

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМ CWDM



Сетевые операторы проявляют все больше интереса к размещению систем разреженного мультиплексирования с разделением по длине волны – CWDM – в корпоративных и городских сетях. Их интерес объясняется особенностями этих систем, выгодно отличающих их от систем WDM и DWDM: сравнительно низкой стоимостью оборудования, компактным дизайном мультиплексоров, требующих значительно меньше места на стойке, широкой номенклатурой доступных интерфейсов, позволяющих удовлетворять требования практически любых клиентов. Эти вопросы рассмотрены в предлагаемом обзоре.

## ВВЕДЕНИЕ

Системы разреженного WDM, или CWDM, появились в телекоммуникационных сетях в 90-х годах прошлого века как простая и дешевая, но решающая во многом те же задачи альтернатива более дорогим системам WDM и DWDM [1]. Возможность их разработки, а в последующем и широкого развития, была спровоцирована, как известно, разработкой новых типов оптического волокна, получивших общее название **волокна с отсутствием водяного пика** на характеристике затухания – ZWPF. Эти волокна, а к ним относят и волокно со слабовыраженным водяным пиком, например волокно Corning SMF28e, позволили системам CWDM, используя грубую сетку частот, а именно 20 нм [2], формировать не 4 канала, ориентируясь на традиционные для систем WDM полосы C и L (шириной 80 нм), а на всю доступную полосу, перекрываемую окнами прозрачности 2–5 (шириной 340 нм) [3].

При рассмотрении возможности применения той или иной технологии для решения определенных задач обычно учитывают наличие конкурентных технологий для решения тех же задач. Эти конкурентные технологии затем и сравнивают по ряду показателей, ранжированных по степени важности для оператора связи: такими показателями могут быть *стоимость* аналогичного решения, *класс сетей* и *набор реализуемых приложений* (сервисов), *совершенство технологии* (набор стандартов, регламентирующих ее применение), *масштабируемость решения* и, наконец, наличие *технологической ниши*, где данная технология является наиболее конкурентной или даже незаменимой.

Если рассмотреть, например, задачу выбора технологии, обеспечивающей пропускную способность волокна 40 Гбит/с, то при выборе решения нужно рассмотреть по крайней мере три конкурирующие технологии: SDH (с использованием одного мультиплексора STM-256), DWDM (с транспондером на 4 несущих и 4 мультиплексорами SDH уровня STM-64 или с транспондером на 16 несущих с 16 мультиплексорами SDH уровня STM-16) или CWDM (с транспон-

дером на 16 несущих с 16 мультиплексорами SDH уровня STM-16). Ясно, что стоимость аналогичного решения с 16 несущими будет существенно ниже у CDWM, чем у DWDM, и ниже, чем у SDH. Однако в этом примере решение использовать CWDM оказывается типичным с точки зрения масштабируемости, так как оно одновременно использует два предельных для этой технологии параметра (см. ниже): число несущих и скорость сигнального потока одной несущей. Это значит, что при развитии сети в перспективе могут оказаться необходимыми смена технологий и неизбежные при этом дополнительные затраты.

## ОБОРУДОВАНИЕ, АРХИТЕКТУРА И СОВЕРШЕНСТВО ТЕХНОЛОГИИ

Анализ затрат на оборудование двух конкурирующих технологий – DWDM и CWDM – довольно трудно провести корректно, не привязываясь к конкретным изделиям, производимым одной и той же компанией. Общие оценки, публикуемые в разных изданиях, имеют большой разброс и позволяют указать лишь нижнюю (стоимость CWDM в несколько раз ниже) и верхнюю (стоимость CWDM на 30% ниже) грани в затратах на системы CWDM и DWDM, так как зависят от числа используемых несущих и ряда других параметров.

### Оборудование

CWDM использует в транспондерах лазеры с распределенной обратной связью (DFB) с непосредственной модуляцией и скоростью передачи не выше 2,5 Гбит/с. Они обеспечивают узкую спектральную линию излучения сигнала несущей с большим коэффициентом подавления боковых мод, что, в свою очередь, уменьшает эффект уширения при распространении оптического сигнала по волокну и позволяет без дополнительного усиления перекрывать пролеты длиной до 80 км [4].

Низкие затраты здесь достигаются за счет двух факторов: допустимой точности центральной частоты несущей и допустимого дрейфа этой частоты со временем. Так, для DWDM допустимая точность центральной частоты обычно лежит в пределах 0,5 ГГц (при 25°C), то же можно сказать и про дрейф, тогда как для CDWM этот показатель может быть увеличен до 6,5 нм при ширине полосы фильтров демодулятора 13 нм [4].

С другой стороны, лазеры систем DWDM (ввиду малого допуска) должны быть стабилизированы по температуре для компенсации температурного дрейфа примерно 0,1 нм/°C, что вынуждает использовать термостабилизаторы и даже внешние петли температурной обратной связи. Для лазеров в системах CWDM такая стабилизация считается излишней, учитывая допустимый допуск на дрейф 6,5 нм.



Отсутствие охлаждения и стабилизации температуры позволяет получить значительную экономию потребляемой мощности: если в системах DWDM она составляет 5 Вт/канал передачи несущей, то в системах CWDM – только 0,25 Вт, причем эта разница увеличивается пропорционально числу используемых несущих.

Приемники в обеих системах обычно одинаковы. Это PIN- или APD-диоды, обеспечивающие бюджет мощности системы порядка 20–25 дБ. Существенная разница, однако, наблюдается на этапе демультимплексирования. При малом числе каналов в обеих системах могут быть использованы также одинаковые демультимплексоры с фильтрами на многослойных тонких пленках, однако требования к фильтрам существенно различны. Так, при шаге сетки несущих 200 ГГц в DWDM вынуждены использовать фильтры со 125 слоями для обеспечения требуемого затухания в переходной полосе, тогда как в CWDM при разносе несущих по длине волны на 20 нм достаточно 50 слоев (при этом вносимые потери фильтров не превышают 1 дБ) [4]. Если же число длин волн велико, то в системах DWDM используются демультимплексоры на основе дифракционной решетки на массиве волноводов (AWG), которые стоят еще выше в расчете на одну несущую.

### Архитектура и реализуемые сервисы

Традиционные системы CWDM первоначально строились по однопролетной схеме с терминальными мультиплексорами одного производителя в расчете на сетевую топологию "точка-точка" в корпоративных и локальных сетях. Набор интерфейсных карт давал, как правило, возможность использовать технологии ATM, T3/E3 (PDH), Fast Ethernet (FE), FDDI [5]. При этом допускалось использовать многомо-

довое волокно и работать в трех окнах прозрачности 850, 1300, 1550 нм, но мультиплексоры ввода-вывода не использовались.

На смену традиционным пришли *открытые и гибридные системы CWDM*. В открытых системах CWDM сетевые операторы для повышения гибкости систем стали использовать маршрутизаторы, мультиплексоры ввода-вывода и коммутаторы с интерфейсами CWDM. Использование мультиплексоров ввода-вывода позволило расширить круг используемых топологий и освоить кольцевые сети в городских сетях, а также сети доступа транспортных сетей SDH.

*Гибридные системы CWDM* позволяли широко использовать преимущества обоих типов систем и освоить радиально-кольцевые топологии [5]. Главным, однако, было то, что в результате переориентации на одномодовые кабели и диапазон 1550 нм появилась возможность использовать интерфейсные DWDM-карты и осуществлять реконфигурацию несущих каналов CWDM в несущие каналы DWDM со всеми вытекающими отсюда преимуществами в плане возможностей масштабирования [2].

Оказалось, что в результате такого развития систем CWDM появилась возможность использовать их на трех нижних уровнях четырехуровневой иерархии сетей, включающей *магистральные сети* (верхний уровень), *городские сети* (или метро-сети), *сети доступа* и *краевые сети* (или сети последней мили – нижний уровень). При этом местом реализации *открытых систем CWDM* стали сети последней мили, тогда как местом реализации *гибридных систем CWDM*, которые стали обозначаться как системы C/DWDM, стали городские сети и сети доступа.

Набор физических интерфейсов, а значит и набор сервисов/услуг, систем CWDM и C/DWDM при этом расширился и может вклю-

чать кроме указанных выше: IP, Gigabit & 10 Gigabit Ethernet (GE&10GE), OC-1/3/12/24 (SONET) и STM-1/4/16 (SDH), Fiber Channel (FC), ESCON и xDSL.

### Совершенство технологии

Совершенство технологии определяется наличием разработанных и внедренных стандартов, специфицирующих параметры систем и оптические интерфейсы, а также разработанных методик оценки показателей производительности и ошибок.

В области стандартов для систем CWDM первым была принята рекомендация МСЭ [3], описавшая сетку длин волн, используемых в CWDM [2]. Затем в феврале 2004 года была утверждена рекомендация МСЭ [6], определяющая характеристики и параметры систем CWDM: типы оптических интерфейсов CWDM и перекрываемые ими расстояния, допустимые уровни мощности и затухания оптических сигналов. Она предусматривает использование скорости передачи 1,244 Гбит/с, соответствующей уровню SONET OC-24 и не являющейся стандартной для европейской ветви SONET/SDH [5], но позволяющей существенно улучшить коэффициент использования емкости полезной нагрузки при инкапсуляции гигабитного Ethernet (GE) в оболочку синхронной полезной нагрузки (SPE), по сравнению с вариантом использования для этой цели синхронного транспортного модуля SDH STM-16.

Рекомендация [6] определяет оптические интерфейсы однонаправленных и двунаправленных систем CWDM для сетевых приложений, использующих одномодовое волокно и ограниченных как по числу несущих (не больше 16, хотя рекомендация [3] позволяет использовать 18 несущих), так и по скорости сигнальных каналов (не выше 2,5 Гбит/с при кодировании кодом без возвращения к нулю – NRZ).

Сетевые приложения и сервисы должны соответствовать теперь кодам использования, аналогично тому, как это делается для систем SONET/SDH [5] и WDM [1]. Они описывают сеть, условия использования, архитектурные особенности приложений и другое.

Код использования для однонаправленных систем CWDM формируется в виде **CnWx-ytz** с использованием следующих обозначений [6]:

- C** – указатель сетевых приложений;
- n** – максимальное число несущих, поддерживаемое данным кодом использования;
- W** – указатель длины перекрываемого пролета, а именно:
  - S** – указатель короткой секции;
  - L** – указатель длинной секции;
- x** – максимальное число перекрытий, поддерживаемое данным кодом использования;
- y** – указатель самого высокого класса поддерживаемых оптических трибов технологии SONET/SDH [5]:
  - 0** – указывает, что наивысшим является триб NRZ 1,25 Мбит/с;
  - 1** – указывает, что наивысшим является триб NRZ 2,5 Мбит/с;
- f** – указатель конфигурации, поддерживаемой данным кодом использования:
- A** – указывает, что в конфигурации используются только два оптических усилителя (OU): первый как бустерный усилитель мощности на выходе передатчика, второй – как предусилитель;
- B** – указывает, что в конфигурации используются только один бустерный усилитель мощности на выходе передатчика;
- C** – указывает, что в конфигурации используются только один предусилитель;
- D** – указывает, что в конфигурации вообще не используется усилителей;
- z** – указатель типа используемого волокна:
  - 2** – указывает на использование волокна типа G.652;
  - 3** – указывает на использование волокна типа G.653;
  - 5** – указывает на использование волокна типа G.655.

Код использования для двунаправленных систем CWDM с моделью типа "черный ящик" формируется добавлением буквы **B** перед кодом использования, т.е. в виде **B-CnWx-ytz**.

Код использования для систем CWDM с моделью типа "черное звено" (в котором оптический Mux и Demux рассматриваются как пара сетевых элементов одного одноканального звена) формируется добавлением буквы **S** перед кодом использования, т.е. в виде **S-CnWx-ytz** [6].

### МУЛЬТИСЕРВИСНАЯ СИСТЕМА CWDM

В качестве примера мультисервисной системы CWDM можно привести устройство типа CN 2600 компании Ciena [7].

Устройство CN 2600 является мультисервисной системой CWDM, используемой для агрегирования сигнальных потоков, формируемых сетевым оборудованием различных технологий. Система может быть установлена в краевых сетях (на последней миле) и сетях доступа. Устройство представляет собой компактную модульную платформу, спроектированную для операторов, которые рассчитывают предлагать различные сервисы в рамках одной унифицированной оптической инфраструктуры.

Эта платформа агрегирует следующие сервисы:

- сервисы, агрегируемые низкоскоростным мультиплексором с временным разделением каналов типа LSA: сервисы T1/E1, T3/E3 и Eth, FE, GE агрегируются в потоки SONET OC-3/12/48 или потоки SDH STM-1/4/16; полученные потоки могут быть конвертированы в формат CWDM и переданы затем на оптические мультиплексоры ввода-вывода, которые мультиплексируют несколько длин волн в одно волокно (формат CWDM допускает использование 9 и 18 длин волн на одно волокно, см. ниже);
- сервисы, агрегируемые мультиплексором SADM: поддерживает сервисы OC-3/12 или STM-1/4, агрегирует 4OC-3/12 в OC-48 или 4STM-1/4 в STM-16;
- сервисы, агрегируемые мультиплексором ESCON: 12 входных потока ESCON агрегируются в один OC-48/STM-16;
- сервисы, агрегируемые мультиплексором SFDADM: 2 потока GE/FC или 8 потоков FE и 1 поток GE/FC агрегируются в OC-48/STM-16;
- сервисы CWDM (9 несущих в окне 1310 нм с защитой (кольцевая топология) или в двунаправленном варианте; 18 несущих без защиты (кольцевая топология) или в однонаправленном варианте).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Слепов Н.Н. Особенности современной технологии WDM. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №6, с.68–76.
2. Слепов Н.Н. Особенности, проблемы и перспективы разреженных систем WDM. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2004, №7, с.56–59
3. ITU-T G.694.2. Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid (6.02).
4. CWDM Technology and Applications. White Paper WP011, CIENA Corporation, 2004, p.1–9.
5. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. 2-е исправл. изд. – М.: Радио и связь, 2003. – 468 с.
6. ITU-T G.695. Optical Interfaces for Coarse Wavelength Division Multiplexing Applications (2.04).
7. CN 2600 Multiservice Edge Aggregator. [www.ciena.com/products/cn2600/cn2600.htm](http://www.ciena.com/products/cn2600/cn2600.htm)