Настоящее и будущее оптических трансиверов

Интернетом нынче удивить сложно, порой, кажется, он был всегда, примерно как электрические лампочки и теплые сортиры. Но в отличие от последних, все эти годы интернет заметно менялся - дистанция от сотен бод до сотен гигабит подразумевает не просто разную скорость, но и принципиально разное качество. Есть ли предел желаний пользователей? Когда же они, наконец, нажрутся? И смогут ли существующие линии справиться с потоками мультимедийного трафика в обозримом будущем?

На диаграмме ниже график роста потребления трафика за последние 5 лет, пусть и посчитанный в странных экзабайтах, но с показанной тенденцией, скорее всего, спорить никто не будет - слишком она очевидна, что-то порядка 100% за пару-тройку лет.



Если перевести суть в "железо", то гонка скоростей выглядит следующим образом: всего несколько лет назад дата-центры и операторы-магистралы, как самые передовые (в плане скорости, разумеется) связисты, начали переходить массово на 10Г соединения. Уже в прошлом году никого в России не удивляли 40Г, а сейчас можно найти линии и на 100Г. По факту мы уже стоим на пороге нового рывка в сторону 400Г и постепенного переход на 1Тб... Но об этом чуть позже.

Для начала, среди новинок 2013-2014 гг. хочется выделить три основных направления:

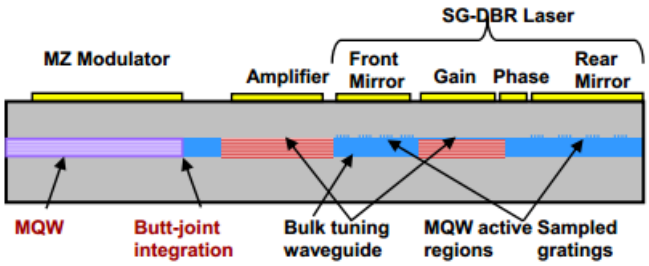
- Магистральных операторов, наверняка, заинтересует появление доступных по цене настраиваемых (tunable) 10G DWDM-модулей, позволяющих программно перестраивать лазер передатчика на любой DWDM-канал в C-диапазоне (50GHz, 88CH). Соответственно, конфигурирование DWDM значительно упростится, заодно отпадет надобность в огромном ЗИПе XFP/SFP+ на все случаи жизни длины волн. Говоря проще, увеличивать скорость с помощью "еще одной десяточки" станет легко и недорого.

- Заявленные еще в 2009 году модули линейки CFP (40G & 100G) наконец-то добрались до российской реальности, а заодно обрели "совмещение" с SFP+ по разумной цене.

- Дата-центры имеют прекрасную возможность экспериментировать с различными модификациями QSFP-модулей. Несмотря на то, что данная технология мне крайне неприятна своей мультимодовой многоволоконностью (QSFP SR4) или несовместимостью с DWDM (QSFP LR4), нужно признать, MPO-патчкорды позволяют организовывать высокоскоростные линки без лишних сложностей.

Tunable DWDM-модули

Для изменения длинны волны используются отражательные решетки Брегга. Отражатель Брегга - это слоистая структура, в которой показатель преломления материала периодически изменяется под действием внешнего управления. В настраиваемых лазерах используют две решетки. Каждая из них задает свой отражаемый спектр. Суммированное отражение и формирует необходимый нам сигнал.



Внешне модули Tunable DWDM XFP ER и ZR (соответственно на 40км и 80км) ничем не отличаются от обычных. Но при этом они практически полностью универсальны, то есть способны обеспечить программную перестройку несущей длины волны на один из множества DWDM-каналов с сеткой 50 ГГц (см. таблицу 1) или 100 ГГц (согласно рекомендациям ITU-T). Кроме того, модули могут применяться как в Ethernet, так и в SDH/SONET-сетях. Перестройка осуществляется при помощи специального программатора, либо непосредственно на порту транспондера/свитча/роутера, данная возможность реализована многими вендорами, например, BTI, Cisco и др.

В Q2-Q3 2014 года ожидается выход горячей новинки: DWDM Tunable SFP+ в вариациях ER/ZR (40/80 км), что обеспечит гибкую организацию ЗИПа, а также позволит производителям WDM-оборудования перейти к более компактному форм-фактору SFP+, заметно повысив плотность 10G-портов, сократив вдобавок и энергопотребление. Пока же для перехода от XFP к SFP+ можно применять специальную карту-переходник. То есть от оборудования пойдет (к примеру) недорогой клиентский SFP+ SR или Direct Attach-кабель, а от карты в линию уже линейный окрашенный DWDM-сигнал от Tunable XFP.

Необходимо учитывать, что для решения с применением технологии прямой коррекции ошибок (FEC/EFEC), позволяющей передавать 10G-каналы на бОльшее расстояние, форм-фактор XFP будет актуальным еще долго, т.к. сегодня большинство производителей WDM-оборудования используют в своих транспондерах именно его и переход к SFP+ будет далеко не мгновенным.

Ознакомиться с параметрами DWDM XFP 80km при различных значениях Bit Rate, OSNR, Dispersion и допустимого значения BER с использованием FEC/EFEC и без, можно в таблице.

Т.о. использование алгоритмов прямой коррекции ошибок дает значительный выигрыш по OSNR и чувствительности.

- Важно!!! В результате тестирования инженерами SNR ряда представленных на рынке моделей выявлено, что многие tunable DWDM (в частности JDSU) не запоминают номер канала при пропадании питания. Соответственно, при сбое устройство выставляется в default-канал со всеми вытекающими неприятными последствиями. Используйте только проверенные решения!
- Аналоги! Список наиболее распространенных вендоров и их моделей представлен в таблице ниже. Следует помнить, что метод управления перестройкой каналов у разных производителей может отличаться и выявить совместимость можно, по сути, только тестированием. Если канал задан при помощи внешнего программатора, то можно обеспечить совместимость со всеми вендорами.

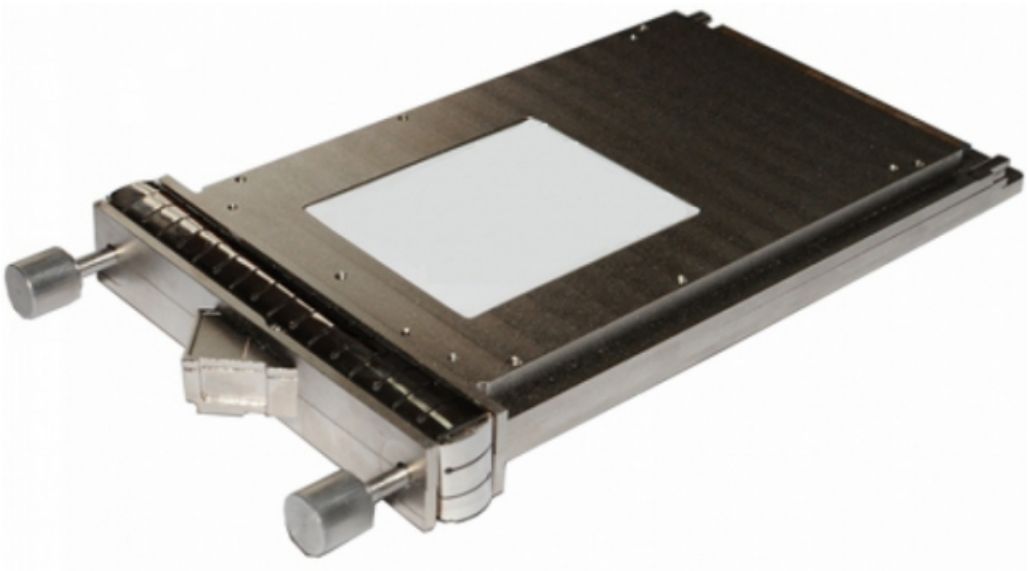
Производитель	модель
BTI Systems	BP3AM4TF
ADVA	1061701400-01
Brocade	10G-XFP-ZR.T
Cisco	ONS-XC-10G-C DWDM-XFP-C
ECI	OTR10T_AL
Extreme	10200
Huawei	XFP-STM64-T-80km
JDCU	JXP01TMAC1CX5***
Juniper	XFP-10G-CBAND-T50-ZR
Nokia Siemens Networks	V50017-U792-K500
Sorrento Networks	GMXFP-10G-40CT-80

В настоящее время инженеры НАГ смогли добиться совместимости Tunable XFP SNR (с возможностью перестройки каналов) с оборудованием BTI, Transmode, Cisco и Juniper.

CFP-модули

CFP (он же "C" (Centum = 100) form factor pluggable) впервые был заявлен в марте 2009 года группой компаний Finisar Corporation, Opnext Inc. и Sumitomo Electric Industries. Подробное описание электро и механических параметров можно найти в MSA спецификации. Сегодня оптические модули в форм-факторе CFP предназначены для работы на скоростях 40G и 100G.

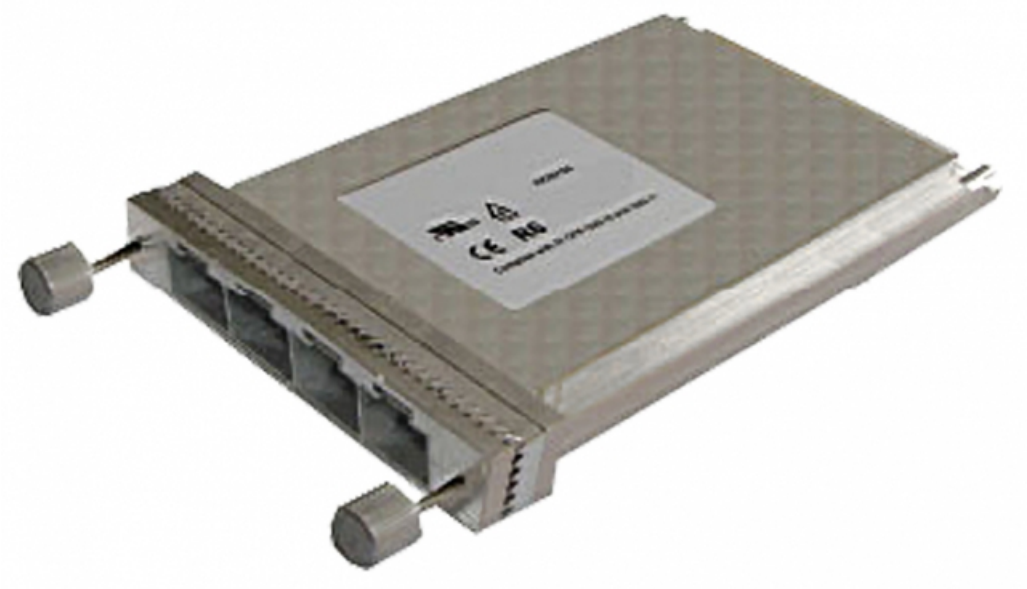
CFP модули, работающие по стандартам 40G LR4, ER4 и 100G SR4, LR4, ER4, представляют из себя сборку из трансиверов на 10G или 25G (для 100G) объединенных в 1 канал при помощи четырех канального мультиплексора. Цена такого решения невысока, но имеется существенный недостаток в виде четырех лямбд, что сильно затрудняет передачу на большие расстояния.





Слева представлен CFP100GBASE-LR4-10 (уже в продаже как для 100G ETHERNET, так и для 112Gb OTU4, дальность передачи 10км), справа - вариант без встроенного мультиплексора, 4 канала по 25G разнесены на 4 независимых DWDM-канала, дальность до 40 км. Каждая из четырех лямбд настраиваемая (tunable) и может быть настроена на любой из 96 каналов с сектой 50ГГц. Весь 100Г поток будет занимать в муксе четыре канала (по 25G каждый). Данная технология потеряет актуальность с выходом когерентных CFP, что ожидается примерно через полгода.

Ко всему прочему, уже сегодня имеется конвертер интерфейсов CFP 40G -> 4xSFP+ 10G, который позволяет применять SFP+ модули в оборудовании с CFP 40G-портами (например, cisco nexus 7000, cisco 6800):



На фотографии SNR-CFP-SFP+ (аналог Cisco CVR-CFP-4SFP10G)

100G CFP, согласно стандарту, возможны в разных вариантах: 100GBASE-SR под MPO разъем, 100GBASE-LR4/100GBASE-ER4 – передается 4 канала по 25G (28G), 100GBASE-LR10/ER10/ZR10 – передается 10 каналов по 10G.

В качестве промежуточного решения обычные CFP достаточно удобны, но будущее, вне всякого сомнения, принадлежит CFP 100G Coherent. Уже сейчас об их выпуске заявили Brocade и Oclaro.

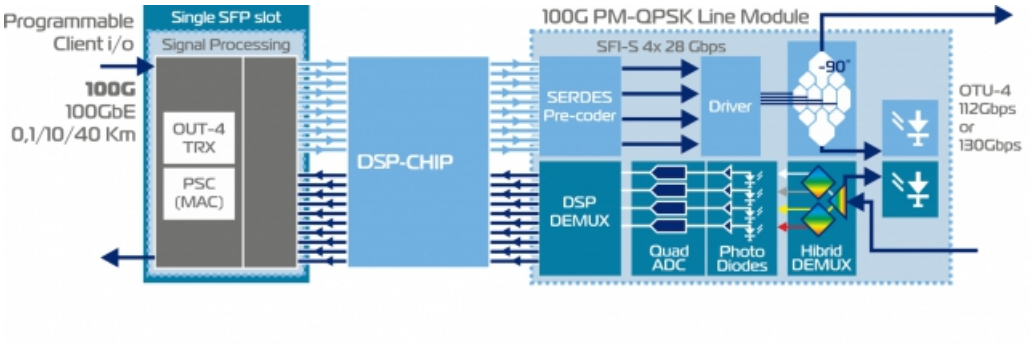


Фотография Oclaro CFP2 Coherent модуля

На сегодняшний день 100G Coherent доступны только в виде интегрированных трансиверов и используются совместно со 100G транспондерами/мукспондерами. Стоимость интегрированных 100G решений в несколько раз дороже ожидаемой цены на CFP Coherent, зато и характеристики у них несколько лучше. Так что проектировщикам придется немало поработать над выбором оптимального варианта для каждой конкретной линии. Сравнение характеристик интегрированного и CFP coherent трансивера можно увидеть в таблице ниже:

	CFP	Интегрированные
Дальность передачи сигнала, км	до 750	до 2500
Input power range, дБ	-2..-18	-2..-18
OSNR tolerance, дБ	15-16	13
Dispersion tolerance, ps/nm	-15k ..15k	-50k .. 50k

Суть технологии заключается в использовании поляризационного мультиплексирования четырех позиционной фазовой модуляции PM-QPSK (некоторые используют двойную поляризацию DP-QPSK). Это позволяет передавать за раз четыре бита информации вместо одного. Принцип работы в общих чертах можно понять на примере 100G-мукспондера. Как мы видим из представленной ниже схемы, на входе 10*10G клиентских интерфейсов, которые преобразуются в 4*28G. Далее происходит модулирование в PM-QPSK и уже на выходе получается одна DWDM 100G-лямбда, которая уходит в линию.



Принципиальная схема 100G-мукспондера с Coherent трансивером

Для справки, краткое описание всех моделей CFP сведено в следующую таблицу:

№ п/п	Название стандарта	Описание
		100GBASE 10*10 MSA CFP - передача десяти 10G-каналов одновременно
1	100GBASE-SR10	дальность до 100м (10*10G)
2	100GBASE-LR10	дальность до 10км (10*10G)
3	100GBASE-ER10	дальность до 40км (10*10G)
4	100GBASE-ZR10	дальность до 80км (10*10G)
		4*25 (4*28) MSA CFP – передача одновременно четырех каналов 25G(28G)
5	100GBASE-SR4	дальность до 100м (4*25G)
6	100GBASE-LR4	дальность до 10км (4*25G)
7	100GBASE-ER4	дальность до 40км (4*25G)
		Coherent – 4 канала по 28G модулируются DP-QPSK (или в PM-QPSK) и формирует 100G на одной длине волны Компенсация хроматической дисперсии до 15000 пс/нм
8	100G Coherent	Дальность до 750км с использованием EDFA усилителей

№п/п	Стандарт	Вендор	Модель
1	100GBASE-SR10	Cisco, Juniper, Huawei	CFP-100G-SR10
2	100GBASE-LR4	Cisco, Juniper, Huawei	CFP-100G-LR4
3	100GBASE-LR4	Finisar	FTLC1181RDNx
4	100GBASE-ER4	Cisco	CFP-100G-ER4
5	100GBASE-ER4	Fujitsu	FIM37200

QSFP-модули

Как я уже писал выше, 40-ка гигабитный QSFP SR4 имеет разъем MPO и осуществляет прием и передачу 4x10G по 12-волоконному MMF-волокну (задействовано только 8 волокон) на стандартной для многомодового волокна длине волны - 850нм. Таким образом, использовать чудо враждебной техники данную технологию обоснованно только в дата-центрах, а еще лучше - не далее своей стойки.



Так выглядит QSFP-SR4



Слева разъем MPO, вид в фас, справа MPO-патчкорд

Трансиверы QSFP LR4 заметно прогрессивнее, для них достаточно вего пары волокон:



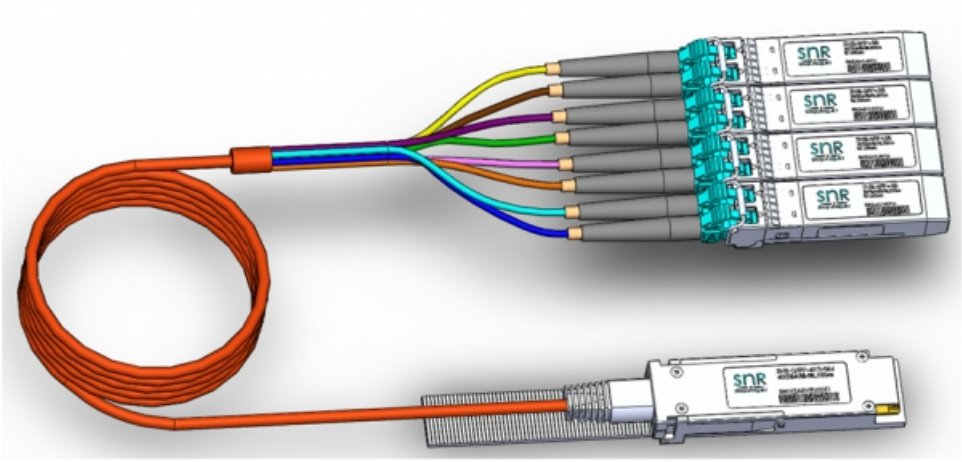
Внутри модуля (см. функциональную схему) имеются 4 передатчика и встроенный MUX/DEMUX CWDM, то есть, используются четыре передатчика 10G на длинах волн: 1270, 1290, 1310 и 1330 нм.

Поскольку основной нишей для использования 40G-моделей являются дата-центры, больший интерес представляют модели, работающие на небольших расстояниях и при этом обладающие малой стоимостью. К примеру, на расстояниях до семи метров стоит использовать «медные» Direct attach cable (на фотографии слева), а до 100 метров - заранее сваренные между собой многомодовым оптическим патчкордом пары QSFP (в отличие от DAC-моделей в AOC имеется DDMI), или Active Optical Cable (на фотографии справа).





Кроме того, существуют специальные переходники QSFP<->SFP+, которые позволяют реализовать как оптическое соединение (QSFP 40G -> 4 SFP+) 10G, так и "медное" (QSFP-40G->4xSFP+ DAC).





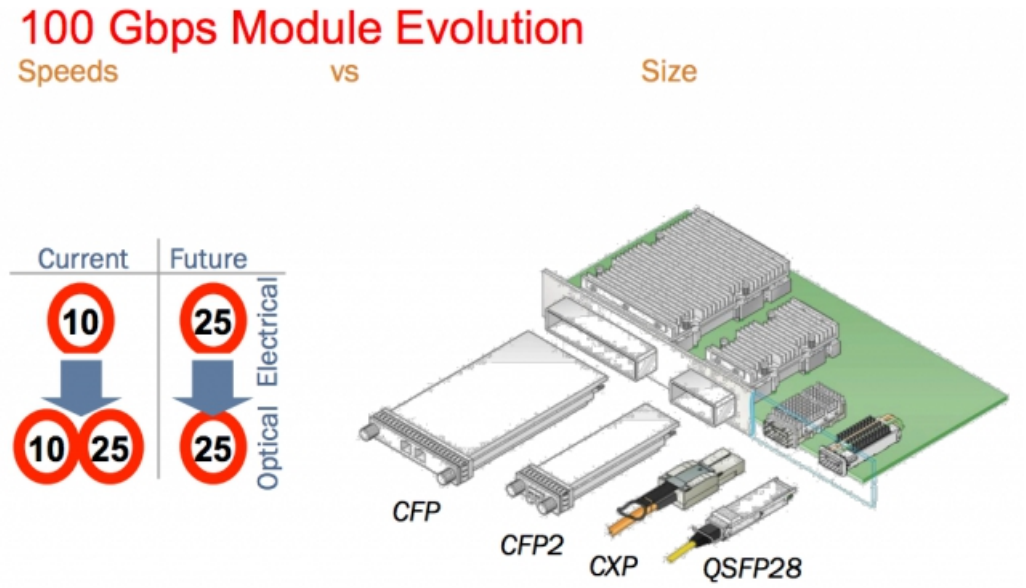
Надо отметить, что 40G для дата-центов постепенно отходит в тень и развивается не так стремительно, как хотелось бы многим. Но это не страшно - в конце 2014 г. года ожидается выход QSFP28, осуществляющего передачу одновременно 4-х потоков по 25G(28G) каждый и позволяющего достигать 100G(112G).

Аналоги! Brocade IP 40G-QSFP-LR4, Huawei QSFP-40G-LR4, Radware 9062216, Alcatel-Lucent Ent. QSFP-40G-LR, HP H3C JG325A. Инженерами НАГ достигнута совместимость данных модулей с оборудованием Extreme, Dlink,Force10(Dell).

Новинки интерфейсов

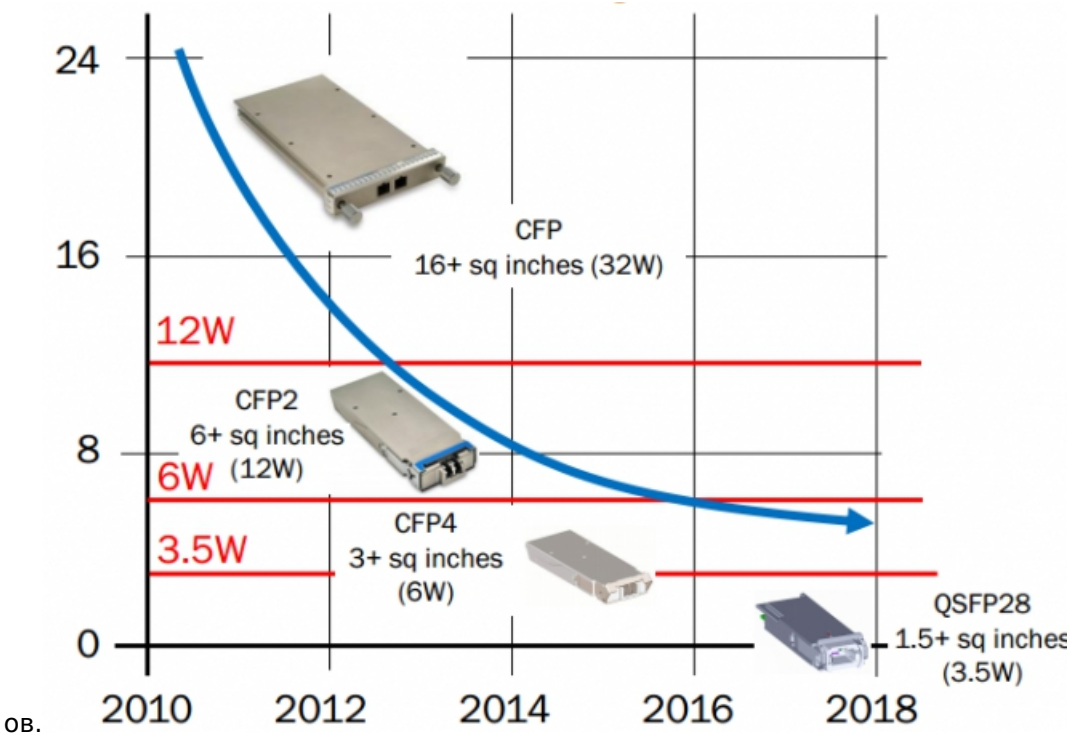
Точное развитие событий предугадать пока сложно, на лидерство претендует сразу несколько форм-факторов и технологий (QSFP, CFP, CFP2 и другие). Согласно существующему roadmap-у, в 2014 году ожидается появление на массовом рынке CFP2 и CFP4-интерфейсов (они более компактные по сравнению с CFP):





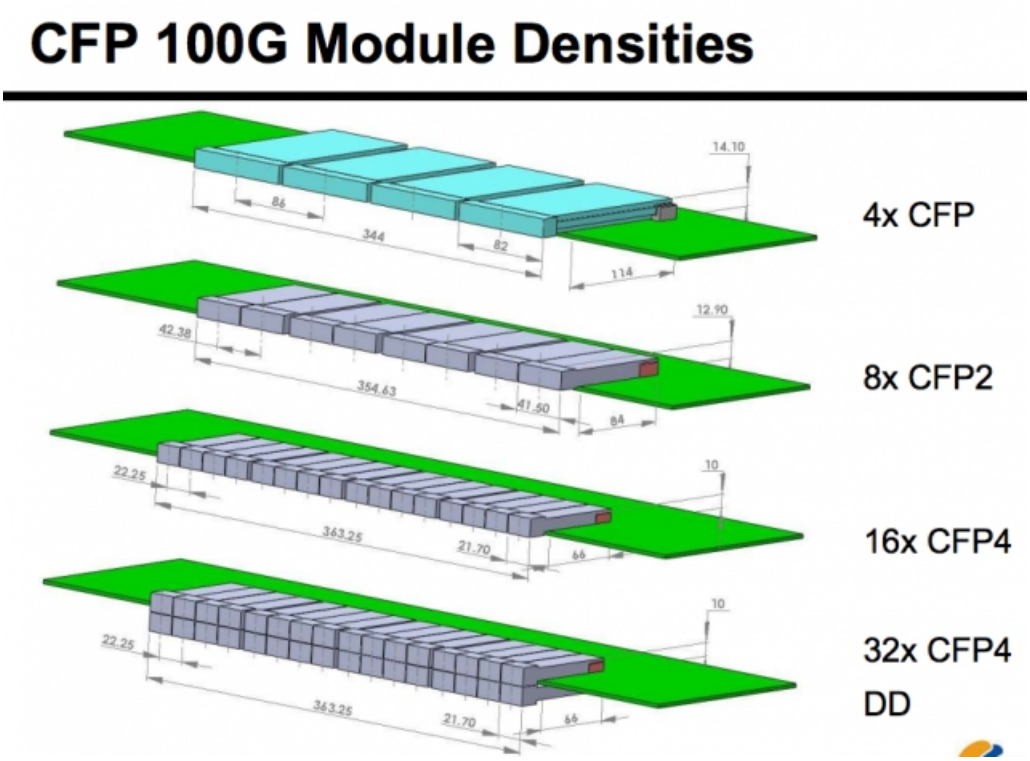
Первые буквы в названии модуля указывают на его скорость. Так, например:
[C]FP-100G;
[CD]FP-400G;
[D]FP-500G.

Кроме уменьшения размеров корпуса, уменьшается также энергопотребление. Сочетание этих параметров позволит значительно повысить плотность портов.



ов.

График изменения энергопотребления типовыми передатчиками



Компоновка портов в стандартном слоте шасси или 1U-коммутаторе

Некоторые производители коммутационного оборудования, например, Extreme Networks, предлагают такие интерфейсные карты уже сегодня. Модели CFP и CFP2 будут доступны как в вариантах 10x10G, так и в 4x25G. CFP4 будет доступна только в исполнении 4x25G.

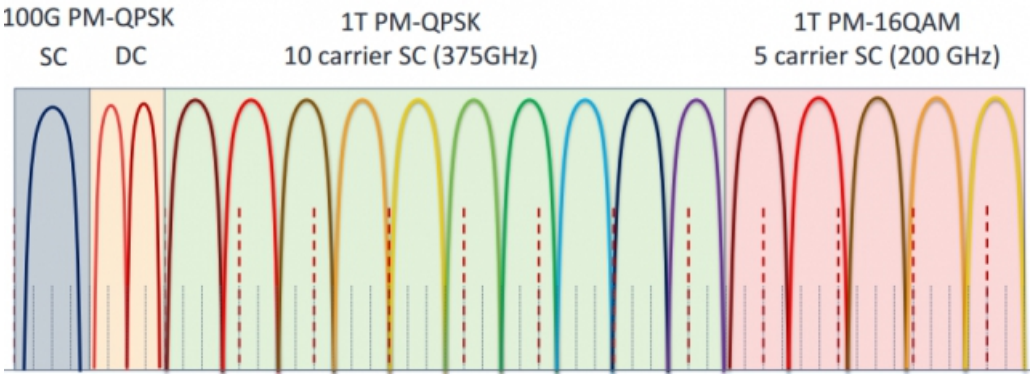
В завершение, попробуем подвести итоги.

В 2014-2015 году нас ждут:

Год	Квартал	Модель
2014	1	CFP40GBASE-FR(до 2км по SMF)
	2	CFP40GBASE-ZR4

	3	DWDM CFP100GBase-ER10 & DWDM CFP100GBase-ZR10
	2	CFP100GBASE-SR10
	3	CFP100GBASE-ER4
	3	CFP2-100GBASE-LR4
	3	QSFP28-FR (Сейчас есть QSFP28-AOC)
2015	1	CFP2-100GBASE-SR10
	2	CFP2-100GBASE-ER4
	2	CFP2-100GBASE-SR4
	3	CFP4-100GBASE-SR4
	3	CFP4-100GBASE-IR4 (дальность до 2 км)
	4	CFP100G-Coherent

А дальше - как известно, больше. Поскольку потребление трафика продолжает расти, производители готовят для нас решения на 1 Terra. Данное решение является дальнейшим развитием когерентного, с уменьшением шага сетки вплоть до 12,5ГГц. В общих чертах, это выглядит так.



Но более подробно об этом можно будет рассказать лишь через несколько лет.