Оптический циркулятор

Анонс

Во-первых, портал Nag.Ru объявляет "конкурс заметок", рассчитанный на участие самого широкого круга специалистов-провайдеров, или особо приближенных к этому почетному званию. Для победы участникам необходимо самостоятельно найти информационный повод на тему, так или иначе, затрагивающую мир телекоммуникаций, проанализировать ее, сделать собственные выводы. Во многом "Заметка" очень похожа на обычную реплику блоггера. По сути - несколько абзацев текста, в которые необходимо "уложить" как информационный повод, так и всю сделанную на его основе аналитику. Особый литературный талант в данном случае не нужен, оформление, грамматику, и прочий антураж - поправим.

Главное и единственное - текст должен быть интересен аудитории сайта (тем более, победитель определяется голосованием участников форума). Совершенно необязательны "новостные поводы" федерального значения. Часто важно именно то, что "встречается" в окружающем мире или работе, возможно небольшое и привычное. К примеру - вполне подойдет рассказ об особо сложном монтаже или недокументированных особенностях профессиональной техники. Не надо обходить стороной и мощные маркетинговые приемы, используемые в работе, либо эффективные способы рекламы. В общем, просто посмотрите вокруг - и напишите нам на web@nag.ru.

Кстати, конкурсные заметки уже публикуются, их можно смотреть и голосовать...

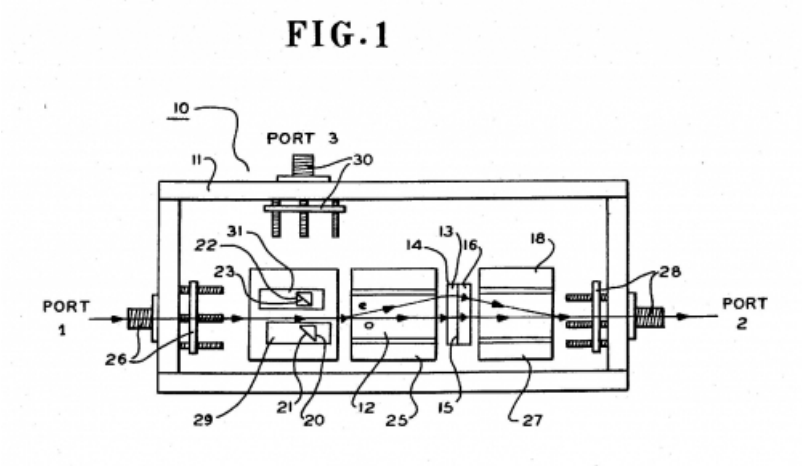
Во-вторых, компания Nag приглашает технических специалистов на 4-х дневный семинар-практикум по оборудованию Ericsson и Juniper (14-17 декабря). Если перед вами в ближайшее время стоит задача квалифицированного обслуживания или грамотного выбора дорогостоящего оборудования – семинар отличная возможность подготовиться к этому. Ведущие технические специалисты производителей будут готовы ответить на все вопросы. Это куда лучше, чем самостоятельно изучать нудные datasheet'ы.

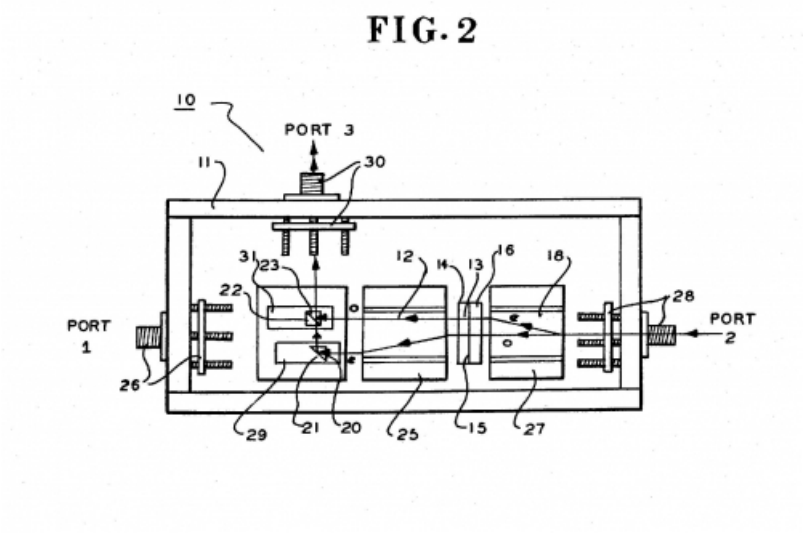
Оптический циркулятор

В чащах, в болотах огромных,
У оловянной реки,
В срубах мохнатых и темных,
Странные есть мужики.

В истории полно примеров когда технические новинки не находят своего широкого распространения в эпоху их появления. И только спустя пару десятков лет появляется задача, которую они могут успешно решить. Одним из примеров является оптический циркулятор, ОЦ (optical circulator), запатентованный еще в 1993 году (если быть внимательным, в тексте под ссылкой указана еще одна публикация, датированная 1981 годом).

Назначение показанной конструкции более чем утилитарно. Это трехполюсник, пропускающий излучение из порта "1" в "2", а обратно, из "2" в "3". Причем с небольшими вносимыми потерями (около 1 дБ) и хорошей изоляцией (не менее 40 дБ). Физика действия куда сложнее, для строгого описания работы устройства потребуется квантовая механика (к которой, разумеется, никто не собирается прибегать в рамках данной статьи).

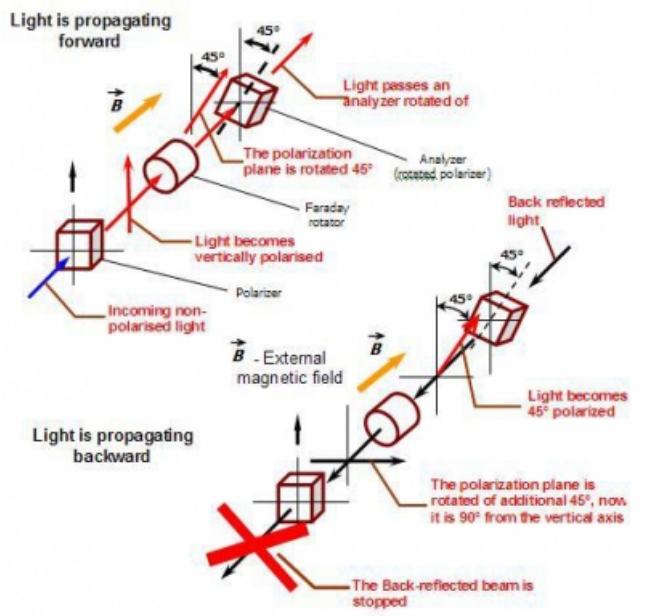




Действие циркулятора основано в основном на эффекте Фарадея, а именно, повороте плоскости поляризации света под действием магнитного поля. Не слишком новое изобретение, еще в 1845 году оно было первым эксперементальным доказательством связи между электромагнетизмом и светом. Сейчас на практике применяются Фарадеевские вращатели (Faraday rotator), которые обеспечивают поворот плоскости поляризации на 45 градусов. Изготовлены они из магнитоупорядоченных кристаллов, в частности, в ферритов-гранатов. Эти материалы активно изучаются с момента открытия в 1956 году, и весьма широко распространены в технике. Давно производятся даже в России, например тут, вот только на рынке отечественных изделий как-то не заметно.

Оптический изолятор

Кроме циркулятора, на эффекте Фарадея построено более простое устройство - оптический изолятор (ОИ). В нем обратное излучение полностью гасится, а не выводится в отдельный порт (собственно, любой современный циркулятор можно использовать как ОИ, достаточно никуда не подключать "обратный" разъем). Принцип действия весьма прост, и показан на следующей схеме:



На входе стоит линейный поляризатор (вертикальный в данном случае), далее - вращатель Фарадея поворачивает плоскость поляризации на 45 градусов, на выходе стоит еще один поляризатор-анализатор, повернутый 45 градусов. Благодаря этому сигнал свободно проходит через устройство.

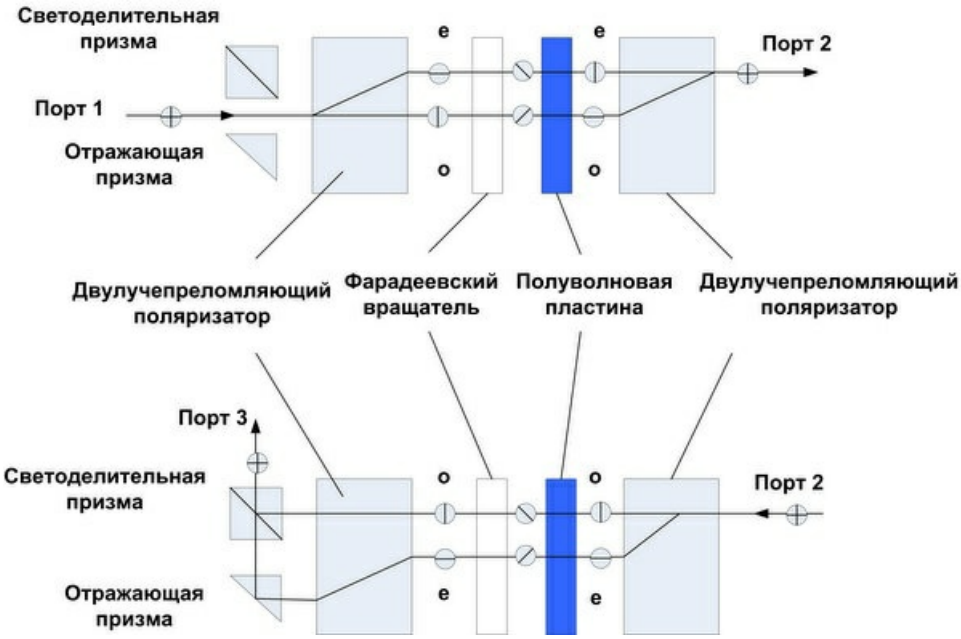
Иное дело в обратную сторону. Так как угол поворота плоскости поляризации во вращателе Фарадея не зависит от направления излучения, то при обратном "ходе" пойдет дополнительный поворот на 45 градусов, итого - на 90 градусов к исходной плоскости (в горизонталь). И сигнал будет практически полностью "погашен" на вертикальном поляризаторе.

"Классический" оптический циркулятор

Но вывести излучение в отдельный порт несколько сложнее. Поэтому для изготовления циркулятора дополнительно понадобится специальный поляризатор с пространственным смещением света (SWP –

spacial walk-off polarizer) и полуволновая пластина (half-wave plate). Пространственное смещение в данном случае необходимо для того, чтобы излучение с разной поляризацией отклонялось в кристалле-поляризаторе под разным углом, и соответственно, им можно было "управлять". Роль полуволновой пластины куда более утилитарна, она работает, образно говоря, как усилитель, "доворачивая" плоскость поляризации в удобное состояние.

Удобно рассмотреть принцип действия на следующей иллюстрации:



В качестве поляризаторов используются двулучепреломляющие элементы из кристалла рутила. При прохождении через этот элемент входной пучок разделяется на два луча с ортогональной поляризацией - обыкновенный (о-луч) и необыкновенный (е-луч), при этом е-луч отклонятся от первоначального направления и на выходе элемента оказывается смещенным относительно о-луча.

На рисунке видно, что поляризатор делит пучок света на два луча – с горизонтальной и вертикальной поляризациями (SOP – state of polarization, состояние поляризации). Далее легко проследить на иллюстрации за "судьбой" излучение на каждом этапе пути "туда и обратно". Осной момент - Фарадеевский вращатель поворачивает плоскость поляризации на угол +45 градусов **вне зависимости** от направления распространения света, полуволновая пластина поворачивает плоскость поляризации на угол +45 или -45 градусов **в зависомости** от направления распространения света.

В общем, все практически как в рассмотренном выше примере с оптическим изолятором.

Схема оптического циркулятора с щелевой призмой

В настоящее время известно еще несколько схем построения ОЦ, например - модификация со специальной щелевой призмой:

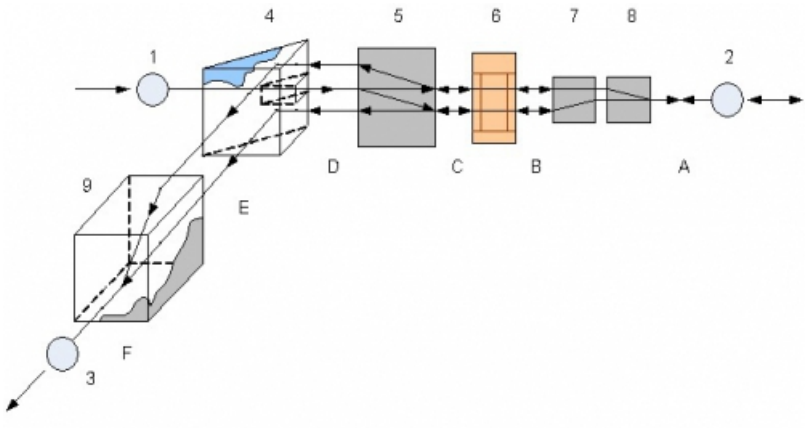


Рис 6. Структурная схема оптического циркулятора

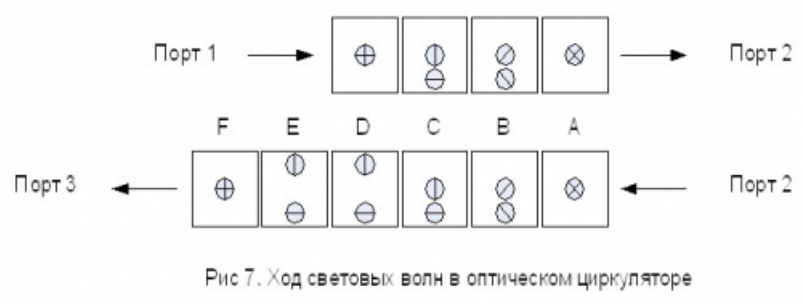


Рис 7. Ход световых волн в оптическом циркуляторе

1, 2, 3 - волоконные коллиматоры (по сути - фокусирующие линзы); 4 - специальная призма со щелью; 5, 7, 8, 9 - двулучепреломляющие элементы из кристалла рутила; 6 - 45-градусный фарадеевский вращатель из кристалла иттрий-железного граната.

Прямой канал 1-2 фактически является одноступенчатым изолятором, работающим в прямом направлении. Поступающее в ОЦ через порт 1 оптическое излучение с произвольной поляризацией коллимируется линзой 1 и попадает на первый двулучепреломляющий элемент 5. При прохождении через этот элемент входной пучок разделяется на два луча с ортогональной поляризацией - обыкновенный (о-луч) и необыкновенный (е-луч), при этом е-луч отклонятся от первоначального направления и на выходе элемента оказывается смещенным относительно о-луча (позиция "С" на рис. 7).

Далее эти лучи проходят через фарадеевский вращатель поляризации 6, выполненный на основе кристалла иттрий-железного граната. Здесь плоскости поляризации обоих лучей поворачиваются на 45° (позиция "В" на рис.7). Затем лучи проходят через второй 7 и третий 8 двулучепреломляющие элементы, где также происходит отклонение лучей.

Поскольку длина и ориентация второго и третьего рутиловых элементов относительно первого выбраны соответствующим образом, два ортогональных поляризованных луча объединяются в один луч (позиция "А" рис.7), который выходит из ОЦ через порт 2. Таким образом, оптический сигнал с произвольной поляризацией передается из порта 1 в порт 2 с малыми потерями. И поскольку входной сигнал поступает из порта 1 через щель в призме, то порт 3 оказывается полностью "развязанным" от порта 1.

При работе в обратном направлении, когда входной сигнал поступает в порт 2, он проходит те же функциональные элементы, но в обратном направлении. Однако в результате невзаимного поворота плоскости поляризации в фарадеевском вращателе 6 два луча, распространяющиеся в обратном направлении, будутполяризованы ортогонально по сравнению с прямым направлением (позиция "С" рис.7). Поэтому после прохождения через первый рутиловый элемент 5 эти лучи не сходятся в один, а расходятся на удвоенное расстояние (позиция "D" рис.7) и не попадают в порт 1 через щель в призме. Следовательно, в этом случае имеет место изоляция порта 1 от порта 2, как в обычном оптическом изоляторе. Пучки, симметрично смещенные относительно щели, отклоняются призмой под углом 90° и направляются в отраженный канал (порт 3), где установлен двулучепреломляющий рутиловый элемент 9. Длина и ориентация этого элемента выбраны таким образом, чтобы поступающие лучи объединились в один луч, выходящий через порт 3. Таким образом, оптический сигнал передается из порта 2 в порт 3 при изоляции порта 1.

Характеристики оптических циркуляторов

Из принципа работы ОЦ следует, что вносимые в прямой канал потери, заданные выражением A12 = -10 lg P2/P1 (где P1 - мощность на входе 1, P2 - мощность на выходе 2), определяются суммарным значением потерь коллимирующей системы (включая аберрационные потери линз), потерь в оптических элементах(поглощение, рассеяние и френелевское отражение), отклонением угла фарадеевского вращения от 45° и потерь, связанных с неточностью установки элементов. В зависимости от качества элементов и точности юстировки величина вносимых потерь в прямом канале может составлять A12 ~ 0,8...1,6 дБ. Потери в отраженном канале A23 = -10 lg P3/P2 практически лежат в том же интервале, поскольку поворотная призма 4 и дополнительный рутиловый элемент 9 обладают малыми потерями.

Величина изоляции порта 1 от порта 2, т. е. потери A21 = -10 lg P1/P2 так же как и в случае оптического изолятора, определяются степенью разведения поляризованных лучей в двулучепреломляющих элементах, угловой ошибкой при взаимной ориентации этих элементов, отражением и рассеянием излучения в фарадеевском вращателе, а также ошибками при юстировке элементов. Экспериментально установлено, что рассеяние на различных дефектах в кристаллах рутила и граната ограничивает максимальную величину изоляции на уровне 40...45 дБ.

Как уже отмечалось, в рассматриваемой структуре отсутствует непосредственная связь между портами 1 и 3. Поэтому величина перекрестной помехи на ближнем конце A13 = -10 lg P3/P1

определяется только френелевскими отражениями от торцов первого рутилового элемента и фарадеевского вращателя и может быть снижена до уровня менее - 50 дБ.

Обратные отражения A11, A22, A33 также определяются величиной коэффициента отражения от горцев волокон и от граней элементов. Наклон торцов волокон примерно на 7 градусов и граней элементов примерно на 1 градус приводит к снижению обратных отражений до уровня 55...-60 дБ.

На основе предложенных структур изготавливаются и предлагаются потребителям одномодовые поляризационно-независимые ОЦ длядиапазонов длин волн 1,3 и 1,55 мкм.

Возможные варианты применения оптических циркуляторов в оборудовании волоконно-оптических линий связи

Первоначально ОЦ разрабатывался для применения в качестве одного из элементов оптического усилителя, позволяющего улучшить характеристики усилителя путем замены простых оптических ответвителей на ОЦ. Кроме того, использование ОЦ позволяет реализовать схему оптического усилителя, работающую в режиме "на отражение".

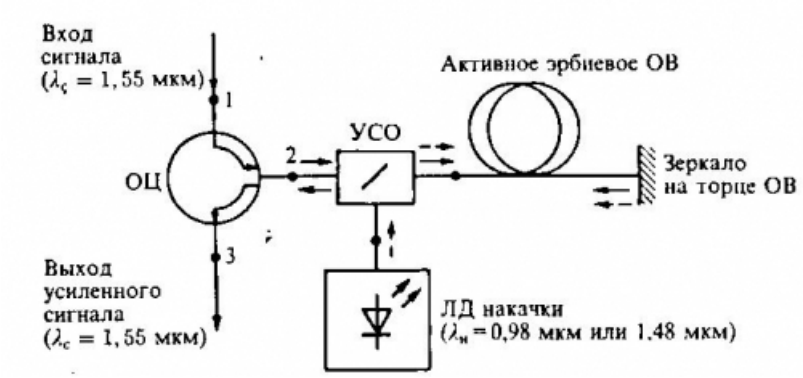
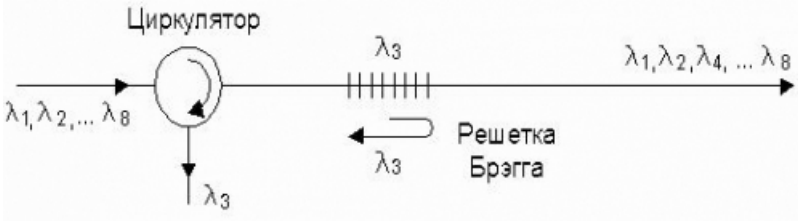


Схема волоконно-оптического усилителя отражательного типа, в котором используется оптический циркулятор. В этом случае эффективность действия накачки в активном эрбиевом волокне увеличивается в два раза.

Так же они применялись для построения мультиплексоров CWDM-DWDM по следующей схеме:



В настроящее время такое использование ОЦ устарело, системы волнового уплотнения строятся по технологии тонких пленок, что позволило резко (примерно на порядок) уменьшить их стоимость.

Так как потери в оптических циркуляторах весьма малы, их можно применять в измерительных системах, в частности, в рефлектометрах. Так, замена традиционного трехдецибельного направленного ответвителя (оптического делителя) на ОЦ позволяет увеличить динамический диапазон примерно на 6 дБ (не смотря на кажущиеся три выхода Y-разветвителя, работает он как четырехполюсник), т. е. увеличить дальность действия прибора на 10-15 км в диапазоне 1550 нм.

Однако наиболее широкое применение ОЦ сейчас находят в качестве элементов волоконно-оптического тракта. В частности, будучи включенными в волоконно-оптический тракт, они обеспечивают одновременную двунаправленную передачу по одному оптическому волокну.



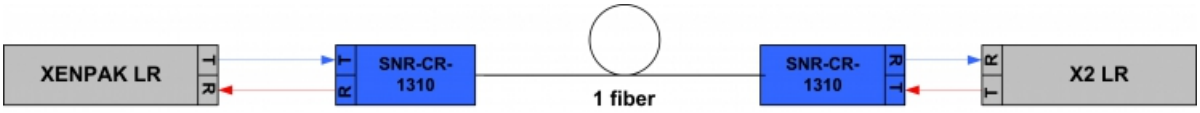
Необходимо отметить, что физические принципы работы ОЦ никак не ограничивают скорость передачи информации в создаваемом канале. Такое техническое решение дает возможность отказаться в обоснованных случаях от прокладки дополнительных оптических кабелей при расширении сети или сохранить работоспособную сеть в условиях выхода из строя нескольких

оптических волокон.

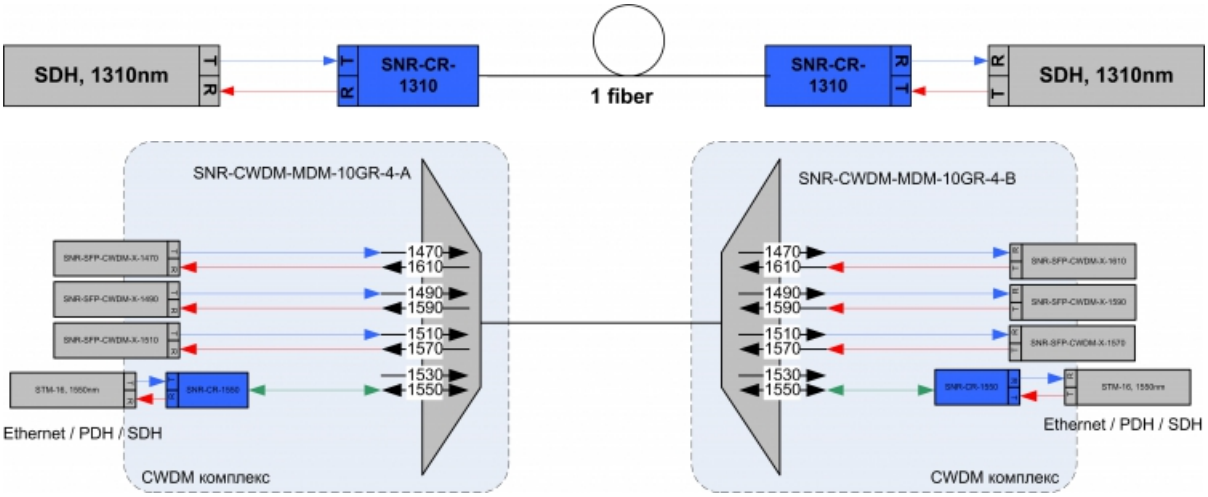
Таким образом, оптические циркуляторы позволяют достаточно просто решить целый ряд возникающих у операторов связи практических задач.

1. Организовать эффективное уплотнение волоконно-оптического кабеля при ограниченном числе свободных волокон. Данная задача особенно актуальна в двух случаях:

- уплотнение 10Г оптических каналов связи. С середины 2010 года острота этой проблемы снята из-за появления недорогих WDM 10Г оптических трансиверов. Теперь для вариантов XFP, X2, SFP+ проблем нет, но... Для XENPAK бюджетное решение до сих пор отсутствует, и врят ли появится. Так как популярность XENPAK стремительно снижается, многие производители считают нерентабельным разработку литьевой формы корпуса под этот формат. Хотя количество инсталлированных Cisco c65xx, 76xx с модулями типа x6704 весьма велико, проблема легко решается использованием ОЦ.



- уплотнение SDH/PDH оптических каналов связи с интерфейсами STM и OC. Такое оборудование служит десятилетиями, и зачастую не имеет ничего общего со сменными трансиверами любого форм-фактора. Перевести их на одноволоконные линии весьма соблазнительно, однако сделать это можно либо физической заменой трансивера (с использованием паяльника и негарантированным из-за древности результатом), или 300-от баксовым оптическим циркулятором.

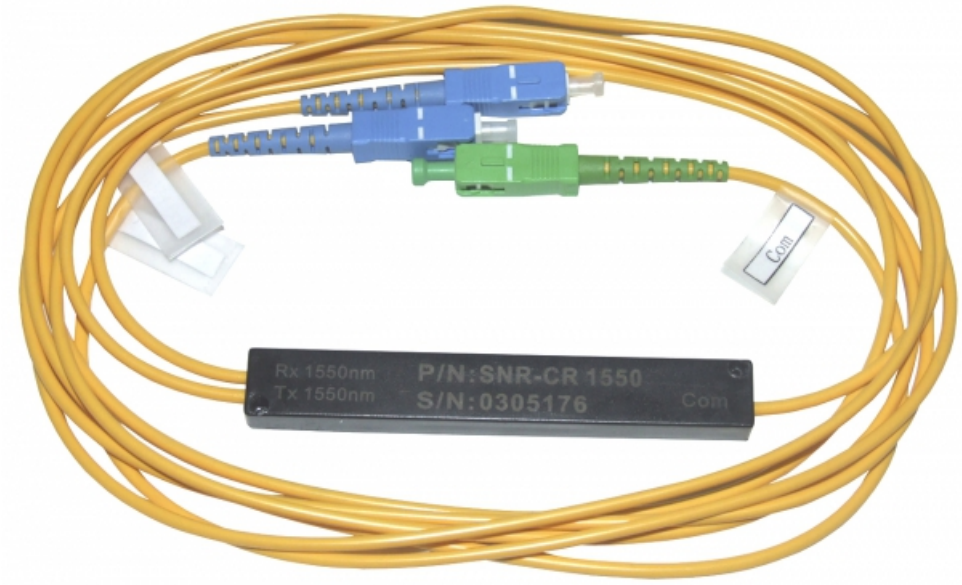


2. При производстве оптического оборудования: эрбиевые оптические усилители EDFA, оптические рефлектометры OTDR.

3. Создавать обратный управляющий канал в интерактивных системах кабельного телевидения в условиях (DOCSIS), когда до абонента прокладывается лишь одно волокно.

Реальный оптический циркулятор

Все видно на фотографии. Небольшая пластиковая коробочка с герметически закрытой трубкой внутри. Не требует электропитания и обслуживания, собственно, как и любая порядочная микрооптика...



[Оптический циркулятор]

Продолжение (рассказ о реальном производстве ОЦ) следует...

Обновления в разделах

- В раздел Внутренности оборудования добавлены фотографии коммутатора Huawei Quidway S3026C-DC .
- В раздел Коллекция сертификатов и деклараций добавлены сертификаты маршрутизатора Cisco ESR 10008 (CCC), коммутаторов Cisco Catalyst 6500 (CCC), маршрутизаторов Cisco Catalyst 4503, 4506, 4507R (CCC).
- В каталоге "Провайдеры России", в предверии запуска нового сервиса, началась большая зачистка от "мертвых провайдеров". Из каталога убираются компании, тарифы на сайтах которых давно не обновлялись, дубли функционирующих провайдеров, а также компании, сменившие профиль своей деятельности. Если вдруг по какой-то причине вы не видите своего интернет-провайдера в каталоге, пишите на почту prov@nag.ru.
- Для любителей всяческих новинок, можем предложить для практического тестирования тросоход собственной конструкции. Есть один "предсерийный" образец для полевых испытаний. Вот еще один видеоролик, демонстрирующий поведение нашего тросохода во время сильной болтанки (вплоть до переворота на 360 градусов).
- В магазине Shop.Nag.Ru за неплохую цену сейчас можно приобрести один из межсетевых экранов Juniper SRX, а также оптический делитель SNR-PLC (цены на эти устройства за последнее время изрядно снизились).
  Кроме того, в распродажу пошли Nortel Baystack 420-24T, менее чем $100 за управляемый коммутатор с 24 портами 100 мб + 1 GBIC. Китайские 8-ми портовые аналоги стоят дороже. ;-)
- Обновление в разделе Видеоинструкций: визуальный дефектоскоп, инструмент для монтажа нейлоновых стяжек и натяжные клещи.