

Лекция 4 Пассивные оптические компоненты

4.1. Оптические изоляторы

Оптический сигнал, распространяясь по волокну, отражается от различных неоднородностей, в особенности от мест сухого стыка, образуемых оптическими соединителями. В результате такого отражения часть энергии возвращается обратно. Если в качестве источников излучения используются лазерные диоды, то отраженный сигнал, попадая в резонатор лазера, способен индуцировано усиливаться, приводя к паразитному сигналу.

Особенно это не желательно, когда источник излучения генерирует цифровой широкополосный сигнал (3100 МГц), или аналоговый широкополосный сигнал (в смешанных волоконно-коаксиальных сетях кабельного телевидения до 1 ГГц). В сложных широкополосных сетях, когда имеется множество подключений коннекторов и другие оптические устройства (разветвители, WDM устройства, оптические усилители), такая обратная связь усиливается и приводит к росту уровня шума источника излучения. Наиболее кардинальный способ подавления обратного потока основан на использовании оптических изоляторов. Оптический изолятор обеспечивает пропускание света в одном направлении почти без потерь, а в другом (обратном) направлении с большим затуханием. Оптические изоляторы сегодня являются ключевым элементом многих лазерных систем, оптических усилителей, а также используются в качестве отдельного элемента оптической линии связи.

Вращение плоскости поляризации

В основе работы оптического изолятора лежит эффект Фарадея - вращение плоскости поляризации света оптически неактивными веществами под действием продольного магнитного поля.

Угол поворота плоскости поляризации равен $V = NBzd$, где V - постоянная Верде (Verdet) - удельное магнитное вращение, зависящая от природы вещества, температуры и длины волны света, B_z - продольная составляющая индукции магнитного поля, d - длина пути света в веществе - размер ячейки Фарадея.

Направление вращения зависит только от природы вещества и направления магнитного поля. Знак вращения отсчитывается для наблюдателя, смотрящего вдоль магнитного поля. Магнитное вращение плоскости поляризации обусловлено возникновением асимметрии оптических свойств вещества под действием магнитного поля.

Зависимость вращения плоскости поляризации от длины волны света называется *вращательной дисперсией*. В первом приближении в области достаточно малых длин волн, удаленных от полос поглощения света веществом, угол вращения плоскости поляризации зависит от длины волны света λ по закону Био: $\theta \propto \lambda^{-2}$.

Принцип действия оптического изолятора

Оптический изолятор состоит из трех элементов: поляризатора 1 (входного поляризатора), ячейки Фарадея 2 и анализатора 3 (выходного поляризатора), рис. 3.17. Параметры ячейки Фарадея выбираются так, чтобы ось поляризации света, проходящего через нее, разворачивалась на 45° . Под таким же углом устанавливаются оси поляризаторов.

Входной полезный сигнал, проходя через поляризатор 1, оставляет свою вертикальную составляющую без изменения, устраняя горизонтальную составляющую, рис. 4.1 а.

Далее вертикально поляризованный свет проходит через ячейку Фарадея 2, разворачивает плоскость поляризации на 45° и беспрепятственно проходит через анализатор 3.

При распространении света в обратном направлении (рис. 4.1 б) он также поляризуется в плоскости анализатора 3, затем, проходя через ячейку Фарадея 2, становится горизонтально поляризованным. Таким образом, оси поляризации света и поляризатора 1 составляют угол 90° , поэтому поляризатор 1 не пропускает обратное излучение.

Технические параметры

Основными требованиями, предъявляемыми к оптическому изолятору, являются малые вносимые потери в прямом направлении (1-2 дБ) и высокая изоляция (потери при распространении обратного сигнала) в обратном направлении (330 дБ).

Кроме того, должны обеспечиваться прозрачность во всем диапазоне рабочих длин волн, стабильность параметров при изменении температуры. В диапазоне длин волн 1,3-1,55 мкм магнитооптическим материалом, используемом в ячейке Фарадея, является $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$. На длине волны 0,85 мкм используется парамагнитное стекло.

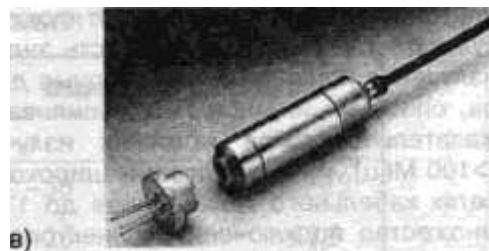
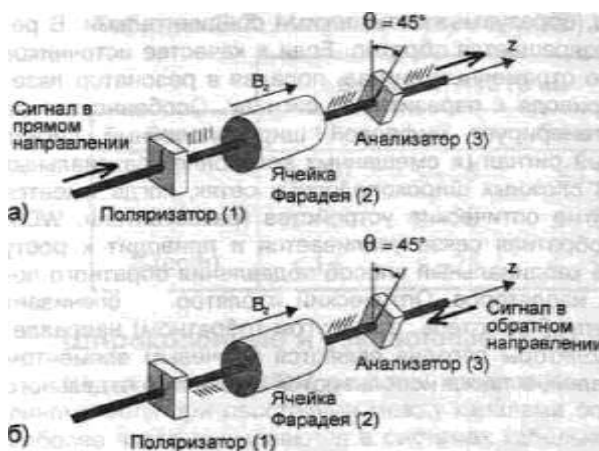


Рис. 4.1. Схема оптического изолятора: а) полезный сигнал в прямом направлении проходит свободно; б) сигнал в обратном направлении поглощается поляризатором; в) вид оптического изолятора (справа) рядом с лазерным диодом

Параметры оптических изоляторов, выпускаемых фирмами EOT (Electro-Optic Technology), OFR (Optical For Research, Inc.) приведены в табл. 4.1.

Оптические изоляторы часто интегрируются в лазерный передающий модуль. Высокая эффективность такого решения связана с тем, что выходной оптический сигнал от лазерного светодиода имеет эллиптическую поляризацию. Оптический изолятор устанавливается так, чтобы плоскость поляризации анализатора 1 совпадала с плоскостью поляризации максимальной составляющей выходного сигнала от лазерного светодиода.

Оптические изоляторы также являются неотъемлемой частью оптических усилителей на примесном волокне. В этом случае устанавливается пара оптических изоляторов - один на входе, другой на выходе оптического усилителя. Поскольку оптические усилители, как правило, осуществляют усиление мультиплексного оптического сигнала, то необходимо, чтобы оптические изоляторы имели высокие характеристики во всем диапазоне длин волн, представленных в оптическом сигнале. Для этой цели используются специальные широкозонные оптические изоляторы.

Таблица 4.1. Технические параметры оптических изоляторов

Модель	Ю-G-1310 (1310 нм)	Ю-G-1550 (1550 нм)
Пиковая изоляция (на центральной длине волны)	≥ 36 дБ	8 + 16 дБ
Полоса с изоляцией до 90% от пиковой	1+2% от $\lambda = 1310$ нм	1+2% от $\lambda = 1550$ нм
Вносимые потери	0,7+1,2 дБ	0,7+1,2 дБ
Обратные потери	> 55 дБ	> 55 дБ
Рабочая температура	-20 + +55°C	-20 + +55°C
Температура хранения	-35 + +80°C	-35 + +80°C
Относительная влажность	95%, 0°C + 40°C	95%, 0°C + 40°C

Поставщиками разнообразных оптических изоляторов являются фирмы: DiCon [13], FOCI [14], FiberPlex.[19], Shinkosha [20].

4.2. Другие специальные пассивные компоненты ВОЛС

Аттенюаторы

Аттенюаторы используются с целью уменьшения мощности входного оптического сигнала. Такая необходимость может возникнуть как при передаче цифрового, так и аналогового сигнала. При цифровой передаче большой уровень способен привести к насыщению приемного оптоэлектронного модуля. При передаче аналогового сигнала чрезмерно высокий уровень приводит к нелинейным искажениям и ухудшению изображения. По принципу действия аттенюаторы бывают переменные и фиксированные.

Переменные аттенюаторы допускают регулировку величины затухания в пределах 0-20 дБ для многомодовых и одномодовых волокон с точностью установки величины затухания 0,5 дБ. Регулировка достигается путем изменения величины воздушного зазора.

Фиксированные аттенюаторы имеют установленное изготовителем значение затухания, величина которого может составлять 0, 5, 10, 15 или 20 дБ. Затухание может вноситься посредством воздушного зазора фиксированной величины, или посредством специального поглощающего фильтра, встроенного в аттенюатор [7, 26]. В последнем случае значительно уменьшается обратное отражение, поскольку фильтр имеет близкий к волокну показатель преломления, что сильно уменьшает обратное френелевское рассеяние.

Доступны разнообразные исполнения аттенюаторов: аттенюаторы-шнуры, аттенюаторы-розетки, аттенюаторы-FM розетки. *Аттенюаторы-шнуры* оконцовываются с обеих сторон стандартными соединителями (ST, SC или FC). Затухание в шнуре обеспечивается благодаря специальному волокну. *Аттенюаторы-розетки* бывают как переменные (с регулируемым воздушным зазором), так и фиксированные (с нерегулируемым воздушным зазором или фильтром). *Аттенюаторы-FM розетки*, рис. 4.2, устанавливаемые между стандартной переходной розеткой и оптическим соединителем, обычно выпускаются с фиксированным набором значений затухания 5, 10, 15 и 20 дБ (затухание обеспечивается либо нерегулируемым воздушным зазором, либо фильтром).

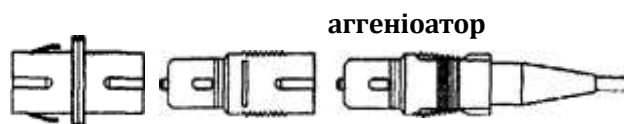


Рис. 4.2. Внешний вид аттенюатора-FM розетки стандарта SC

В широкополосных сетях кабельного телевидения при использовании гибридных волоконно-коаксиальных архитектур MFC обратное отражение, вносимое аттенюатором с воздушным зазором, может оказаться слишком большим. Значительно уменьшить обратное отражение можно, используя аттенюаторы со скошенным под углом 8° наконечником для подключения к соединителю FC/APC или SC/APC.

Оптические переключатели

Оптические переключатели осуществляют механическую, то есть без оптоэлектронного преобразования, коммутацию одного или нескольких оптических сигналов, переходящих из одних волокон в другие. При этом управление процессом переключения может быть ручное, например при помощи тумблера, или электрическое, при помощи электрического потенциала. Последний тип переключателей более распространен. Основная область применения - в составе оборудования для тестирования и мониторинга ВОЛС, а также в составе системы, обеспечивающей повышенную надежность (как, например, оптический обходной переключатель в технологии FDDI).

Реализации отличаются функциональными возможностями: количеством входных и выходных волокон-полюсов и типом волокон (многомодовое или одномодовое), возможностью неблокирующей коммутации сигналов, а также техническими характеристиками, из которых наиболее важные: вносимые потери, обратное отражение, время срабатывания, влияние параметров окружающей среды, наработка на отказ. Разные инженерные технологии используются при коммутации, например, поворотные бипризмы, поворотные зеркала или подвижные волокна. Оптические переключатели являются изотропными устройствами - вносимые потери не зависят от направления распространения сигнала.

Различают несколько типов оптических переключателей:

- *Переключатель $1 \times N$* имеет один входной полюс, сигнал из которого перенаправляется в один из N выходных, рис. 4.3 а;
- *Дуплексный переключатель $2 \times N$* имеет два входных полюса, сигналы из которых могут перенаправляются в выходные полюсы с шагом 2, рис. 4.3 б;
- *Блокирующий переключатель $2 \times N$* - имеет два входных полюса, но только один сигнал из двух входных можно передать в выходной полюс - оставшийся сигнал не выходит наружу, рис. 4.3 в;
- *Неблокирующий переключатель $2 \times N$* - имеет два входных полюса, сигналы из которых могут перенаправляются в выходные полюсы с шагом 1, рис. 4.3 г.

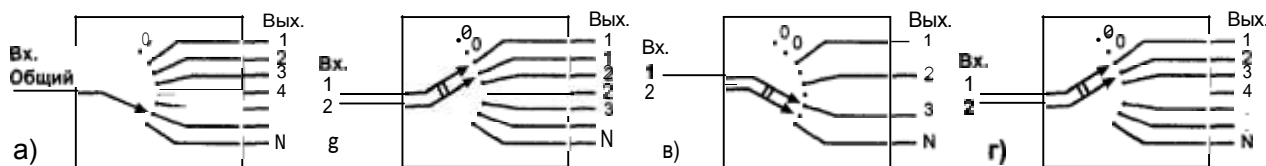


Рис. 4.3. Типы оптических переключателей

В технологии FDDI используется 8-полюсный (4 входных и 4 выходных) оптический обходной переключатель OBS (optical bypass switch), причем он может находиться либо в основном состоянии с коммутацией полюсов: $vx1-vyx1$, $vx2-vyx2$, $vx3-vyx3$, $vx4-vyx4$; либо в байпасовом состоянии с коммутацией полюсов: $vx1-vyx2$, $vx2-vyx1$, $vx3-vyx4$, $vx4-vyx3$.

Количество выходных полюсов в зависимости от модели может быть от двух до нескольких десятков.

Из-за наличия механического элемента с ростом количества полюсов время срабатывания оптического переключателя, управляемого электрическим потенциалом, возрастает и может варьироваться в пределах от 25 мс до 500 мс.

Фирма DiCon Fiberoptics выпускает переключатели с количеством выходных полюсов до 100, с ручным или через стандартные физические электрические интерфейсы управлением (RS-232, RS-485).

В табл. 4.2 приведены основные характеристики малопортовых переключателей этой фирмы.

Таблица 4.2. Характеристики оптических переключателей [13]

Характеристики	1x2 MM Switch	2x2 SM Switch	FDDI Dual Bypass Switch
Тип волокна	многомодовое	одномодовое	многомодовое
Вносимые потери, дБ	0,5; max 1,0	0,6; max 1,3	0,5; max 1,8
Обратное отражение, дБ	–	< –50	–
Время срабатывания, мс	< 25	< 50	< 25
Наработка на отказ, число циклов	> 10000000	> 10000000	> 10000000
Переходные помехи, дБ	< –80	< –80	< –80

Крупными поставщиками оптических переключателей являются: AMP, DiCon, Fibertron, JSD Fitel, Molex, NetOptics.

Соединительные герметичные муфты

При прокладке протяженной линии связи на один линейный участок между приемопередающим оборудованием может приходиться от единиц до нескольких десятков строительных длин ВОК. В местах сопряжения кусков оптических кабелей обычно производится сварка волокон с последующей надежной защитой мест сварки. Для этой цели используются соединительные муфты, основная задача которых герметично на длительный срок закрыть область сваренных волокон. Муфты могут предназначаться для укладки в грунте, на дне рек, океанов, для подвески на опоры вдоль линии электропередач и т.д.

Наряду со специализированными поставляются и универсальные муфты, которые могут обеспечивать внешнюю защиту сразу нескольким широко используемым типам кабелей - для прокладки в грунт, в кабельную канализацию и для подвески на опорах. Примеры соединительных муфт показаны на рис. 4.4.

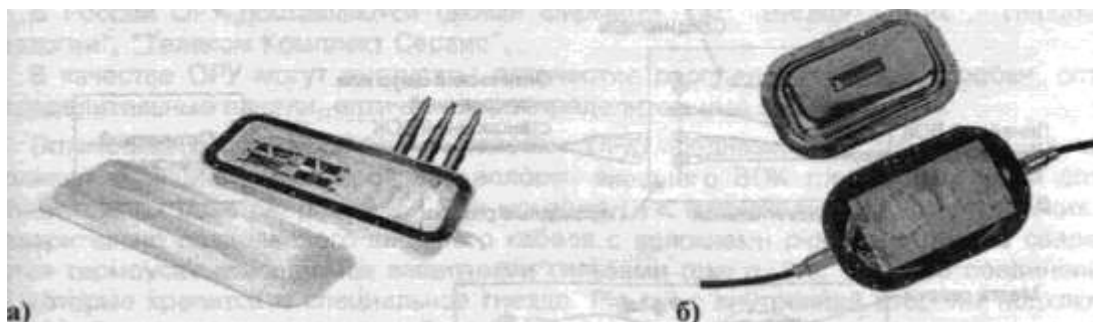


Рис. 4.4. Универсальные оптические соединительные муфты: а) муфта ХОК 10 (производитель NK Cables); б) проходная муфта МОМЗ (поставщик "Перспективные Технологии")

Крупными поставщиками этой продукции являются PLP [21], Lucent Technologies, Siemens, NK Cables (Nokia) [22].

4.3. Оптические распределительные и коммутационные устройства

Когда ВОК наружной прокладки (линейный ВОК) заходит внутрь здания, его, как правило, не подключают непосредственно к приемо-передающему оборудованию (оптическим трансиверам). Такое решение было бы ненадежным и негибким. Обычно предварительно выполняется терминирование волокон линейного ВОК.

Терминирование ВОК

Терминированием называется оконцевание волокон ВОК оптическими коннекторами и последующее подключение оконцованных волокон к переходным розеткам, закрепленным на оптической распределительной панели/коробке, для обеспечения дальнейшей связи с сетевым оборудованием через оптические соединительные шнуры.

Различают три способа терминирования ВОК: непосредственное терминирование; терминирование через сварку с заранее подготовленными, оконцованными с одной стороны волокнами (pig-tail-ами); терминирование через сварку с волокнами станционного ВОК.

Непосредственное терминирование подразумевает оконцевание волокон линейного ВОК коннекторами, которые затем подключаются к переходным розеткам, установленным на специальной оптической панели, рис. 4.5 а. Такое непосредственное оконцевание удобней производить в лабораторных или заводских условиях.

Терминирование через сварку с pig-tail-ами основано на сварке волокон линейного ВОК с волокнами заранее подготовленных так называемых pig-tail-ов. Pig-tail - это оптическое волокно в буферном покрытии длиной обычно до одного метра, оконцованное соединителем с одной стороны. Посредством соединителя волокно подключается к переходным розеткам оптической панели, рис. 4.5 б. В этом способе обычно сплайс пластины, в которые укладывают сваренные волокна, размещаются внутри той же панели, на которой устанавливаются переходные розетки.

Терминирование через сварку с волокнами станционного ВОК выполняется на оптических узлах с большой концентрацией волокон. В таких случаях под размещение сплайс пластин может быть выделено отдельное устройство (сплайс-панель, или сплайс-шкаф).

Волокна линейного ВОК сваривают с волокнами притерминированного оптического кабеля для внутренней прокладки (*рстанционного ВОК*), рис. 4.5 в. Длина станционного ВОК может варьироваться от нескольких метров до нескольких километров.

Одно из главных требований, которое предъявляется к станционному ВОК, - это отсутствие галогеносодержащих соединений в составе оболочки кабеля.

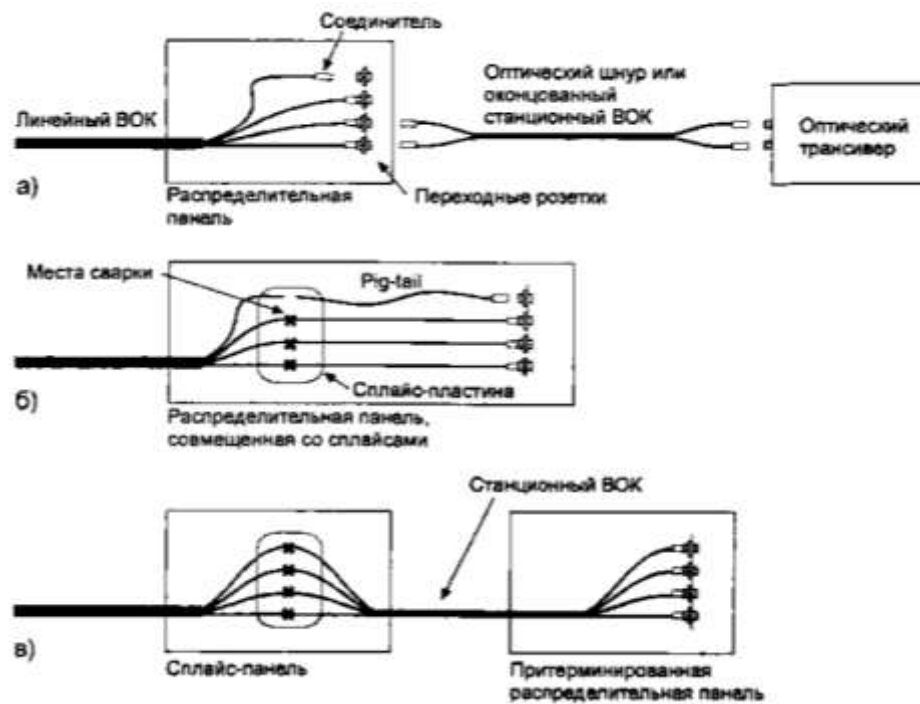


Рис. 4.5. Способы терминирования волокон: а) непосредственное терминирование; б) терминирование через сварку с pig-tail-ами; в) терминирование через сварку с волокнами стационарного ВОК

При сварке волокон не требуется на месте монтажа столь большого набора инструментов и материалов, как при оконцевании. Кроме того, процесс сварки отнимает значительно меньше времени. Поэтому терминирование волокон через сварку получило значительно большее распространение, чем непосредственное терминирование.

После выполнения терминирования линейного ВОК производят подключение сетевого оборудования. Для этого могут использоваться одноволоконные (одиночные), двухволоконные (двойные) оптические шнуры или оконцованные с обеих сторон многоволоконные стационарные ВОК.