

Применение технологии WDM-PON для построения широкополосных сетей доступа

WDM-PON Technology Application for Broadband Access Networks Construction

Ефимов / Efimov V.

Вячеслав Викторович

(vve@loniis.ru)

кандидат технических наук, доцент.

Филиал ФГУП «Ленинградское отделение

центрального научно-исследовательского института

связи» (ЛО ЦНИИС),

и.о. директора.

г. Санкт-Петербург

Ясинский / Yasinsky S.

Сергей Александрович

(yasinsky777@mail.ru)

доктор технических наук, доцент.

Филиал ФГУП ЛО ЦНИИС,

научный консультант.

г. Санкт-Петербург

Вандич / Vandich A.

Алексей Павлович

(alex_van_555@mail.ru)

кандидат технических наук.

Филиал ФГУП ЛО ЦНИИС,

начальник лаборатории.

г. Санкт-Петербург

Никольский / Nikulskiy I.

Игорь Евгеньевич

(i.nikulsky@npo-leninetz.ru)

доктор технических наук, доцент.

ОАО «Центральное научно-производственное

объединение «Ленинец»,

заместитель ГК.

г. Санкт-Петербург

Степуленок / Stepulenok O.

Олег Александрович

(ostepulenok@mail.ru)

ОАО «Центральное научно-производственное

объединение «Ленинец»,

ведущий инженер.

г. Санкт-Петербург

Кротов / Krotov A.

Александр Викторович

(alexan.krotov@gmail.com)

ОАО «Центральное научно-производственное

объединение «Ленинец»,

инженер второй категории.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть с волновым разделением – passive optical network with wave division; разделение направлений передачи – transmission directions separation; затухание изоляции – insulation attenuation; эффективность использования оптоволокна – optical fiber using efficiency.

Предложена новая технология построения оптической сети доступа, использующая принцип волнового разделения. Данная технология позволяет повысить эффективность использования оптоволокна за счет применения разделения направлений передачи по направлениям распространения светового потока и реализуется на волоконно-оптических элементах, доступных на отечественном рынке.

The new technology of constructing an optical access network, which uses the principle of separation of the wave, is proposed. This technology allows more efficient use of optical fiber via separation of transmission directions on the propagation directions of light stream and realized on the fiber-optic elements available in the domestic market.

Введение

Технологии пассивных оптических сетей *PON* (*Passive Optical Network*) [1] находят применение в различных современных информационно-телекоммуникационных системах от мощных локальных сетей до сетей доступа.

В данной публикации попытаемся раскрыть чисто прикладной аспект построения новой технологии *WDM-PON*, реализуемой на основе компонентов волоконной оптики, доступных на отечественном рынке [2].

Задачи и цель разработки

В крупных городах России при развертывании *NGN-IMS* инфраструктуры в фиксированном сегменте информационно-телекоммуникационных сетей широко внедряются решения класса *FTTH*, базирующиеся на технологии *GPON*, относящейся к классу гигабитных технологий *PON* с временным разделением – *TDM PON* [1].

Вместе с этим в [3] были отмечены преимущества технологий с волновым разделением *WDM-PON*. При использовании этих технологий в сети, объединяющей N пользователей, каждому i -му пользователю выделяется свой независимый дуплексный канал [2], на своей длине волны λ_i , обеспечивающий симметрию пропускных способностей восходящего и нисходящего направлений, при условии, что в сети используется N длин волн. Суммарная пропускная способность в сегментах таких сетей приблизительно в N раз больше, чем при использовании *TDM PON*.

Согласно приведенной в [3] классификации, выделяются технологии *WDM-PON* с цветowymi и бесцветными *ONT*, причем применение последних признано предпочтительным, поскольку они обеспечивают унификацию оборудования *ONT*.

Однако, как отмечалось в [3], реализация технологий *WDM-PON*, приемлемых по достижимой пропускной

способности для внедрения в современных сетях доступа, сопряжена с применением специальных новых компонентов волоконной оптики, таких как отражательные полупроводниковые усилители-ремодуляторы, полупроводниковые лазеры с гребенчатым спектром излучения, перестраиваемые лазеры, лазеры с внешней синхронизацией и ряд других. Серийное производство этих компонентов пока еще не в полной мере освоено, и их доступность на отечественном рынке ограничена. Разработка и подготовка серийного выпуска профильными предприятиями подобных отечественных компонентов, как выяснилось, требуют непомерно высоких затрат.

Авторами данной статьи были проведены поиск и реализация отечественного варианта [2] *WDM-PON*, недорогого и пригодного к осуществлению в условиях жестких инвестиционных ограничений, ориентированного на применение компонентов волоконной оптики, доступных на отечественном рынке.

Результаты разработки

Для достижения поставленной цели авторами была выбрана древовидная структура сегмента *PON*, показанная на рис. 1.

В ее состав входят:

- центральное устройство коммутации и маршрутизации пакетов (ЦУКМП);
- приемо-передающие дуплексные оптические сменные модули (*SFP – Small Form factor Plug-in* – малогабаритные сменные), настроенные на используемые длины волн $\lambda_1 \dots \lambda_n$ (устанавливаются в специальные гнезда ЦУКМП);
- сетевое окончание центрального узла *OLT*, оснащенное *WDM*-мультиплексором и устройствами разделения (пассивные оптоволоконные устройства);
- одноволоконная магистральная оптическая линия до 30 км;

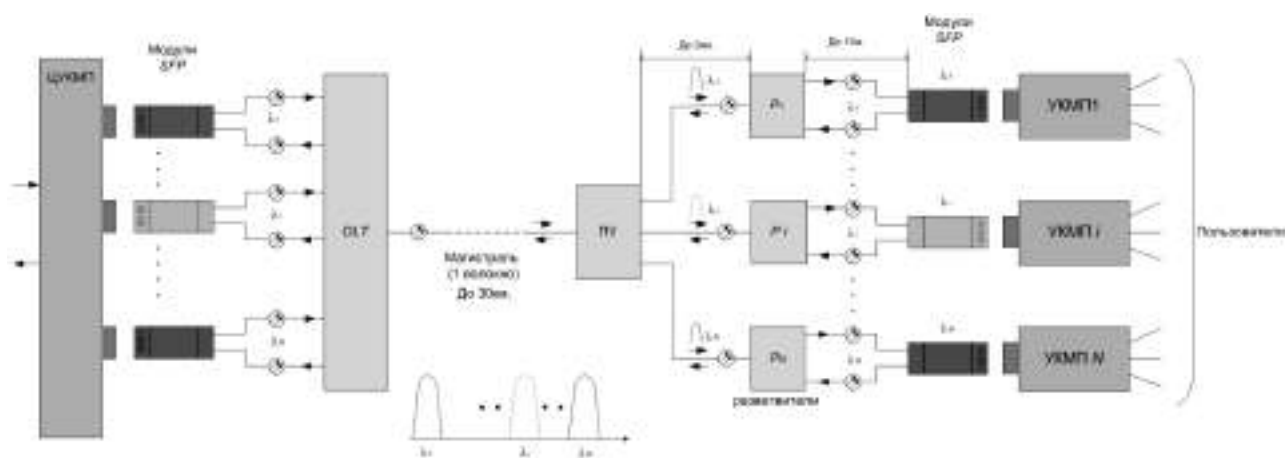


Рис. 1. Структура сегмента *WDM-PON*

- пассивный узел ПУ, представляющий собой WDM-мультиплексор;
- абонентские оптические линии $\lambda_1 \dots \lambda_N$ длиной до 3 км;
- разветвители $1 \times 2 P_1 \dots P_N$;
- SFP-модули, настроенные на соответствующие длины волн $\lambda_1 \dots \lambda_N$;
- устройства коммутации и маршрутизации пакетов (оконечные УКМП₁...УКМП_N).

В качестве ЦУКМП может быть применен любой коммутатор или маршрутизатор, имеющий возможность установки SFP-модулей в каждом из портов. В качестве SFP-модулей могут быть использованы любые из имеющихся на отечественном рынке модулей. Например, из недорогих линеек CWDM (*Coarse Wave Division Multiplexing* – грубого волнового разделения, до 16 длин волн).

Модули следует выбирать со значительным превышением декларируемой производителем максимальной перекрываемой длины линии по отношению к используемой длине магистральной линии, с тем чтобы обеспечить перекрытие затухания элементов пассивного тракта сети. Так, при расчетной длине магистральной линии в 30 км (при последующем проведении испытаний на лабораторной испытательной линии в 40 км с положительным результатом) авторами были выбраны SPF-модули, рассчитанные на длину линии точка-точка до 80 км, типа TBSF15d-80-12g-LC-3c, на соответствующие используемые длины волн сетки CWDM.

В качестве сетевого окончания центрального узла OLT были использованы имеющиеся на рынке мультиплексоры CWDM-MUX (для четырехпортового лабораторного прототипа использовались CWDM-MUX 1x4 1550-1610 3,0 LC/APC 1,5 м). К каждому из разделенных портов мультиплексора присоединяются устройства разделения направлений распространения. Эти устройства выполняются на основе планарных сплиттеров 1x2,

обеспечивающих значительное ослабление противоположного направления распространения (до 30–40 дБ).

В качестве одноволоконной оптической линии в испытанном лабораторном прототипе была использована линия длиной 40 км (4 барабана волокна *Fujikura* «ОПТЕН-КАБЕЛЬ» по 10 км каждый, соединенные последовательно). Здесь важно отметить, что все соединения линий в сети, особенно магистральной линии, кроме портов SFP-модулей, должны выполняться посредством коннекторов SC/APC (зеленая маркировка), обеспечивающих минимальные отражения. Это является особо критичным для предлагаемой технологии.

В пассивном узле используется мультиплексор, аналогичный применяемому в OLT (без разделительных устройств). В ONT использовались SFP-модули, аналогичные используемым в OLT. Для разделения направлений передачи в ONT были применены сплиттеры, аналогичные используемым в OLT. В качестве оконечного УКМП использовались коммутаторы *Ethernet*, имеющие один порт, оснащенный гнездами для установки SFP-модулей. Предполагалось, что предлагаемая технология будет использоваться в решениях класса FTTH, а абонентская проводка внутри здания должна выполняться стандартным сетевым кабелем 5-й категории на основе витых пар. К оконечным портам сегментов сети в процессе лабораторных испытаний подключались наборы IP-ориентированного абонентского оборудования: видеотрансляторы, SIP-телефонные аппараты, персональные компьютеры и другие.

Поскольку отличием предлагаемой сети является применение в ее сегментах принципа разделения направлений передачи по направлениям распространения светового потока, в такой сети неизбежно проявление взаимовлияния (интерференции) направлений передачи, что является дополнительным источником специфических помех и ограничений.

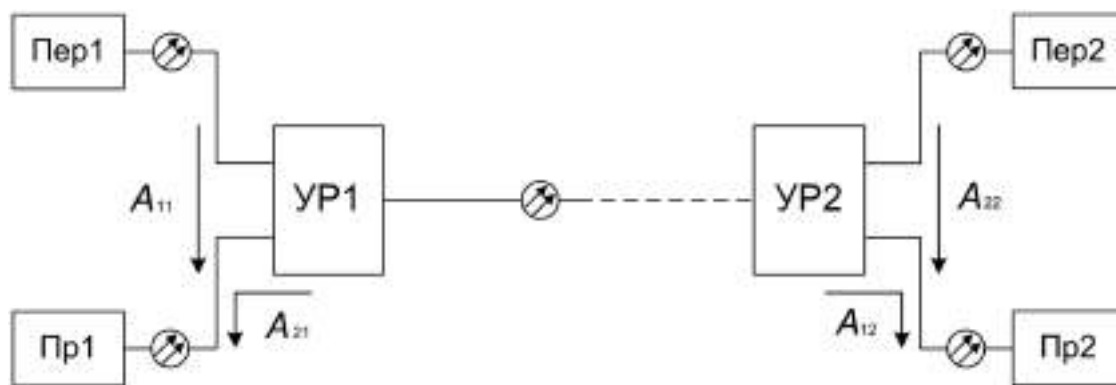


Рис. 2. Структура дуплексного канала

Условия работоспособности предложенной сети

Структура дуплексного канала в сегменте предлагаемой сети приведена на рис. 2. В его состав входят: передатчик стороны 1 – Пер.1, приемник стороны 1 – Пр.1, устройство разделения стороны 1 – УР 1; аналогично для стороны 2: УР 2; Пер. 2, Пр. 2.

На вход приемника стороны 1 поступает полезный сигнал с мощностью $P_{\text{ПЦИ}} = P_2 A_{21}$ и сигнал интерференционной помехи с мощностью $P_{\text{ПОМ}} = P_1 A_{11}$, где P_2 – мощность передатчика на противоположной стороне линии, A_{21} – суммарное затухание линии и устройств УР1, УР2, выраженное в отношениях в направлении Пер.2 – Пр.1, P_1 – мощность передатчика на стороне 1, A_{11} – затухание интерференции, выраженное в отношениях и определяемое характеристиками УР, а также отражениями и обратным рассеянием в оптическом тракте. Это затухание будем называть затуханием изоляции (на каждой стороне).

Выражение для определения интерференционного отношения сигнал/помеха, выраженного в децибелах, на стороне 1 имеет вид:

$$N_{\text{С/ПИ1}} = P_2 + A_{11} - P_1 - A_{21}, \quad (1)$$

где мощности P_1, P_2 выражены в дБм, а затухания A_{11} и A_{21} – в децибелах.

Аналогичное соотношение можно записать и для стороны 2.

Очевидно, что для устойчивой работы дуплексного канала с разделением направлений передачи по направлениям распространения светового потока должны выполняться соотношения:

$$N_{\text{С/ПИ1,2}} > N_{\text{пор}}, \quad (2)$$

$$P_{\text{ПОМ1,2}} < p_{\text{о1,2}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{пор}}$ – пороговое интерференционное отношение сигнал/помеха, приводящее к выходу коэффициента ошибок в канале за пределы установленной нормы, $P_{\text{ПОМ1,2}}$ – мощность сигнала помехи на сторонах 1 и 2 соответственно, $p_{\text{о1,2}}$ – порог чувствительности приёмников на сторонах 1 и 2 соответственно.

Физическая сущность полученных соотношений сводится к тому, что, с одной стороны, интерференционное отношение сигнал/помеха должно быть ниже порогового значения, приводящего к ухудшению качества канала. С другой стороны, уровень интерференционной помехи на каждой из сторон линии должен быть ниже порога чувствительности соответствующего приёмника. Последнее особенно важно при построении дублированных линий с автоматическим переходом на резерв (в дублированных сетях с повышенной надёжностью). При обрыве линии, в случае невыполнения неравенства (3), коммутатор может воспринять

сигнал от своего передатчика как нормальный сигнал, приходящий с противоположной стороны, и не перейти на обслуживание резервной агрегированной линии, что неминуемо приведёт к полному отказу сети при одиночном обрыве линии и является недопустимым.

Таким образом, становится ясно, что основной целью мероприятий, направленных на повышение качества рассматриваемого сетевого канала, является совершенствование всей оптической инфраструктуры, обеспечивающее повышение затуханий изоляции на каждой из сторон линии. При этом данное затухание определяется следующими основными факторами:

- затуханием в разделительных устройствах при минимальном отражении в тракте магистральной линии;
- отражениями во всех элементах тракта;
- обратным рассеянием в линии.

В ЛО ЦНИИС была реализована и испытана лабораторная установка, созданная из набора изделий (оптический пассивный разветвитель-мультиплексор РМ ЦМПР.465129.001, оптический пассивный мультиплексор М ЦМПР.465129.002, оптический пассивный разветвитель Р-4 ЦМПР.465129.003, оптический пассивный мультиплексор ввода/вывода МВВ-1 ЦМПР.465129.004), представляющая собой натурную модель сегмента предлагаемой сети с длиной магистральной линии 40 км. Испытания проводились на симметричной скорости потока 1 Гбит/с в каждом из волновых каналов четырехканальной лабораторной установки. Положительные результаты испытаний доказали работоспособность предлагаемой технологии и разработанных образцов оборудования CWDM-PON.

Заключение

Основные преимущества предложенной в данной статье пассивной оптической сети с волновым разделением сводятся к следующему.

1. Каждым оконечным узлом предлагаемой сети монополизирован весь канальный ресурс пропускной способности выделенного на его длине волны канала, что существенно улучшает показатели качества обслуживания трафика в предлагаемой сети.

2. В предлагаемой сети достигается удвоение емкости (числа присоединяемых узлов) по сравнению с применением традиционных технологий волнового уплотнения, за счет разделения направлений передачи не по длинам волн (как в традиционных системах), а по направлениям распространения светового потока. В случае предлагаемой сети для подключения каждого узла потребуется всего одна длина волны, а не две, как в традиционных WDM-системах.

3. В предлагаемой пассивной сети обеспечивается полная логическая прозрачность в выделенных каналах и не требуется присоединения к пакетам (кадрам) информации каких-либо дополнительных заголовков, как, например, в GPON. Кроме этого, отсутствует зависимость пропускной способности на уровне узла от числа

узлов, включенных в сегмент сети, и от разброса длин абонентских линий.

4. В предлагаемой пассивной сети используется волновое разделение и могут быть использованы серийно выпускаемые отечественные элементы волоконно-оптической связи (ВОС) – оптические приемопередатчики, оптические мультиплексоры-демультиплексоры, оптические циркуляторы и разветвители, а также отечественные коммутаторы пакетов информации, в том числе имеющие сертификаты соответствия, прошедшие специальные проверки и специальные исследования. Это исключает возможность (или сводит вероятность данных событий к минимуму) наличия в составе оборудования предлагаемой сети недекларируемой функциональности, что обеспечивает повышенную информационную безопасность в предлагаемой сети, по отношению к прототипу [1], выполняемому на основе импортных сверхбольших интегральных схем.

К недостаткам предложенного решения можно отнести необходимость применения для подключения одного узла (абонента) двух оптических приемопередатчиков, расположенных на противоположных концах линии, что существенно повышает капитальные затраты и ограничивает применение предложенной технологии для *FTTH*-решений.

Поэтому наиболее эффективным представляется применение предложенной технологии для решений класса *FTTB*, а также в мощных локальных сетях, особенно в тех случаях, когда ощущается нехватка волокон в уже проложенных кабелях, а требуется проводить расширение сети доступа.

Литература

1. Гладышевский, М. А. Сравнение технологий EPON и GPON / М.А. Гладышевский // Lightwave Russian Edition. – 2005. – № 2. – С. 16–22.
2. Патент 2537965 Российская Федерация, МПК H04W 16/06. Широкополосная пассивная оптическая сеть с волновым разделением / И.Е. Никульский, О.А. Степуленок, О.П. Чекстер; патентообладатель: ФГУП ЦНИИС; заявл. 25.04.2013; опубл. 10.01.2015. – Бюл. № 1.
3. Jea-Hoon, Yu. Remodulation schemes with reflective SOA for colorless DWDM PON / Jea-Hoon Yu, Nam Kim, Byoung Whi Kim // Journal of optical networking. – August 2007. – Vol. 6. – No. 8. – 1041 p.