоконно-оптической связи, реализуемые для магистральных информационных сетей, локальных вычислительных сетей, а также для сетей кабельного телевидения, охватывают сразу все многообразие пассивных волоконно-оптических компонентов.

Самым важным вопросом передачи информации по ВОЛС является обеспечение надежного 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 опто-электронных модулей (приемников и передатчиков) с волокном кабеля, соединения отрезков оптических кабелей между собой, а также с другими компонентами. Различают неразъемные и разъемные соединители. *Неразъемные соединители* используются в местах постоянного монтажа кабельных систем, Основным методом монтажа, обеспечивающим неразъемное соединение, является *сварка*. *Разъемные соединители* (широко употребляется термин *коннекторы*, connectors) допускают многократные соединения/разъединения. Промежуточное положение занимают соединения типа *механический сплайс*.

2.1. Разъемные соединители

Типы конструкции

По конструкции соединения бывают симметричными и несимметричными [1], Упрощенные схемы соединений показаны на рис. 2.1. *При несимметричной конструкции* для организации соединения требуется два элемента: соединитель гнездовой и соединитель штекерный, рис. 2.1 а. Оптическое волокно в капиллярной трубке коннектора-штекера не доходит до торца капилляра, а остается в глубине. Напротив, волокно в гнездовом соединителе выступает наружу. При организации соединения физический контакт волокон происходит внутри наконечника-капилляра, который обеспечивает соосность волокон. Открытое волокно, и капиллярная полость у этих соединителей являются основными недостатками, снижающими надежность несимметричной конструкции. Особенно недостатки сказываются

при большом количестве переподключений. Поэтому такой тип конструкции получил меньшее распространение.

При симметричной конструкции для организации соединения требуется три элемента: два соединителя и переходная розетка (coupling), рис. 2.1 б. Главным элементом соединителя является наконечник (female). Переходная розетка снабжается центрирующим элементом, выполненным в виде трубки с продольным разрезом - должен быть контакт между наконечником и центрирующим элементом розетки, рис, 2.1 в. Центрирующий элемент плотно охватывает наконечники и обеспечивает их строгую соосность.

Внешний диаметр наконечника равен 2,5 мм. Наиболее жесткие требования предъявляются к параметрам отверстия (капилляра) наконечника. Оно должно быть достаточно большим, чтобы волокно могло зайти в него, и при этом достаточно малым, чтобы люфт волокна был незначительным. Диаметр отверстия в соответствии со стандартом равен $126 +1/-0$ мкм для одномодового волокна и $127 +2/-0$ мкм для многомодового волокна. Некоторые производители поставляют наконечники широкого диапазона диаметров (например. 124, 125, 126, 127 мкм) для аккомодации естественных вариаций диаметров волокна. Наконечник, как самый прецизионный элемент соединителя, является самым дорогим. Наконечники обычно бывают металлические (на основе нержавеющей стали), керамические (на основе циркония или оксида алюминия). Пластиковые наконечники высокого качества должны снизить стоимость соединителя.

К соединителям предъявляются следующие основные требования: малые вносимые потери, малое обратное отражение, устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям, высокая надежность и простота конструкции, незначительное ухудшение характеристик после многократных повторных соединений.

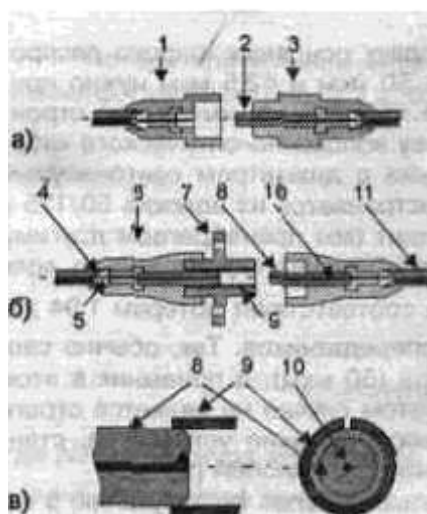


Рис. 2.1. Конструкции соединителей: а) несимметричная; б) симметричная; в) наконечник и центратор розетки симметричного соединителя

Обозначения: 1 - соединитель гнездовой; 2 - наконечник-капилляр; 3 -

соединитель штекерный; 4 - кевларовые нити; 5 - эпоксидный наполнитель; 6 - соединитель; 7 - переходная соединительная розетка (адаптер); 8 - оптический наконечник; 9 - центрирующий элемент розетки; 10 - оптическое волокно; 11 – миникабель

Вносимые потери

Сетевые стандарты закладывают большой запас по затуханию в кабельной системе. Например, стандарты физического уровня на многомодовое волокно FDDI (PMD), Fast Ethernet (100Base-FX) рассчитаны на максимальное допустимое затухание в линии до 11 дБ при максимальном допустимом расстоянии 2 км. Если учесть, что потери в кабеле составляют 3 дБ/км, а в соединителе с однотипными волокнами - 0,5 дБ, то один дополнительный переход с 62,5 на 50 мкм, вносящий затухание 2,5 дБ, не будет критичным даже при максимальной длине кабельного сегмента (2 км)/

Соединение многомодового и одномодового волокон. Еще большие внутренние потери (примерно 16 дБ) возникают при сопряжении многомодового и одномодового волокна, когда свет распространяется из первого во второе волокно.

Внешние потери - это потери, которые являются следствием несовершенства как самой конструкции соединителя, так и процесса сборки оптического шнура. Внешние потери зависят от таких факторов как: механическая нестыковка (угловое смещение O -, радиальное смещение L , осевое смещение S); шероховатости на торце сердцевин; загрязнение участка между торцами волокон, рис. 2.2.

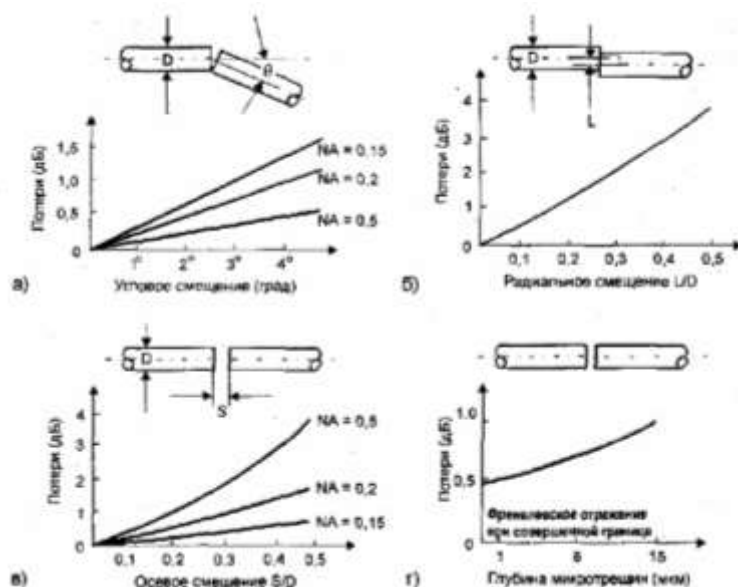


Рис. 2.2. Четыре главных вида внешних потерь в соединителе [3]: а) потери при угловом смещении; б) потери при радиальном смещении; в) потери при осевом смещении; г) потери из-за френелевского рассеяния на неоднородностях

Обратное отражение и контакты типа PC, Super PC, Ultra PC, APC

Рассеяние не только ведет к ослаблению проходящего сигнала, но и увеличивает обратный световой поток. Обратное отражение, как правило, начинает сказываться в оптических линиях широкополосной цифровой передачи, широкополосной аналоговой передачи, или в магистральных линиях с большим числом разъемных сопряжений. Для построения таких линий, в основном, используется одномодовое волокно. Сильное обратное отражение от стыков соединителей может взаимодействовать с активной средой лазерного передатчика и, в конечном итоге, приводить к ненужным дополнительным световым сигналам. В абонентских широкоэмитерных сетях кабельного телевидения, использующих широкополосные (до 1 ГГц) аналоговые оптические передатчики, такая обратная связь приводит к паразитной интерференции передаваемых сигналов, в результате чего, например, ухудшается качество видеоизображения. При цифровой передаче обратное рассеяние менее критично, однако суммарный эффект обратного рассеяния на нескольких стыках соединителей может быть причиной потери битовой информации на приемном устройстве.

Существуют три градации физического контакта, отличающиеся уровнем потерь на обратном отражении: PC -30 дБ; SuperPC -40 дБ; UltraPC < -50 дБ.

Надежность, механические, климатические и другие воздействия

Количество переключений. Обычно соединители рассчитаны на 500-1000 переключений. За это время увеличение вносимых потерь не должно превысить 0,2 дБ. Этого количества подключений при обычной эксплуатации более, чем достаточно. Разъемное соединение считается наиболее слабым звеном в кабельной системе. Сильное напряжение на миникабель, идущий к соединителю, или резкие воздействия (на кабель, на соединитель) могут привести к ухудшению технических характеристик соединения, или повредить его. Обычно места крепления переходных розеток делаются под навесом, или в нише. Аккуратная эксплуатация мест кроссирования оптических кабелей увеличивает срок службы соединителей и всей кабельной системы в целом.

Большинство соединителей рассчитано на эксплуатацию внутри помещений. Поддерживать чистоту для оптических соединителей более важно, чем для электрических. Загрязнение поверхности контакта не только влияет на вносимые потери, но и сильно сказывается на обратном отражении, так как оно препятствует физическому контакту. В элементы конструкций современных кроссовых панелей закладывается возможность легкого доступа к любому соединителю или к переходной розетке с целью проведения чистки. Оптические шнуры и переходные розетки, если нет подключения, закрываются специальными пылевлагозащитными колпачками. Не следует их снимать до момента использования.

Оптические шнуры

Оптический шнур - это оптический миникабель, оконцованный с обеих сторон соединителями. Оптические шнуры бывают одномодовые, многомодовые (с одномодовым и многомодовым волокном, соответственно), одиночные (с одним волокном), двойные (с двумя волокнами). Они также различаются типом соединителей и могут поставляться разной длины под заказ. Пример обозначения оптического шнура: ST - Duplex SC MM 50/125 5м. Это двойной оптический шнур с многомодовым волокном 50/125 длиной 5м, оконцованный с одной стороны соединителем Duplex SC, с другой стороны - двумя соединителями ST.

Основные функция оптического шнура - обеспечение соединения: между разными активными сетевыми устройствами; между сетевым устройством и оптическим распределительным узлом; внутри оптического соединительного узла или кросса (внутренняя кросс-коммутация).

Примеры оптических шнуров приведены на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Примеры одиночных оптических шнуров: а) ST-ST; б) SC-ST

Розетка должна соответствовать типу соединителей. Выпускаются переходные розетки, обеспечивающие сочленение разнородных соединителей. Однако такие розетки получили меньшее распространение из-за того, что не составляет большого труда изготовление оптического шнура с разными типами соединителей.

Адаптеры быстрого оконцевания

Изготовление оптических шнуров, т.е. заделка оптического волокна в соединитель наряду с конструктором соединителя и миникабелем требует приемлемых лабораторных условий для монтажа и специального оборудования, в частности: полировального оборудования (оборудования для ручной полировки и/или специализированной полировальной машины), печи для обеспечения более быстрого затвердевания эпоксидного клея. Иногда для выполнения быстрого соединения проще использовать адаптер быстрого оконцевания обнаженного волокна. Такая заделка волокна является временной процедурой и применяется к волокнам в стандартном 3 мм миникабеле и 900 мкм буфере (tight- buffer). Адаптеры быстрого оконцевания используют стандартные соединители ST, FC, SC и обеспечивают потери при соединении с другими стандартными соединителями менее 1 дБ при одномодовых и многомодовых соединениях [7].

2.2. Сварное соединение волокон

Сварка (fusion splicing) оптических волокон основана на их точном центрировании, после чего волокна свариваются друг с другом при помощи дугового разряда между электродами. Центрирование волокон представляет из себя либо автоматическое центрирование, либо центрирование в V-образном пазу.

Наиболее распространенный *метод автоматического центрирования* основан на так называемой системе PAS, когда место сращивания волокон освещается сбоку при помощи зеркал с двух сторон. При этом на экране, находящемся на противоположной стороне от места сращивания камеры, появляется изображение, определяемое профилем преломления оптического волокна, по которому прибор может установить положение сердцевины волокна.

Более простой в использовании *метод центрирования в V-образном пазу* (V-groove) требует высокого качества геометрии волокна для обеспечения приемлемых характеристик сварного соединения, рис. 2.4.

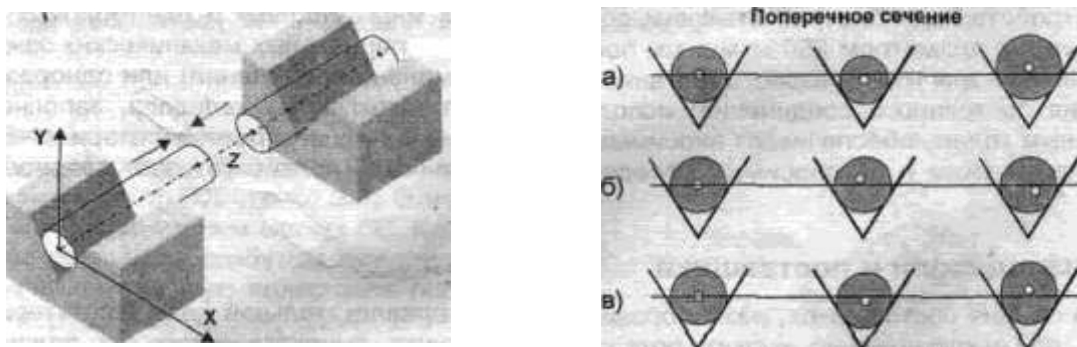


Рис. 2.4. Влияние геометрии волокна на качество сварки методом V-groove:

- а) при разбросе значений диаметров оболочки волокна;
- б) при отклонении концентричности сердцевина/оболочка от нормы;
- в) при неоднородностях оболочки

Три геометрические характеристики волокна влияют на качество сварки методом V-groove:

- разброс значений диаметров оболочки волокна (cladding diameter distribution);
- концентричность сердцевина/оболочка (core/clad concentricity);
- неоднородности оболочки волокна (fiber curl) - утолщения или полости.

Приемлемым для метода V-groove является значение диаметра оболочки 125,031,0 мкм, хотя это и более строгое требование, чем установленное Bellcore TR-20 в 1994 году.

Такое же отклонение в 1,0 мкм допустимо для концентричности сердцевина/оболочка, хотя и обсуждается вопрос уменьшить это значение до 0,8 мкм [10].

Неоднородность оболочки обычно проявляется реже и только на определенных участках волокна. Влияние этого фактора меньше, чем двух предыдущих, для волокон ведущих фирм-производителей.

Отметим, что влияние отклонения от идеальной геометрии волокна по трем перечисленным характеристикам практически не ухудшает качества сварки при использовании процедуры автоматического центрирования, поскольку центрирование контролируется положением сердцевин волокон.

После сварки оголенное волокно должно быть механически защищено, для чего чаще всего используют термоусаживающиеся защитные гильзы (также широко используется термин КДЗС - комплект для защиты стыка). Термоусадка этих гильз происходит в предназначенной для этой цели специальной печи, которая обычно является одним из узлов сварочного аппарата.

Сварка создает неразрывное соединение и поэтому обеспечивает наилучшие характеристики по вносимым и обратным потерям по сравнению с разъемным соединением или механическим сплайсом. Как правило, сварка используется в местах соединения участков оптических кабелей при их пролегании вне зданий и в местах оконцевания кабелей внутри зданий. При наружном соединении места сварки защищаются герметичными муфтами. Если же сварные соединения выполнены внутри здания, они помещаются в специальные сплайс боксы. Не всегда решение выбора сварки или разъемного соединения бывает простым. В неоднозначных ситуациях следует учитывать преимущества и недостатки каждого типа соединения (табл. 2.1) наряду с общими требованиями по эксплуатации волоконно-оптической кабельной системы в целом.

Таблица 2.1. Сравнение разъемного соединения и сварки

Преимущества разъемного соединения	Преимущества сварного соединения
Существует разрыв	Непрерывное соединение
Простое подключение после монтажа	Меньшие вносимые потери
Легкая конфигурация	Меньшие обратные потери
Предусматривает стандартные типы соединений	Легче достигается герметичность
Допускается заводская прединсталляция	Более компактное в расчете на одно соединение

Может показаться странным наличие в качестве преимуществ двух первых диаметрально противоположенных пунктов у разъемного и сварного соединения. Однако каждая из характеристик положительно проявляется в определенных приложениях. Например, лучшей защитой для проходного соединения кабелей, проложенных в грунте, будет сварка. В то же время, при построении локальной сети разъемное соединение для подключения сетевых узлов будет более гибким и даст возможность перемещать сетевое оборудование в пределах здания.

Преимущество малых вносимых потерь у сварного соединения особенно сильно проявляется при построении протяженных оптических магистралей с расстоянием между ретрансляторами в несколько десятков километров. На

подобных участках может располагаться до нескольких десятков сегментов строительных длин одномодового ВОК.

Получение сварных соединений высокого качества упрощается благодаря постоянному совершенствованию сварочных аппаратов, процедур и практики сварки. Кроме этого, непрерывно улучшается контроль за геометрией в процессе производства волокна и его качество.

В результате на сегодняшний день характерные значения вносимых потерь находятся в диапазоне от 0,05 до 0,1 дБ как для одномодового, так и для многомодового волокна [9].

Одноволоконная дуговая сварка - один из наиболее распространенных методов сварки, предполагающий сварку одной пары волокон. Одноволоконная дуговая сварка допускает как использование метода автоматического центрирования, так метода V-groove.

Многоволоконная дуговая сварка менее распространенный, хотя и стремительно набирающий силу метод создания неразрывного соединения, предполагающий одновременную сварку сразу нескольких пар волокон (от 4 до 12 пар). Сварочные аппараты, использующие многоволоконную сварку, предназначены для сращивания ленточных волокон и могут также использовать любой из методов центрирования волокна. Аппараты с автоматическим центрированием (автоматы) более дорогие, чем аппараты, использующие метод V-groove. Совершенствование качества производимого волокна способствует росту спроса на сварочные аппараты, использующие многоволоконную сварку с методом центрирования V-groove. Основная область применения таких аппаратов - сварка ленточных ВОК и ВОК с большим количеством волокон (36,72,144).

Количественные оценки качества сварки

Качество сварки определяется: вносимыми потерями и натяжным усилием. Обратные потери при сварном соединении пренебрежимо малы (+ -70 дБ), так как главный фактор обратных потерь, свойственный разъемным соединениям - воздушный зазор отсутствует. Вклад в обратные потери дает френелевское рассеяние, связанное с разницей в показателях преломления волокон. Однако поставляемое одномодовое волокно имеет очень высокую стабильность показателя преломления $\Delta n/n < 0,001$. Кроме этого, скачок в показателях преломления сглаживается благодаря диффузии, протекающей во время сварки. *Вносимые потери*, как и потери при организации разрывного соединения, подразделяются на внутренние и внешние потери.

Внутренние потери. Для многомодового градиентного волокна внутренние, или волоконно-зависимые потери, определяются парным различием числовых апертур, эксцентриситетов, диаметров (концентричностей) и показателей преломления у сращиваемых волокон. Некоторые сварочные аппараты осуществляют выравнивание по осям сердцевин, и, таким образом, ослабляют фактор наличия разности эксцентриситетов. Но невозможно устранить потери из-за скачка диаметров и числовых апертур. Эти потери

зависят от направления и естественно возникают, когда свет переходит из волокна с большим диаметром в волокно с меньшим или из волокна с большей апертурой в волокно с меньшей апертурой. Потери носят аддитивный характер в том смысле, что если, например, сращиваемые многомодовые волокна проявляют отклонения как в диаметрах, так и в числовых апертурах, то вклад во внутренние потери будет представлен суммой отдельных потерь из-за отклонения в диаметрах и отклонения в числовых апертурах.

Внешние потери возникают вследствие несовершенства самого процесса сварки. Они включают осевое, угловое отклонение, загрязнение и деформацию сердцевин волокон. Влияние этих факторов может быть уменьшено благодаря индивидуальному мастерству и опыту специалиста, выполняющего сварку, или благодаря качеству автоматического сближения и выравнивания волокон и циклам дуговой сварки при использовании современных сварочных аппаратов-автоматов.

Натяжное усилие, необходимое для разъединения сваренных волокон, также характеризует качество сварки. Чем выше значение разрывного усилия, тем выше качество сварки. Естественно, нет смысла разрывать готовое соединение, но можно делать контрольные измерения, тем самым определяя, насколько качественно может быть выполнена сварка для данных типов волокон. Причиной разрыва является повышенная концентрация и большие размеры микротрещин на поверхности в окрестности места сварки.

Затраты, связанные с различными технологиями сварки, хотя и варьируются в зависимости от метода сварки, опыта специалистов и других факторов, считаются относительно высокими. Но несмотря на это, сварка остается самой распространенной и самой надежной технологией сведения волокон: при одновременном монтаже сразу нескольких волокон, при одиночной сварке с использованием как активной, так и пассивной систем осевого выравнивания.

Наиболее распространены автоматизированные сварочные аппараты для одноволоконной сварки фирм Fujikura - FSM-30S и Sumitomo Electric Industries - Type-35SE.