Новые оптические SMF-трансиверы компании APAC OPTO для магистральных высокоскоростных GPON-сетей

Александр САМАРИН
Андрей СМИРНОВ
opto@macrogroup.ru

Основанная в июле 1998 года на Тайване, компания APAC Opto Electronics Inc. (www.apacoe.com.tw) является одним из ведущих изготовителей высокопроизводительных волоконно-оптических компонентов передачи данных для локальных сетей (LAN), глобальных сетей (WAN), сетей хранения данных (SAN), городских IP-сетей (GPON).
Компания поставляет по всему миру широкий спектр компонентов оптической связи, включая оптические и медные трансиверы, субмодули и продукты Ethernet, для предприятий, которые выпускают средства связи для интернет-провайдеров и телекоммуникационных компаний. В статье рассмотрены особенности технологий и применения новых линеек оптических трансиверов APAC OPTO, предназначенных для использования в магистральных оптоволоконных каналах связи 25 и 100 Гбит/с.

Постоянно появляющиеся типы сервисов и новые пользовательские приложения создают все большую нагрузку на магистральную транспортную сеть. Это значит, что для транспортировки высокоскоростного трафика требуется технология передачи данных, которая, с одной стороны, обладает достаточной производительностью, а с другой — предоставляет оператору возможности масштабирования сети без изменения инфраструктуры. Этим требованиям удовлетворяет технология спектрального мультиплексирования (WDM — Wavelength Division Multiplexing), на основе которой уже много лет организуются магистральные волоконно-оптические сети связи во всем мире. Магистральная сеть связи — первичная сеть связи, образованная линиями передачи и узлами связи. При этом подразумевается, что такие узлы располагаются в крупных городах областного значения. Магистральная линия передачи должна соединять узлы, находящиеся на больших расстояниях. В качестве интерфейсов активного оборудования для каналов высокоскоростных ВОЛС со скоростями 25/100 Гбит/с используются модули трансиверов в форм-факторах SFP28 и QSFP28 (Quad small form-factor pluggable).

Технология DWDM

Работа мультиплексоров DWDM отличается от работы WDM-мультиплексоров. В технологии DWDM применяется спектральное уплотнение для передачи по одному волокну нескольких независимых оптических модулированных сигналов. Спектральное уплотнение производится в двух окнах прозрачности типовых оптоволокон в диапазонах O (окно 1500 нм, диапазон длин волн 1563,05–1528,77 нм) и C (окно 1300 нм, диапазон используемых длин волн 1290,54–1305,15 нм). В каналах с DWDM с окнами прозрачности 1500 и 1300 нм для увеличения дальности может применяться система оптического усиления. EDFA — оптический повторитель, который позволяет восстанавливать оптическую мощность сигнала, теряемую при прохождении по длинной линии, без преобразований в электрический сигнал и обратно. На рис. 1 показана схема канала передачи данных в режимах со спектральным уплотнением DWDM.

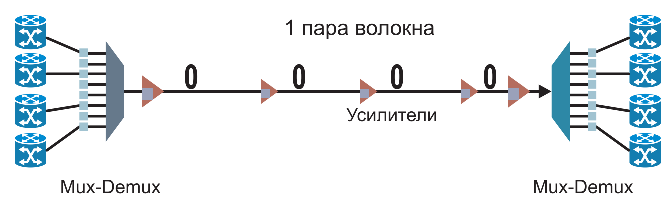

Рис. 1. Схема канала передачи данных в режимах со спектральным уплотнением DWDM

Принцип работы пассивного демультиплексора с зеркалом

Приходящий комплексный оптический сигнал попадает на входной порт. Этот сигнал проходит через волновод-пластину и распределяется по множеству волноводов, представляющих собой дифракционную структуру AWG (arrayed waveguide grating). В каждом из волноводов сигнал остается мультиплексным, а каждый канал — представленным во всех волноводах, то есть происходит распараллеливание. Затем сигналы отражаются от зеркальной поверхности, и в итоге световые потоки вновь собираются в волноводе-пластине, где происходит их фокусировка и интерференция. Это приводит к образованию интерференционной картины с пространственно разнесенными максимумами, причем обычно расчет геометрии пластины и зеркала делают так, чтобы эти максимумы совпадали с выходными полюсами. Мультиплексирование происходит обратным путем.

В последние годы наблюдается резкое увеличение объема связи внутри центров обработки данных и между ними. Для высокоскоростной передачи данных между ними используется Ethernet, стандартизированный с IEEE802.3ba. 100GBASE-LR4/ER4 использует четыре длины волн в диапазоне 1,3 мкм с небольшой дисперсией длины волны (λ0: 1294,53–1296,59 нм, λ1: 1299,02–1301,09 нм, λ2: 1303,54–1305,63 нм и λ3: 1308,09–1310,19 нм). Это необходимо для выполнения мультиплексирования длины волны лазерного излучения и передачи по одному одномодовому оптическому волокну. Поскольку дальность передачи LR4 составляет 10 км, усилитель для приемника не требуется. А вот ER4 имеет дальность передачи 40 км для связи на большие расстояния, SOA включен в оптический приемник для компенсации потерь при передаче.

В каналах используются пассивные оптические устройства DWDM Mux/Demux — мультиплексоры/демультиплексоры со спектральным распределением комплексного оптического сигнала по длине волны. Обычно каналы передачи по технологии DWDM предназначены для передачи объемного трафика на большие расстояния, где упаковано много модулированных сигналов с различными, но близкими по величине длинами волн (C- или O-диапазона). Благодаря наличию многочастотных трансиверов, работающих в оптических диапазонах C и O, возможен двунаправленный режим DWDM на одном оптоволокне. В этом случае передача может проводиться на одной длине волны, а прием — на другой. Причем из-за отсутствия интерференции взаимное влияние сводится к нулю. Передача в режиме DWDM по одному оптоволокну выполняется по магистральным линиям. С двух сторон магистрального канала устанавливаются оптические мультиплексоры и демультиплексоры и блоки распределения и коммутации по цифровым каналам сервисов потребителей трафика. Дуплексные трансиверы предназначены для применения в системах оптических сетей со спектральным уплотнением DWDM.

Технологии модуляции оптических сигналов для высокоскоростных ВОЛС

На данный момент существует три основные технологии модуляции оптического сигнала:

- DML (Directly Modulated Lasers) — модулятор-лазер с прямой модуляцией;
- EAM (Electroabsorption Modulators) — электроабсорбционный (электропоглощающий) модулятор;
- MZM (Mach–Zehnder Modulators) — модулятор Маха — Цандера.

DML — простейший вид модуляции оптического сигнала. Модулирующий сигнал управляет мощностью оптической несущей (лазер модулируется током напрямую). Является бинарной модуляцией и эффективно применяется в сетях связи на скоростях не выше 10 Гбит/с. Основным ограничивающим фактором DML является Чирпинг-эффект. Это паразитное явление, представляющее собой остаточную фазовую модуляцию и вызванное амплитудной модуляцией. Данный эффект расширяет оптический спектр, ограничивая расстояние между DWDM-каналами. Также может взаимодействовать с хроматической дисперсией в волокне, тем самым увеличивая искажения сигнала. EAM — электроабсорбционный модулятор основан на принципе изменения параметров прозрачности некоторых материалов под действием электрического поля, создаваемого источником модулирующего сигнала (эффект Франца — Келдыша). Данный модулятор хорошо работает на скоростях 40–80 Гбит/с.

Области применения магистральных оптических каналов

Магистральные каналы обеспечивают передачу данных на расстояние 10–80 км без использования повторителей. Магистральные линии, которые мы рассматриваем конкретно для использования трансиверов 25G и 100G компании APAC OPTO, в основном предназначены для соединения дата-центров между собой и с городскими сервисами GPON, а также для соединения с базовыми станциями сотовой связи 4G и 5G. На рис. 2 и 3 представлены варианты использования магистральных ВОЛС.

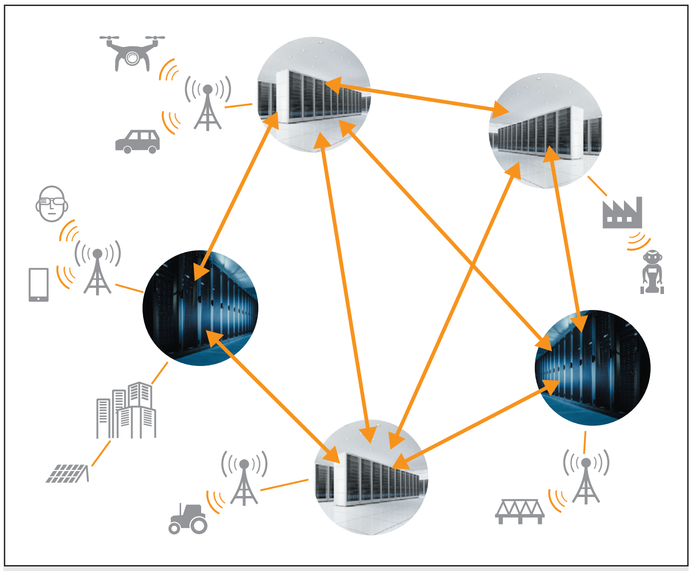

Рис. 2. Магистральные высокоскоростные ВОЛС на 100G Ethernet

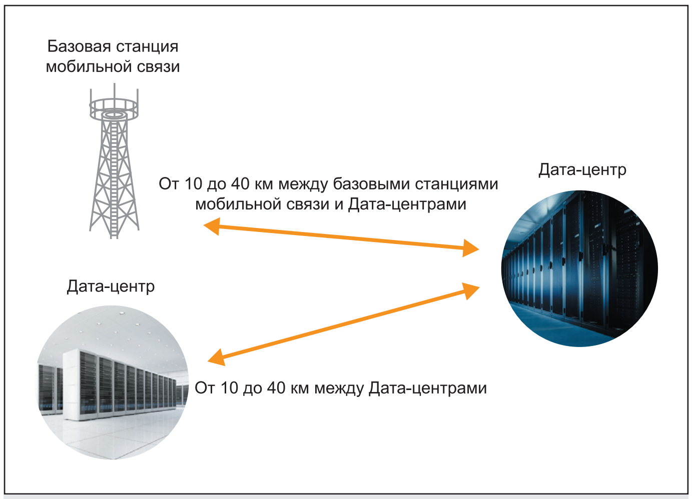

Рис. 3. Использование магистральных ВОЛС для интерфейса со станциями мобильной связи

Оптоэлектронная продукция компании APAC OPTO Electronics

Продуктовая линейка компании включает следующие основные направления:

- модули оптических трансиверов разных конфигураций и форм-факторов для различных применений;
- цифровые видеотрансиверы (оптические трансиверы 12G/6G/3G/HD/SD SD с дальностью передачи видеопотоков до 10 км по одномодовому оптоволокну);
- оптические приемопередатчики для сетей ATM, SDH, Ethernet, Fibre Channel;
- оптические удлинители (optical extender) для увеличения расстояния и качества передачи данных видеосигналов интерфейсов SDI/DVI/HDMI/Video;
- активные оптические кабели;
- трансиверы для медных линий;

- оптические кабели и микросборки приемников, передатчиков для заказных конфигураций;
- заказные фотоприемники и излучатели в корпусах TO-46.

Номенклатура оптических трансиверов компании представлена очень широко модулями различных интерфейсов и форм-факторов — например, 10G Mini SFP; 1G Mini SFP; 1x9 IEEE C37.94; BiDi SFP28; Duplex SFP28; Duplex QSFP28; SFP IEEEE C37.94; SGMII SFP; BiDi 1x9; Duplex 1x9; BiDi 2x5SFF и многими другими.

Темой нашей статьи являются оптические трансиверы форм-фактора SFP28 и QSFP28 с дуплексным каналом передачи данных на скоростях 25 и 100 Гбит/с. Новинки оптических модулей трансиверов этого класса и будут рассмотрены далее.

Дуплексные оптические трансиверы со скоростью передачи данных 25G

Трансиверы данного типа предназначены преимущественно для обеспечения передачи данных по оптическим кабелям для радиоинтерфейсов CPRI[1] станций мобильной связи.

В линейках модулей трансиверов класса 25G/CPRI используется несколько различных современных технологий, предназначенных для создания оптимальных по характеристикам и стоимости оптоволоконных сетей передачи данных. Модели трансиверов этого класса обеспечивают работу на различных рабочих дистанциях, используя оптические диапазоны в соответствии со стандартами, имеют модификации для работы в различных температурных диапазонах. Широкая номенклатура моделей и модификаций обеспечивает пользователям высокую гибкость при выборе оптимальных решений для конкретных реализаций оптоволоконных сетей и каналов передачи данных. Все модули трансиверов выполнены в форм-факторе SFP28. Выходной оптический опторазъем — двойной LC. Питание всех модулей производится от одного 3,3-В источника. Все модули можно монтировать и демонтировать в блоки коммутации в горячем режиме (Hot plug). На рис. 4 показан общий вид модуля SFP28 со стороны подключения двух оптических разъемов LC.

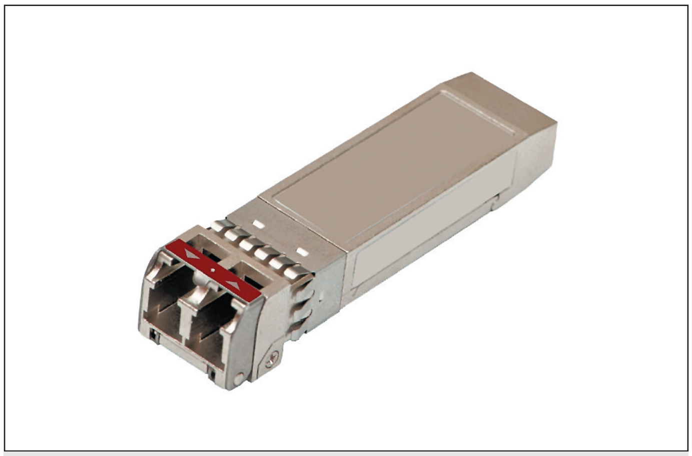

Рис. 4. Общий вид модуля SFP28 со стороны подключения двух оптических разъемов LC

Трансиверы 25G подходят для приложений 25G Ethernet и CPRI (опция 10), например в мобильных сетях 5G. Семейство предлагает модули для температурного диапазона –40…+85 °C и обладает превосходными характеристиками электромагнитной совместимости — ЭМИ. Поддержка рабочей скорости передачи данных 24,33 и 25,78 Гбит/с в режиме CDR. Поддержка рабочей скорости передачи данных 9,95 и 10,31 Гбит/с в обход CDR. Модификации модулей предусматривают передачу на расстояние 10, 20, 30 и 40 км. Основные параметры этого класса трансиверов приведены в таблице 1. Этой таблицей можно руководствоваться для выбора подходящих серий и модификаций трансиверов. Ниже приводится описание ключевых особенностей серий и модификаций.

Таблица 1. Основные параметры оптических трансиверов дуплексной передачи данных на 25G

Тип модуля	Длина волны, нм	Дальность, км	Приложение	TX-мощность, дБм	Чувствительность RX, дБм	Температурный диапазон, °C
LE38-J3S-TC-N	1310	10	25GBASE-LR	+2…–4	<–11,5	0…+70
LE38-J3S-TJ-N						–20…+85
LE38-J3S-TI-N						–40…+85
LE38-J3L-TC-N		40	25GBASE-ER	+6…–1	<–19	0…+70
LE38-J3L-TI-N						–40…+85
LE38-J3U-TC-N		60	25GBASE-ER	+6…+2	<–21	0…+70
LE38-J3U-TI-N						–40…+85
LE38-J3L-TC-N-Ex	1290,54–1305,15	40	25GBASE-DWDM (O-Band)	0…+5	<–20	0…+70
LE38-J3L-TI-N-Ex						–40…+85
LE48-J3M-TI-N-xx	1528,77–1563,05	10	25GBASE-DWDM (C-Band)	–1…+4	<–18	–40…+85
LE48-J3S-TI-N-xx				–1…+4	<–12	
LE38-J3L-TC-N-Hx	1277,89–1309,14	40	25GBASE-LAN-WDM	0…+5	<–20	0…+70
LE38-J3L-TI-N-Hx						–40…+85

Серия модулей оптических трансиверов LE38 для дуплексной связи со скоростью 25 Гбит/с

Серия модулей оптических трансиверов LE38 APAC OPTO содержит несколько типов модулей, поддерживающих различные технологии передачи данных на скорости 25 Гбит/с:

- LE38-J3S-TC/I/S-N — серия обеспечивает дуплексную передачу данных по двум волокнам (приемник и передатчик) на скорости 25 Гбит/с на расстояния до 10 км, используя технологию 25GBASE-LR (индекс модулей J3S), а также 25GBASE-ER — для дистанций 40 км (индекс модулей J3L) и 60 км (параметрический индекс в названии модулей J3U). Частота приемника и передатчика фиксированная — 1300 нм. Выпускаются три модификации модулей серии для работы в трех температурных диапазонах. Трансиверы предназначены строго для обычных каналов WDM без спектрального уплотнения. Трансиверы работают в окне прозрачности оптоволокна 1300 нм.
- LE38-J3L-TC/I-N-Ex — серия трансиверов обеспечивает работу в соответствии со спецификацией 25GBASE-DWDM (O-band) на магистральном одномодовом оптоволокне длиной до 40 км. Оптический O-диапазон представлен двенадцатью модификациями трансиверов, работающих на длинах волн в диапазоне 1290,54–1305,15 нм. Модификации трансиверов серии имеют символьные суффиксы в названии (Ex) от EA до EK (12 частотных модификаций) и каждому символу соответствует своя длина волны. Плюс к этому выпускаются разные исполнения для каждой и частотных модификаций для работы в коммерческом диапазоне температур (0…+70 °C) и в индустриальном расширенном диапазоне (–40…+85 °C). Трансиверы работают в окне прозрачности оптоволокна 1300 нм.
- LE38-J3L-TC/I-N-Hx — серия трансиверов обеспечивает работу в соответствии с 25GBASE-LAN WDM на магистральном одномодовом оптоволокне длиной до 40 км. Оптический диапазон представлен восемью модификациями трансиверов, работающих на длинах волн в диапазоне 1277,89–1309,14 нм. Модификации трансиверов серии имеют символьные суффиксы в названии (Hx) от HA до HH (восемь частотных модификаций) и каждому символу соответствует своя длина волны с восемью частотными модификациями. Плюс к этому выпускаются разные исполнения для каждой из частотных модификаций — для работы в коммерческом диапазоне температур (0…+70 °C) и в индустриальном расширенном диапазоне (–40…+85 °C). Например, LE38-J3L-TC-N-HA (коммерческое исполнение, длина волны 1277,89 нм) или LE38-J3L-TI-N-HH (индустриальное исполнение, длина волны 1309,14 нм). Трансиверы работают в окне прозрачности оптоволокна 1300 нм.

1 CPRI (Common Public Radio Interface, общий открытый радиоинтерфейс) — стандарт, определяющий интерфейс между функциональными блоками базовой станции сотовой связи.

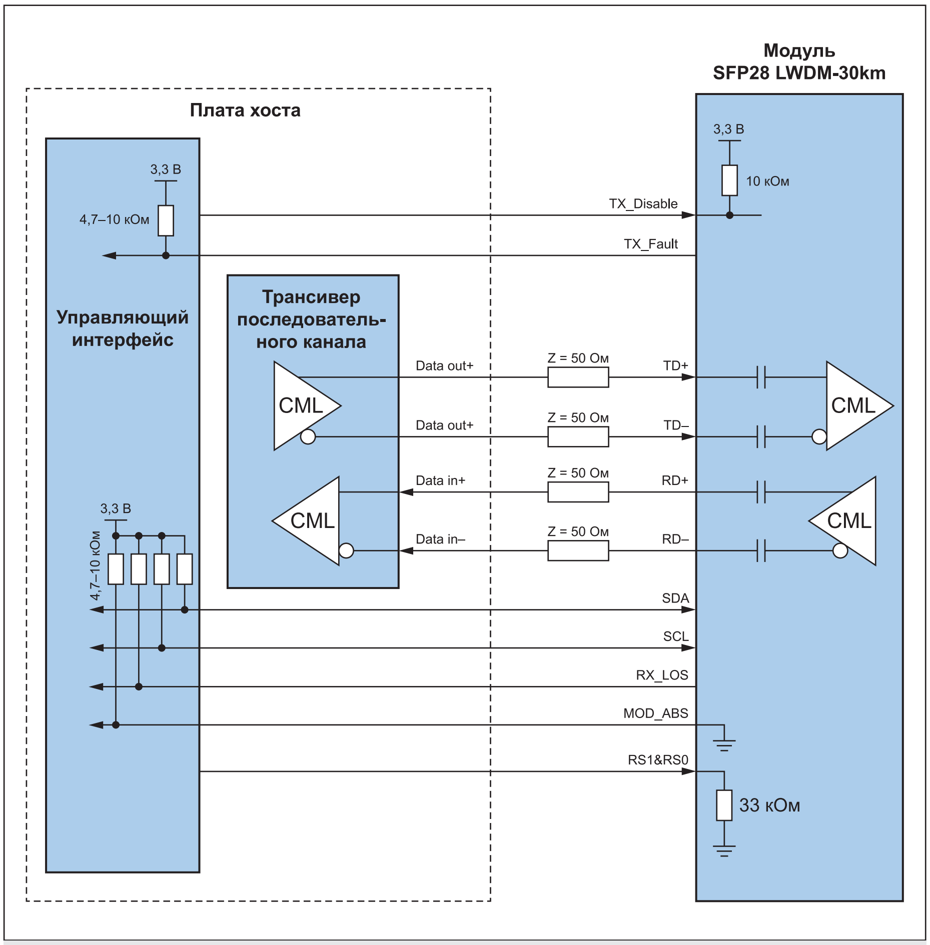

Рис. 5. Структура и схема применения модуля SFP28 при сопряжении с аппаратурой блока коммутации

Серия трансиверов LE48 для дуплексной связи со скоростью 25 Гбит/с

Эта серия трансиверов обеспечивает работу в соответствии с 25GBASE-DWDM (C-band) на магистральном одномодовом оптоволокне длиной до 10 км. Основное отличие этой серии трансиверов от LE38 — работа в оптическом C-диапазоне. Диапазон табличных волн по стандарту представлен 41 модификацией трансиверов, работающих на длинах волн 1563,05–1528,77 нм. Модификации трансиверов серии имеют номерные суффиксы в названии (xx) от 18 до 61 (всего 41 модификация) и каждому номеру соответствует своя длина волны. Например, LE48-J3M-TI-N-18 (индустриальное исполнение, длина волны 1563,05 нм) или LE48-J3M-TI-N-61 (индустриальное исполнение, длина волны 1528,77 нм). Реализация технологии DWDM многочастной передачи в одном волокне обеспечивается использованием внешних оптических мультиплексоров/демультиплексоров, поддерживающих объединение/расщепление комбинированных оптических модулированных потоков от нескольких трансиверов. Трансиверы работают с разными частотами в соответствии с сеткой частот диапазона C-band. Модификации J3M/J3S трансивера различаются только чувствительностью канала приемника.

Форм-фактор модулей SFP28 имеет 20-пиновый интерфейсный печатный разъем. Цоколевка соединителя электрического интерфейса приведена в таблице 2.

Все трансиверы имеют дуплексный оптический разъем LC-типа. Питание модулей производится от одного источника питания напряжением 3,3 В. В трансивере предусмотрена встроенная синхронизация данных CDR. В канале приемника используются фотодиоды APD (лавинно-пробойные). Лазерные излучатели типа EML.

В качестве интерфейсного разъема для оптических модулей трансиверов серий LE38 и LE48 используется 20-контактный печатный коннектор. Сигналы электрического интерфейса модуля формата SFP28 представлены в таблице 2. На рис. 5 показана структура оптического трансивера формата SFP28 и схема его соединений с блоком коммутатора.

Сигналы приемника и передатчика передаются дифференциальными низкоуровневыми сигналами CML-логики с емкостной развязкой. Для обеспечения баланса при передаче используется скремблирование сигналов. Для управления режимами приемника

Таблица 2. Цоколевка соединителя электрического интерфейса

Название	Описание
TGND	Transmit Ground
TX_FAULT	Transmit Fault
TX_DISABLE	Transmit Disable
SDA	SDA Serial Data Signal
SCL	SCL Serial Clock Signal
MOD_ABS	Internal connected to ground
RS0	Rate select 0, not used (2)
RX_LOS	Receiver Loss of Signal, LVTTL High, open collector
RS1	Rate select 1, not used (2)
RGND	Receiver Ground
RGND	Receiver Ground
RX–	Receive Data Bar, ac coupled
RX+	Receive Data, ac coupled
RGND	Receiver Ground
VCCR	Receiver Power Supply
VCCT	Transmitter Power Supply
TGND	Transmitter Ground
TX+	Transmit Data, ac coupled
TX–	Transmit Data Bar, ac coupled
TGND	Transmitter Ground

История разработки стандарта 100G

В 2006 году группа высокоскоростных технологий Ethernet (HSSG, США) обсуждала возможность создания 100-Гбитного Ethernet (100GE) и разработала график, ориентированный на выпуск временного стандарта 100GE в 2009 году. Она предложила следующие цели проекта 100GE:

- поддерживать только полнодуплексную версию Ethernet;
- сохранить формат кадра Ethernet 802.3 на уровне сервисного интерфейса клиента MAC;
- сохранить минимальный и максимальный размеры кадров текущего стандарта 802.3;
- обеспечить поддержку BER на уровне не хуже 10–12 на интерфейсе MAC/PLS;
- обеспечить поддержку сетей OTN;
- поддержать скорость 100 Гбит/с на интерфейсе MAC/PLS;
- обеспечить длину передачи не меньше 10 км на одномодовом (ОМ) ОВ и 100 м на многомодовом (ММ) ОВ.

При проработке нового стандарта за основу был взят стандарт 10GE. Новый стандарт имел сначала название HSE (Ethernet более высокой скорости), а не 100GE. Временный стандарт (P802.3ba) 2009 года предлагалось использовать для приложений разных классов: многопроцессорных суперкомпьютерных систем (МП-СКС), традиционных транспортных сетей SONET/SDH/WDM и собственно транспортных сетей Ethernet. Сначала предполагалось реализовать Ethernet на скорости 100 Гбит/с (100GE), а затем на скорости 40 Гбит/с (40GE). 40-Гбитный Ethernet (40GbE) и 100-Гбитный Ethernet (100GbE) — стандарты Ethernet, разработанные рабочей группой “IEEE P802.3ba Ethernet Task Force” в период с ноября 2007 по июнь 2010 года. Эти стандарты являются следующим этапом развития группы стандартов Ethernet, имевших до 2010 года наибольшую скорость в 10 Гбит/с.

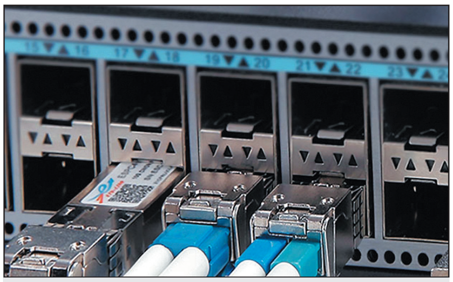

Рис. 6. Передняя панель мультиплексора с подключенными модулями оптических трансиверов (подключены кабели оптоволокна)

и передатчика в интерфейсе присутствуют сигналы I^2C, а также сигналы мониторинга и сигналы обслуживания горячего подключения модуля (Hot Plug). Горячее подключение в настоящее время реализовано абсолютно во всех модулях типа SFP28 и QSFP28 всех производителей.

На рис. 6 показана передняя панель мультиплексора с подключенными модулями оптических трансиверов (подключены кабели оптоволокна).

100-Гбитные оптические трансиверы APAC OPTO

Трансиверы серии LS3C-L3 предназначены для использования в магистральных оптоволоконных линиях передачи Ethernet-трафика со скоростью 100 Гбит/с (табл. 3). Полоса 100 Гбит/с входного электрического интерфейса 100G Ethernet распределяется по четырем оптическим сигналам в одномодовом кабеле. Максимальная скорость передачи данных для каждой из четырех длин волн модулированного оптического сигнала составляет 25,78125 Гбит/с. В качестве среды для передачи сигнала используется одномодовый оптический кабель с окном пропускания 1300 нм. В трансивере предусмотрены рабочие частоты оптических сигналов с длинами волн (центральная частота): 1295,56; 1300,05; 1304,58 и 1309,19 нм.

Таблица 3. Основные параметры модулей оптических трансиверов 100 Гбит/с

Тип модуля	Длина волны, нм	Тип оптоволокна	Дальность, км	Стандарт Ethernet	Температурный диапазон, °C	Опторазъем
LS3C-L3V-TC-N	1295,56 1300,05 1304,58 1309,19	SMF	60	100GBase ER4	0…+70	двойной LC
LS3C-L3U-TC-N			80	100GBase ZR4		

Сектора применения модулей оптических трансиверов 100G Ethernet:

- магистральные линии 100G Ethernet;
- соединения между дата-центрами;
- интерфейс CPRI базовых станций сотовой связи.

Модуль QSFP28 100GBASE-ER4 трансивера LS3C-L3V-TC-N предназначен для передачи сигналов стандарта ER4 на 1310 нм LAN WDM на дистанции до 60 км, а модуль LS3C-L3U-TC-N обеспечивает передачу сигналов на расстояние до 80 км без повторителей.

В линейках трансиверов 100G для передачи данных используются два оптоволокна (один для канала приемника, другой для канала передатчика). А для соединения с магистральными оптоволокнами применяются два LC-коннектора. В трансиверах 100G используется четыре модулированных частотных канала по 25G каждый. Функции цифровой диагностики доступны через I^2C QSFP28 MSA.

Основные параметры модулей серии трансиверов LS3C-L3:

- форм-фактор (с поддержкой горячей замены модулей): QSFP28;
- мощность потребления: <5,5 Вт;
- питание: 3,3 В;
- рабочий температурный диапазон: 0…+70 °C;
- дуплексный оптический коннектор типа: LC;
- управляющий интерфейс: I^2C.

На рис. 7 показан общий вид модуля оптического трансивера в форм-факторе QSFP28 100GBASE-ZR4.

В электрическом интерфейсе, соединяющем модуль трансивера с оборудованием блока коммутации и распределения сигналов, для высокочастотных сигналов 25 Гбит/с четырех приемников и четырех передатчиков используются низкоуровневые дифференциальные сигналы CML-логики. Другие сигналы управления режимами и сигналы мониторинга имеют низкоуровневую КПОП-логику, соответствующую питанию 3,3 В. На рис. 8 показана топология интерфейсных сигналов на печатном разъеме согласно спецификации QSFP28.

Сигналы электрического интерфейса в оптических модулях трансиверов типа QSFP28

В таблице 4 показана спецификация и назначение сигналов электрического интерфейса модуля трансивера 100G. На рис. 9 представлен печатный двухсторонний разъем модуля QSFP28. На рис. 10 изображена схема подключения питания трансивера. На рис. 11 дана схема подключения интерфейсных сигналов модуля QSFP28.

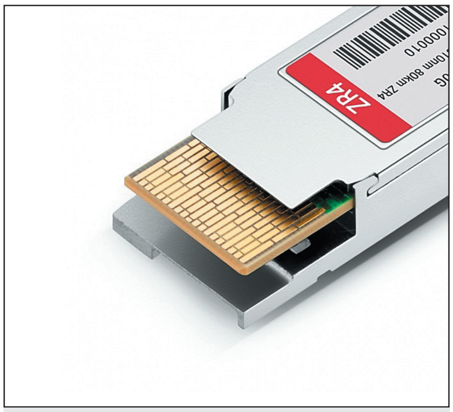

Рис. 9. Печатный разъем модуля QSFP28

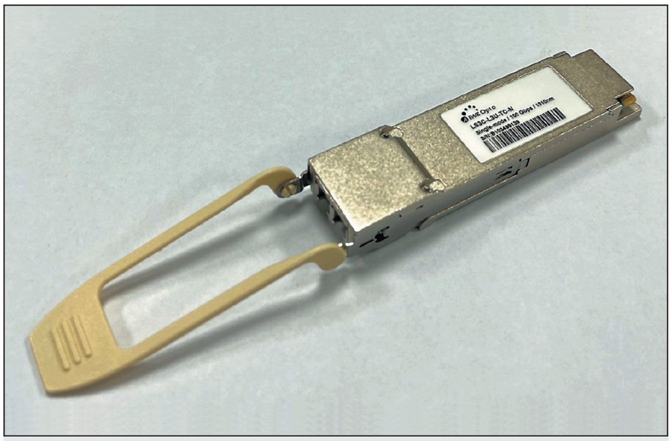

Рис. 7. Общий вид модуля оптического трансивера в форм-факторе QSFP28 100GBASE-ZR4

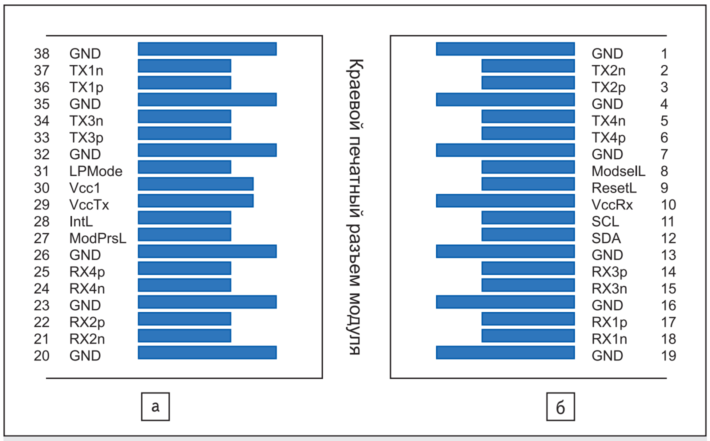

Рис. 8. Распределение сигналов электрического интерфейса на печатном разъеме: а) верхняя сторона, вид сверху; б) нижняя сторона, вид снизу

Таблица 4. Модули QSFP28 используют электрический интерфейс CAUI-4

Вывод	Логика	Символ	Описание	Последовательное подключение в Hot Plug
1		GND	Ground	1
2	CML-I	Tx2n	Transmitter Inverted Data Input	3
3	CML-I	Tx2p	Transmitter Non-Inverted Data Input	3
4		GND	Ground	1
5	CML-I	Tx4n	Transmitter Inverted Data Input	3
6	CML-I	Tx4p	Transmitter Non-Inverted Data Input	3
7		GND	Ground	1
8	LVTTL-I	ModSelL	Module Select	3
9	LVTTL-I	ResetL	Module Reset	3
10		Vcc Rx	+3.3V Power Supply Receiver	2
11	LVCMOS-I/O	SCL	2-wire serial interface clock	3
12	LVCMOS-I/O	SDA	2-wire serial interface data	3
13		GND	Ground	1
14	CML-O	Rx3p	Receiver Non- Inverted Data Output	3
15	CML-O	Rx3n	Receiver Inverted Data Output	3
16		GND	Ground	1
17	CML-O	Rx1p	Receiver Non- Inverted Data Output	3
18	CML-O	Rx1n	Receiver Inverted Data Output	3
19		GND	Ground	1
20		GND	Ground	1
21	CML-O	Rx2n	Receiver Inverted Data Output	3
22	CML-O	Rx2P	Receiver Non-Inverted Data Output	3
23		GND	Ground	1
24	CML-O	Rx4n	Receiver Inverted Data Output	3
25	CML-O	Rx4p	Receiver Non- Inverted Data Output	3
26		GND	Ground	1
27	LVTTL-O	ModPrsL	Module Present	3
28	LVTTL-O	IntL	Interrupt	3
29	LVCMOS-I/O	Vcc Tx	+3.3V Power Supply transmitter	2
30		Vcc1	+3.3V Power Supply	2
31	LVTTL-I	LPMode	Low Power Mode	3
32		GND	Ground	1
33	CML-I	Tx3p	Transmitter Non-Inverted Data Input	3
34	CML-I	Tx3n	Transmitter Inverted Data Input	3
35		GND	Ground	1
36	CML-I	Tx1p	Transmitter Non-Inverted Data Input	3
37	CML-I	Tx1n	Transmitter Inverted Data Input	3
38		GND	Ground	1

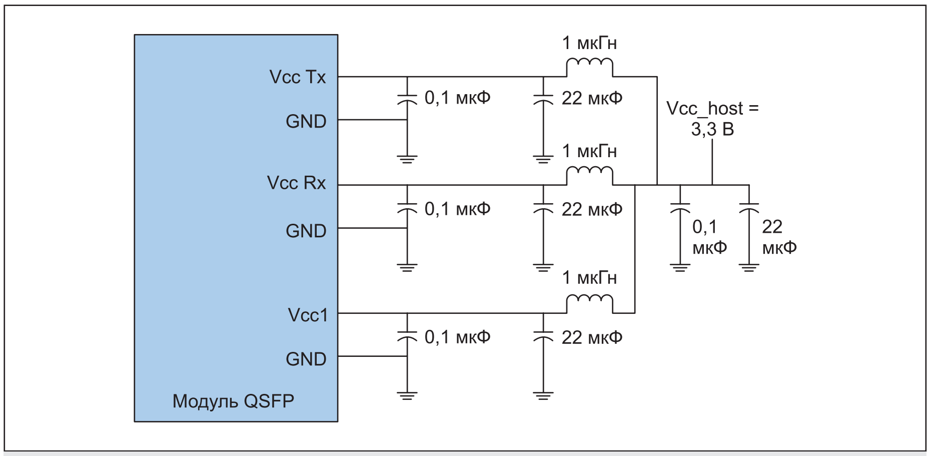

Рис. 10. Схема подключения питания к модулю QSFP28

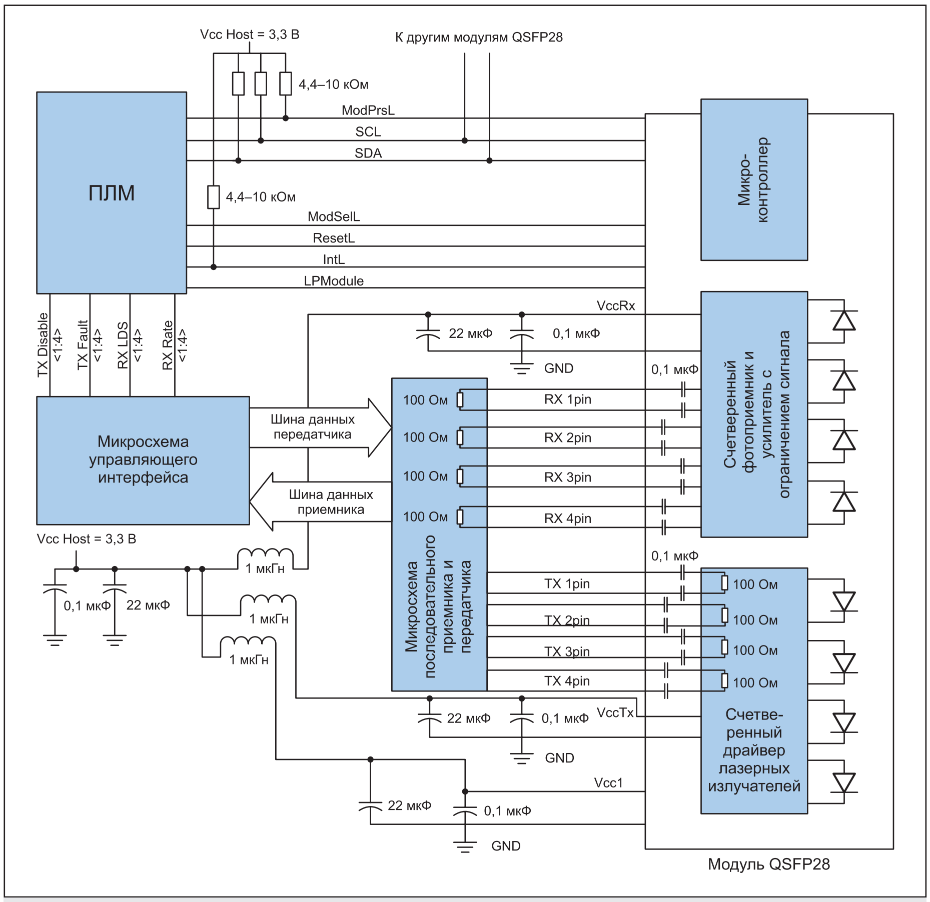

Рис. 11. Схема интерфейса подключения трансивера к блоку коммутации и распределения сигналов

Конструкция модулей оптических трансиверов 25G/100G и ключевые технологии

В корпусе SFP-трансивера находятся микромодули (сборки) устройств, которые называются BOSA, TOSA или ROSA:

- TOSA — transmitter optical sub-assembly (оптический модуль передатчика);
- ROSA — receiver optical sub-assembly (оптический модуль приемника);
- BOSA — bidirectional optical sub-assembly (двунаправленный оптический модуль передатчик+приемник).

В модулях передатчика 100G установлены излучающие лазеры, оптика сопряжения (сплиттер — фильтр для оптического объединения четырех излучаемых потоков в один), оптический разъем LC-типа. В модуле приемника расположены интерференционные фильтры для разделения принимаемого из оптоволокна комплексного оптического сигнала четырех волн на четыре отдельных потока, фотодиоды и усилители приемника. В дуплексном модуле размещены узлы как передатчика, так и приемника. Этот вариант предназначен для модулей WDM.

В спецификации на модуль трансивера обычно указывают тип используемых базовых компонентов. Для модуля приемника, например, PIN — тип применяемого фотодатчика (pin-диод) в модуле приемника (ROSA). Фотодиоды приемника для работы в диапазоне длин волн 1300–1600 нм, как правило, реализованы на основе структур LT-InGaAs. Лавинные фотодиоды APD (Avalanche Photodiode) обладают высокой чувствительностью, что позволяет использовать их в приемниках модулей, предназначенных для протяженных линий, и в системах, в которых требуется значительная разница между мощностью передатчика и чувствительностью приемника. Чувствительность диодов APD на 6–8 дБ выше, чем у других, при этом и уровень перегрузки повышен, что требует внимательного контроля за мощностью входящего оптического излучения. В тракте приемника может использоваться оптический усилитель SOA (Semiconductor Optical Amplifier).

Он добавляется в приемник для увеличения чувствительности и, соответственно, дальности приема оптических сигналов из оптоволокна. На рис. 12 показана структура пластины оптического усилителя.

Слабый входной сигнал возбуждает атомы полупроводникового материала, легированного эрбием, на той же частоте, но с увеличением амплитуды. Оптический усилитель обеспечивает усиление сигнала примерно на 15 дБ без оптоэлектронного преобразования.

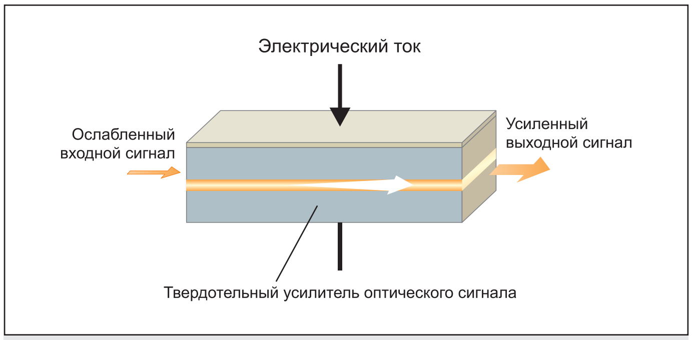

Рис. 12. Структура SOA оптического усилителя

Лазеры оптических трансиверов

Лазер часто используется для передачи по одномодовому волокну — это лазеры DFB (distributed feedback laser), лазеры с распределенной обратной связью. Такой лазер имеет периодическую решетку резонатора и обеспечивает более стабильное и мощное излучение, чем FP-лазеры. Мощность излучения достигает +6 дБм. Такие лазеры используют почти во всех модулях SFP, SFP+ и XFP на расстояниях от 10 км на скорости 1 Гбит/с и на расстояниях 10–40 км на скорости 10 Гбит/с.

В модулях трансиверов 100 Гбит/с в качестве излучателей четырех длин волн используются лазеры EML-типа. Такие лазеры применяются в оптических модулях транси-веров SFP, SFP+ и XFP. EML-лазер представляет собой лазер DFB, дополненный EAM — электропоглощающим модулятором. Именно эта связка позволяет генерировать световые пучки с высокой стабильностью длины волны и достаточно высокой мощностью. Все устройства со скоростью 10 Гбит/с, предназначенные для передачи на дальность 80 км, имеют только EML-лазеры. Для подобных систем передачи данных важна не только мощность излучения, но и его стабильность. При таких скоростях и больших расстояниях дисперсия проявляется настолько сильно, что сигнал с плавающей длиной волны может плохо распознаваться фотоприемниками. По технологии EML изготавливаются все лазеры для дальнобойных оптических трансиверов.

Рекомендуемые типы оптоволокна для трансиверов

Самое распространенное одномодовое оптическое волокно — это SMF G.652 разных модификаций. Оно обладает самым важным преимуществом — обеспечивает малое удельное затухание оптического сигнала и достаточно дешевое. Выбор одномодового оптоволоконного кабеля будет зависеть от области применения. Волокно G.652 и его версия G.657 являются недорогими волокнами, стандартными и пригодными для сфер применения, где не требуется скорость выше 10 Гбит/с на коротких расстояниях. Для этого случая рекомендуется G.652. Если пропускная способность превышает 10 Гбит/с или необходима поддержка на больших расстояниях с более высокой производительностью, G.655 может предоставить лучшее решение, несмотря на гораздо более высокую стоимость.

Области применения 100-Гбит/с-технологии

Основными пользователями станут крупные операторы связи, поставщики услуг Triple Play (включая компании кабельного ТВ), операторы узлов обмена интернет-трафиком и отдельные корпоративные пользователи, нуждающиеся в сетевых каналах с особо высокой пропускной способностью. Поддержка скорости передачи данных 100 Гбит/с в первую очередь будет реализована в высокопроизводительных системах коммутации, маршрутизации и агрегирования трафика, установленных в магистральных сетях сервис-провайдеров, узлах обмена интернет-трафиком, ЦОДах (например, для подключения корпоративных серверов хранения данных) и суперкомпьютерных сетях медицинских и научно-исследовательских учреждений. Сеть GPON состоит из магистральных и распределительных линий связи. В настоящее время протяженность магистральных трасс GPON достигает 80 км. Магистральные участки с использованием традиционных методов воздушной или подземной прокладки оптических кабелей имеют защитную оболочку, которая обеспечивает долговечность эксплуатации кабельной линии в условиях повышенной влажности и перепада температур.

В июне 2010 года Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) опубликовал стандарт 802.3ba, описывающий 40/100G Ethernet. С ратификацией нового отраслевого стандарта и ростом требований к полосе пропускания в центрах обработки данных технология 40/100G Ethernet становится неотъемлемым компонентом следующего поколения центров обработки данных (ЦОД). Эту технологию активно используют организации, создающие и эксплуатирующие центры обработки данных. Рынок подтверждает это, и производители коммутаторов и трансиверов реагируют на повышение спроса на аппаратные средства Ethernet выпуском новых продуктов.

Литература

1. APAC OPTO Product Guide. 2021.
2. APAC OPTO New Product introduction. 2021.
3. Datasheet LE38-J3L-Tx-N-V1.5.pdf APAC OPTO.
4. Datasheet LE38-J3L-Tx-N-Hx_V1.0.pdf APAC OPTO.
5. Datasheet LE48-J3M-TI-N-xx_V1.1.pdf APAC OPTO.
6. Datasheet LS3C-L3U-TC-N_V1.2.pdf APAC OPTO.
7. Datasheet LS3C-L3V-TC-N_V1.1.pdf APAC OPTO.
8. Слепов Н. Оптические мультиплексоры и демультиплексоры // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2004. № 8.