

СКОРОСТНЫЕ 400G-СИСТЕМЫ

Леонов А.В.,

к.ф.-м.н., заместитель начальника научного-исследовательского отдела ООО "Т8"

Слепцов М.А.,

к.т.н., заместитель генерального директора по управлению проектами ООО "Т8",

Трещиков В.Н.,

к.ф.-м.н., генеральный директор ООО "Т8"

В 100G-системах была достигнута максимальная производительность (произведение дальности передачи на спектральную эффективность) [1]. Однако развитие аппаратуры DWDM-систем активно продолжается в области увеличения спектральной эффективности и канальной скорости [2].

Сегодня все ведущие производители вкладывают значительные средства в разработку DWDM-систем со скоростями передачи 200G, 400G и выше по одной оптической несущей. Создание DWDM-систем связи со скоростью передачи данных 400 Гбит/с по одной несущей столкнулось со значительными техническими трудностями, которые не решены удовлетворительно вплоть до настоящего времени. Все системы 400G, представленные на рынке до сих пор, используют передачу двух поднесущих по 200 Гбит/с в каждой (2x200G).

Увеличение спектральной эффективности (и соответственно скорости по одной несущей, при сохранении используемой полосы спектра) в системах 200G, 400G и выше достигается, главным образом, за счёт перехода к более сложным форматам модуляции – DP-16QAM, DP-64QAM. Это ведёт к сильному падению дальности передачи по сравнению с системами 100G с форматом DP-QPSK. Если типичная дальность работы коммерческих систем 100G без регенерации сигнала может достигать нескольких тыс. км, то системы "200G по одной несущей" рассчитаны на дальности в диапазоне 300-500 км, а дальность систем "400G по одной несущей" будут, вероятно, ещё в несколько раз меньше.

Системы 200G, 400G и выше предназначены, прежде всего, для развития городских и региональных сетей, включая сети связи дата-центров. Повышение спектральной эффективности позволяет передать в несколько раз больше информации без необходимости задействовать дополнительный спектральный ресурс.

Ведущим российским производителем скоростных DWDM-систем является компания "Т8", которая предлагает полный спектр оборудования, включая наиболее современные системы "200G по одной несущей" (со спектральной эффективностью 4 бит/с/Гц). Системы обладают высокой компактностью и низким энергопотреблением, отвечая ключевым потребностям операторов связи дата-центров. IU-система 200G на основе готовых оптических блоков 200G поддерживает до 8 клиентских каналов 100G, рис. 1. Следующая версия системы будет поддерживать до 20 клиентских каналов 100G при тех же размерах, рис. 2. Передача клиентского трафика 100G осуществляется в линейных каналах 200 Гбит/с в формате DP-16QAM.

В 2017 году ожидается принятие очередного стандарта 400G Ethernet, в перспективе – IT Ethernet (Terabit Ethernet). Темпы роста скорости транспортных каналов запаздывают по отношению к темпам роста скорости IP-портов, и при сохранении существующих тенденций ёмкости линейного канала уже скоро будет недостаточно для передачи одного клиентского канала. Поэтому в перспективных DWDM-системах вероятно широкое применение технологии суперканалов. При этом происходит декомпозиция высокоскоростного клиентского канала на несколько потоков и их передача по нескольким менее скоростным оптическим несущим, которые управляются на уровне оптической транспортной сети как единое целое ("суперканал").

Такая архитектура уже реализована в современных системах 2x200G. Сейчас каждая поднесущая 200G используется для передачи клиентского трафика 2x100G; однако эти же две поднесущие 200G в будущем могут использоваться для передачи одного клиентского канала 400GE. В лабораторных системах сегодня уже успешно тестируются суперканалы IT (10 несущих по 100G) и другие варианты.

Все современные транспортные DWDM-системы со скоростью канала 100G и выше построены на технологии OTN. Принцип технологии OTN заключается в том, что сигналы различных форматов упаковываются в стандартные контейнеры ODU (Optical Data Unit, "оптический блок данных"), которые затем передаются по волоконно-оптической сети. Таким образом, обеспечивается возможность передачи по транспортной сети любых необходимых типов клиентских сигналов (IP, STM, ATM, Fibre Channel, InfiniBand и др.), а также эффективное использование пропускной способности за счёт плотной упаковки разнородного трафика. Связка технологий OTN и DWDM сегодня является типовым, наиболее распространённым решением для построения оптоволоконных магистралей, которое активно развивается и будет применяться в будущем в долгосрочной перспективе.

Технология OTN незаменима при построении современных сетей транспортного уровня, где используются оптические усилители сигнала. Оптический эрбиевый усилитель (EDFA) вносит в линию шум спонтанной эмиссии (ASE-шум), который резко увеличивает уровень битовых ошибок (BER) в линии. Технология OTN позволяет обрабатывать такой сигнал благодаря мощным встроенным механизмам коррекции ошибок. Кодирование FEC в сети OTN позволяет восстанавливать даже сильно искажённый и зашумлённый сигнал, снижая частоту ошибок на десять



Рис. 1. Система 200G производства "Т8". Ёмкость 400 Гбит/с при глубине 300 мм (вверху) или 800 Тбит/с при глубине 600 мм (монтаж "спина к спине", внизу)

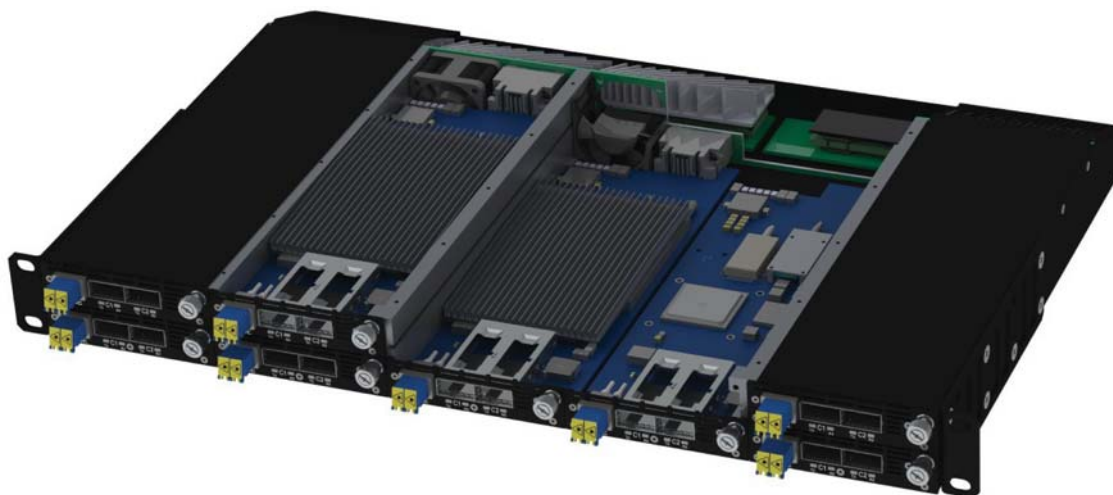


Рис. 2. Система 200G российского производства ("Т8"). Полная ёмкость 2 Тбит/с

порядков: с 10-2 до 10-12.

На первых этапах внедрения технология OTN использовалась для транспорта и мультиплексирования клиентских потоков данных, в настоящее время активно развивается также применение OTN-коммутации. OTN-коммутация в комбинации с технологией ROADM (reconfigurable optical add-drop multiplexer, перестраиваемый оптический мультиплексор ввода-вывода) позволяет эффективно управлять пропускной способностью сетей связи на уровнях от отдельных контейнеров ODU (1,25 Гбит/с) до отдельных оптических несущих (200 Гбит/с, в ближайшей перспективе – 400 Гбит/с).

Таким образом, в настоящее время активно развивается аппаратура DWDM-систем: транспондеры со скоростями 200G, 400G и выше по одной несущей, OTN-коммутаторы, ROADM-мультиплексоры. В ближайшее время возможна очередная "перезагрузка" оптических сетей городского и регионального масштаба, т.е. масштабная модернизация их инфраструктуры и смена транспортной технологии. Объемы трафика постоянно растут из-за стремитель-

ного развития персональных электронных устройств (и встроенных в них видеокamer и экранов высокого разрешения), а также развития сетей широкополосного доступа (PON, LTE) [3]. Операторы связи и производители оборудования своевременно отвечают на этот спрос развитием высокоскоростных магистральных сетей.

Литература

1. Кonyшев В.А., Леонов А.В., Наний О.Е., Трещиков В.Н., Убайдуллаев Р.Р. Рекордная производительность систем 100G как маркер перехода к эволюционному развитию волоконно-оптических систем связи // Первая Милля. 2015. №6. С. 40-43.
2. Леонов А.В., Слепцов М.А., Трещиков В.Н. Развитие скоростных DWDM-систем по нескольким поднесущим // Первая Милля. 2016. №2. С. 42-49.
3. Кonyшев В.А., Леонов А.В., Наний О.Е., Трещиков В.Н., Убайдуллаев Р.Р. Оптическая революция в системах связи и ее социально-экономические последствия // Прикладная фотоника, 2016. Т. 3. № 1. С. 15-27.