

СКС в ЦОДах: современное состояние и перспективы

Семенов Андрей Борисович, д.т.н., профессор кафедры Механизации и автоматизации строительства НИУ МГСУ, профессор кафедры Многоканальных телекоммуникационных систем МТУСИ

23 мая 2023 года

Новое монографическое издание по СКС

В конце апреля 2023 году выйдет из печати монография «Введение в структурированные кабельные системы», авторы А.Б. Семенов, С.В. Шевелев, Н.А. Шишова, издательство “Юнга”, 312 с. Книга изначально была заказана компанией ДКС как пособие для фирменного курса СКС, но в процессе работы была развернута до уровня учебника вузов связи.

В содержательную часть учебника включены основные сведения о технике СКС и смежных областях. Отражены последние достижения и главные тенденции развития структурированного каблирования как самостоятельного технического направления.

Обсуждение ведется преимущественно на физическом уровне строгости, количество формул сведено до минимума, необходимого для понимания сути процессов в медножильных и волоконно-оптических линиях. Каждая глава заканчивается перечнем контрольных вопросов, ответы на которые закрепляют изучение излагаемого материала.



Отечественный стандарт кабельной системы машинного зала ЦОД

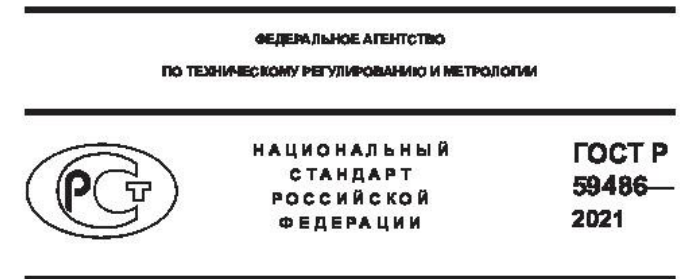
Разработан компанией В-Риал (г. Санкт-Петербург) с использованием положений стандартов ANSI/TIA-942-B и ISO/IEC 11801-5 : 2017.

Документ содержит всего 8 страниц, в отличие от прототипов, малоинформативен и полезен скорее фактом своего существования. Стандарт включает только общие положения касательно собственно СКС, архитектурных особенностей оборудования машинного зала, вопросов достижения требуемого уровня безопасности и обеспечения электромагнитной совместимости.

Допускается создание информационной проводки на симметричных кабелях из витых пар, многомодовых и одномодовых оптических кабелях.

Проектирование СКС для ЦОД затронут в самом общем виде и ограничивается запретами на применение в машинном зале оборудования, не имеющего отношения к ЦОД, рекомендацией верхней прокладки кабелей электроснабжения и максимизации расстояния до слаботочных кабелей для минимизации помех.

Резюме: при проектировании СКС в ЦОД целесообразно пользоваться ISO/IEC-11801-5 или иными зарубежными стандартами.



Слаботочные системы
КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
Кабельные системы для высокопроизводительных
сетей в центрах обработки данных.
Основные положения

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2021

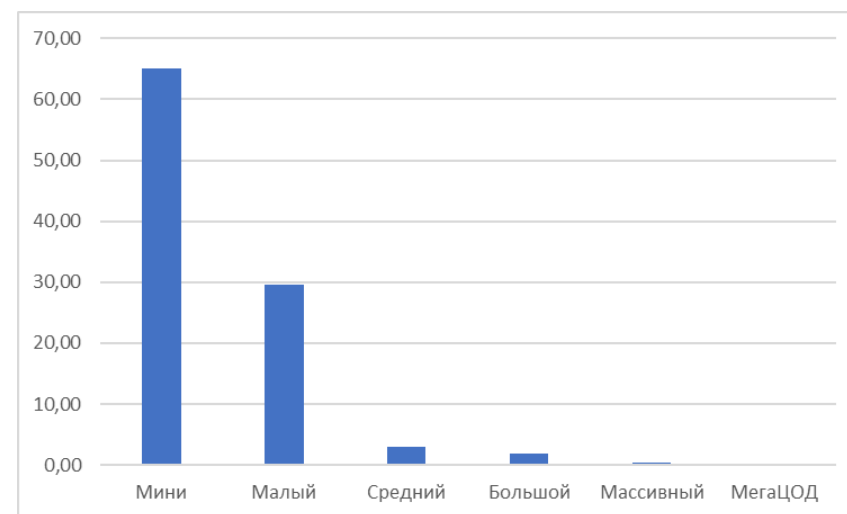
Распределение ЦОД по количеству стоек и его влияние на СКС

Существует ряд вариантов классификации ЦОД (по площади машинного зала, по потребляемой мощности и т.д.). В данном случае можно воспользоваться подходом ИКС-холдинга, который делит все ЦОД на шесть основных категорий по количеству обслуживаемых стоек. Результаты показаны в правом нижнем углу слайда и свидетельствуют о том, что свыше 90% всех объектов относятся к мини и малым ЦОД, оборудование которых размещается в одном машинном зале, а обслуживающая их СКС не требует масштабного центрального кросса.

Последнее означает, что, аналогично офисным СКС, линии для объединения в единую систему отдельных машинных залов (аналог подсистемы внешних магистралей) носят подчиненное значение, редко встречаются в проектах и не должны “навязывать” свои правила остальной проводке.

Важно! Кабельная система вспомогательной части ЦОДа строится по правилам офисной СКС.

Тип ЦОДа	Количество шкафов (стоек)	Суммарная площадь аппаратных залов, м2
Мега	> 9000	22 500
Массивный	3000 - 9000	7500 – 22 500
Крупный	800 - 3000	2000 - 7500
Средний	200 - 800	500 - 2000
Малый	11 - 200	26 - 500
Мини	1 - 10	1 - 25



Тип элементной базы СКС машинного зала ЦОД – 1(2)

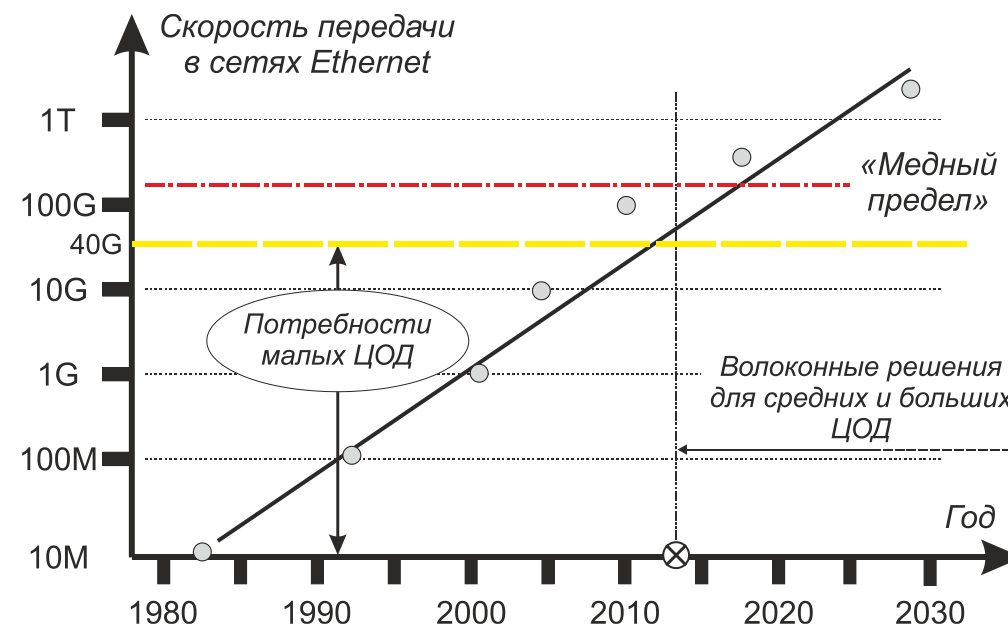
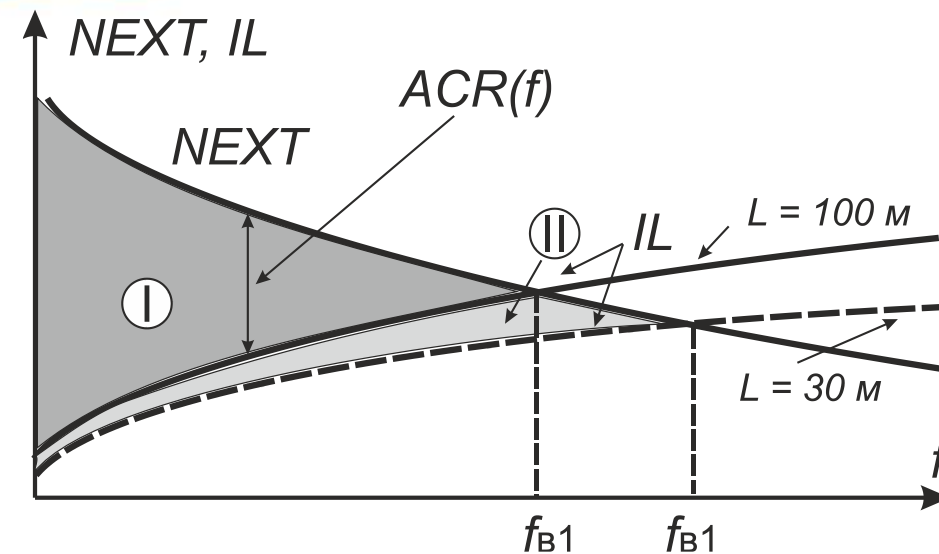
Формально стандарты разрешают строить СКС на базе волоконно-оптических и симметричных кабельных линий. Рост скоростей передачи происходит по линейному закону, сами скорости в настоящее время уже превышает 200 Гбит/с.

Предельная скорость по симметричному тракту определяется известной теорией Шеннона

$$W = 4 \cdot \int_0^{f_c} \log_2(1 + ACR(f)) df.$$

Возможности меди ограничены скоростями несколько выше 100 Гбит/с и исчерпаны даже в случае использования такого эффективного в условиях ЦОД технического приема как сокращение предельной протяженности тракта.

Важно! На симметричных линиях может строиться информационная система только мини- и малых ЦОДов



Тип элементной базы СКС машинного зала ЦОД - 2(2)

Указанное положение подтверждается статистикой, которая приведена в нижеследующей таблице.

Горизонтальная подсистема офисных СКС	Машинный зал ЦОД	Магистральные линии офисных СКС
2011: 98% Cu $\leftrightarrow$ 2% OF	2011: 49% Cu $\leftrightarrow$ 51% OF	2011: 99% Cu $\leftrightarrow$ 1% OF
2022: 96% Cu $\leftrightarrow$ 4% OF	2022: 20% Cu $\leftrightarrow$ 80% OF	2022: 0% Cu $\leftrightarrow$ 100% OF

Приведенные данные заимствованы из Borcic Z. Chancen für die Kupferverkabelung //LANLine, 2023, № 1-2, S. 21-23

Приведенные данные важны тем, что формирование общих проектных решений СКС в машинном зале ЦОД во многом облегчается отсутствием проблемы выбора элементной базы и фактически определяется только количеством стоек, которые устанавливаются на объекте.

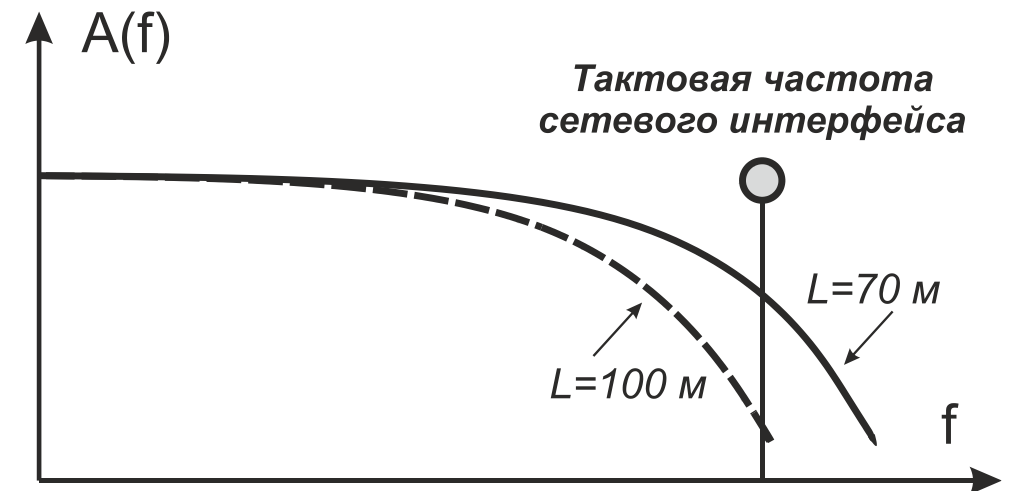
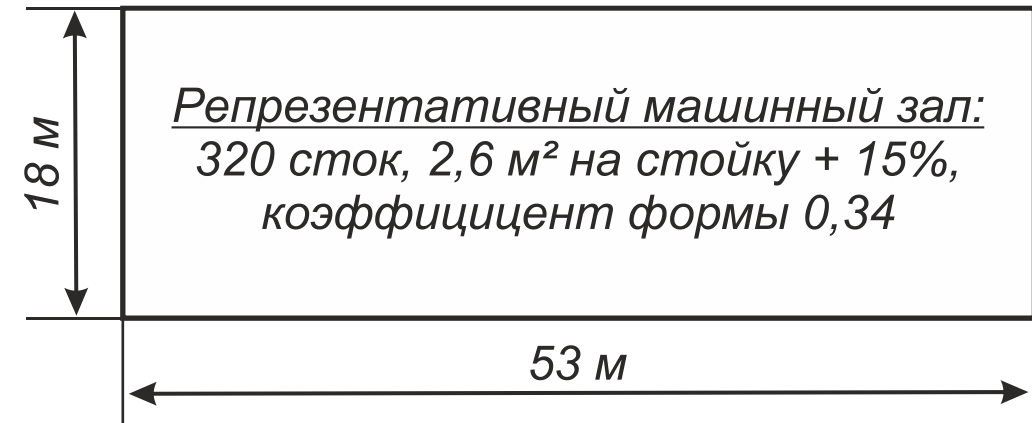
Использование трактов уменьшенной длины / нормирование предельной протяженности тракта "по приложению"

В качестве прототипа СКС для ЦОД были использованы офисные кабельные системы, у которых нормируются 100-метровая предельная протяженность симметричных трактов и 300-метровая для волоконно-оптических.

Столь большие протяженности трактов избыточны для типового ЦОД, который при существующей системе охлаждения ВСЕГДА будет отличаться геометрической компактностью.

Расчет по приведенной справа модели показывает, что ожидаемая максимальная протяженность тракта не превысит 71 м (получена как полупериметр машзала прямоугольной в плане формы в виде оценки сверху), т.е. при нормировании характеристик можно смело сокращать предельную протяженность волоконно-оптической линии с 300 м до 70 – 150 м.

Дополнительный выигрыш от такого сокращения – возможность наращивания тактовой частоты линейного сигнала и увеличение, за счет этого, скорости передачи данных.



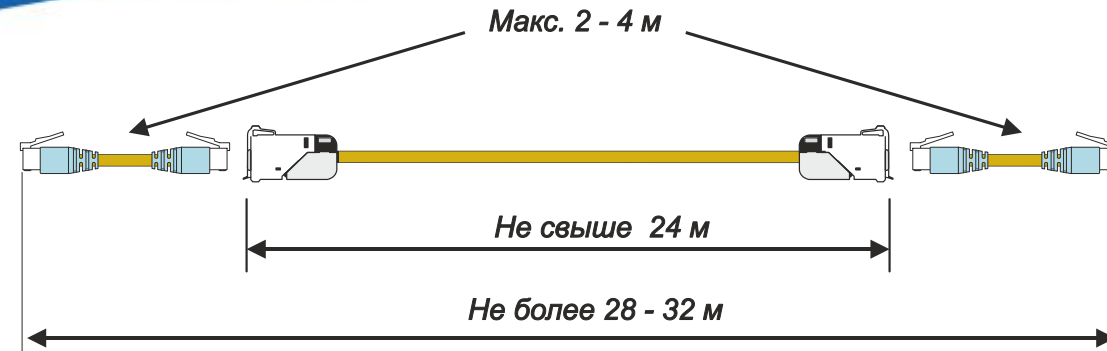
Медножильные линии категории 8

Линии категории 8 относятся к классу G, изначально были ориентированы на применение в ЦОД и имеют следующие особенности:

- возможность применения только 2-коннекторной модели трактов, т.е. только простые тракты со схемой коммутации интерконнекта;
- уменьшение максимальной протяженности тракта до 28 – 32 м в зависимости от калибра гибких проводников шнуров;
- применение только экранированной техники для эффективного подавления межкабельной переходной помехи.
- в настоящее время не востребована из-за отсутствия активного оборудования.

Линии категории 8 в перспективе потенциально может получить определенное распространение в микро- и отчасти в мини-ЦОДах.

Обеспечиваемая скорость потенциально м.б. увеличена до 100 Гбит/с, что, однако, слишком мало даже по современным требованиям, не говоря уже о перспективе (в 2025 году потребуется 400 Гбит/с).

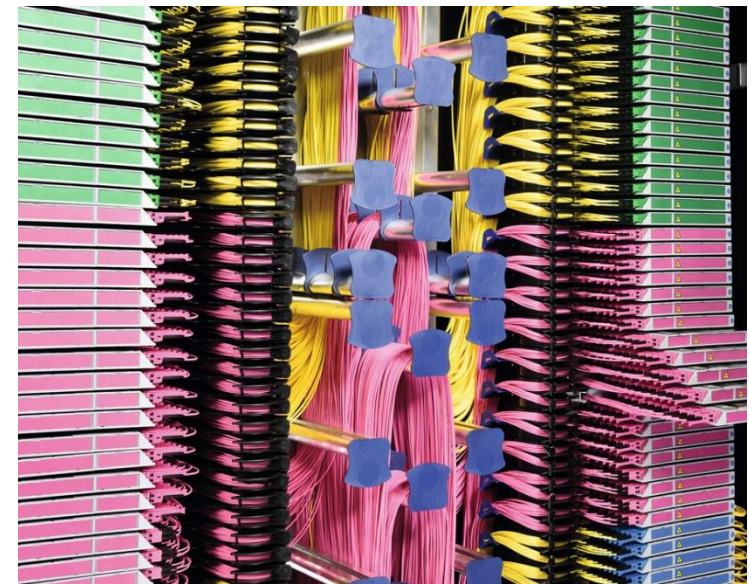
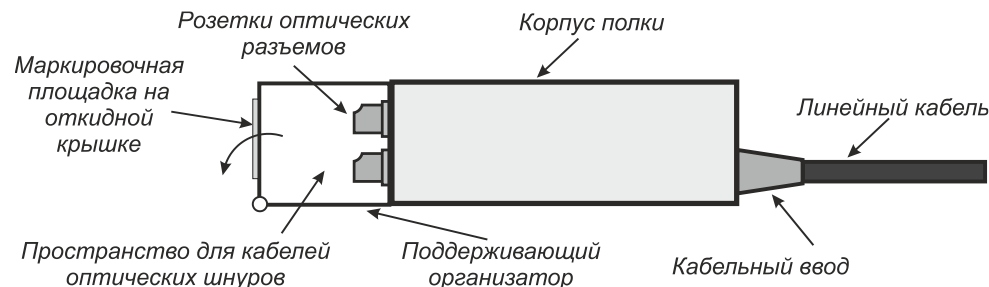


Калибр проводников кабеля шнура	Макс. длина шнуров	Макс. длина тракта
22-23AWG/0,573-0,644 мм	8	32
24AWG/0,511 мм	6	30
26AWG/0,405 мм	4	28

Коммутационное оборудование СКС для ЦОД

Коммутационное оборудование информационной кабельной системы машинного зала ЦОД

- рассчитывается на работу с претерминированными сборками, на которых реализуется линейная часть информационной проводки;
- коммутационное оборудование конструктивно оптимизируется преимущественно под объекты с максимум 200 стойками;
- обычно выполняется не по угловой схеме, а с организатором поддерживающего типа;
- должно полноценно учитывать особенности построения кабельной системы и ее текущей эксплуатации с точки зрения в первую очередь подключения компьютерного оборудования и наращивания числа линий;
- оборудование центрального кросса рассматривается как опциональное и разрабатывается отдельно; зачастую его функции выполняют OFD, которые ранее разрабатывались в интересах операторов связи.

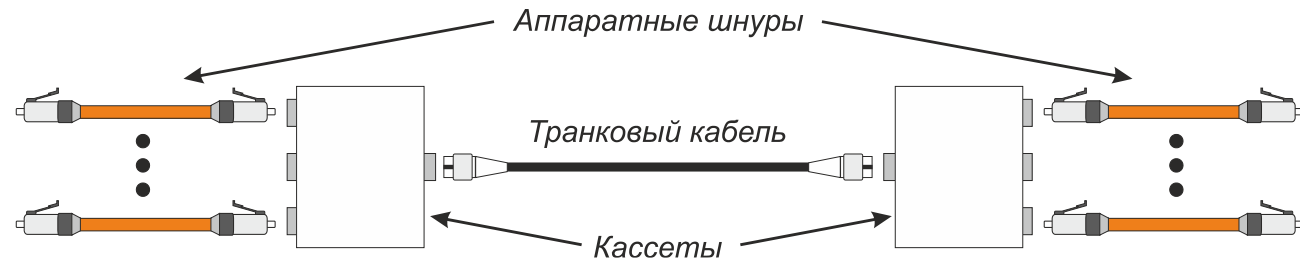


Необходимость претерминированной техники

Необходимость применения претерминированной техники (техники заводского изготовления, не требующей полевой установки элементов разъемных соединителей) определяется следующими особенностями объекта установки кабельной системы

- чрезвычайно низким энергетическим потенциалом высокоскоростного активного сетевого оборудования и отсутствие запасов по вносимым потерям
- необходимостью высокой скорости инсталляции и ремонта кабельных линий из-за чувствительности в нарушении герметизации штатных воздухопроводов используемой в ЦОД системы воздушного охлаждения серверов и иного активного оборудования

Дополнительный плюс от обращения к претерминированной технике и модульно-кассетной схеме построения линии состоит в том, что таковая позволяет сравнительно простыми средствами решить проблему полярности.



Требования к конструктивной плотности коммутационного оборудования

Под конструктивной плотностью понимается количество отдельных розеток на 1U монтажной высоты оптической полки.

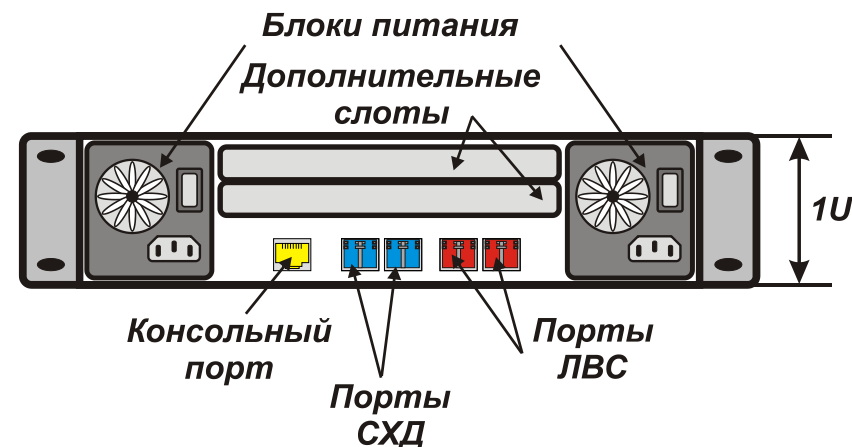
При задании параметра конструктивной плотности можно исходить из наиболее жесткого случая применения серверов типа pizza-box с корпусом высотой 1U и панелей СКС с плотностью конструкции 48 портов/1U. Каждый сервер имеет 4 порта (резервирование) для подключения к ЛВС и СХД. Тогда количество n серверов с 5-портовым интерфейсом (2 порта ЛВС, 2 порта СХД и консольный порт LAN-KVM) связано с высотой N шкафа уравнением

$$n + \frac{2n}{48} + \frac{2n}{48} + n = N$$

Первый член в левой части описывает количество серверов, второй – количество панелей ЛВС, третий – количество панелей СХД, четвертый – количество панелей консольных портов

Решение уравнения в целых числах дает $n = 38$ при $N = 42$ и $n = 43$ при $N = 48$. Иначе говоря, для обслуживания 38 серверов при дуплексной схеме организации связи потребуется 38 устройств $\times 4$ порта $\times 2$ волокна = 304 волокна, т.е. четыре оптических полки с 48 дуплексными портами каждая.

Выводы: количество полок мало, типовая конструктивная плотность 48 портов/1U, наращивание плотности возможно, но целесообразно только для аппаратных шкафов (потенциально) и конструктивов для размещения центрального кросса.



Необходимость параллельной передачи и ее предпочтительная схема

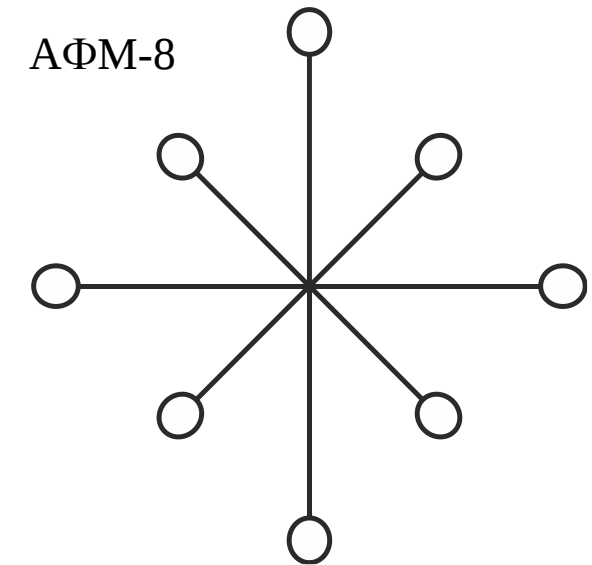
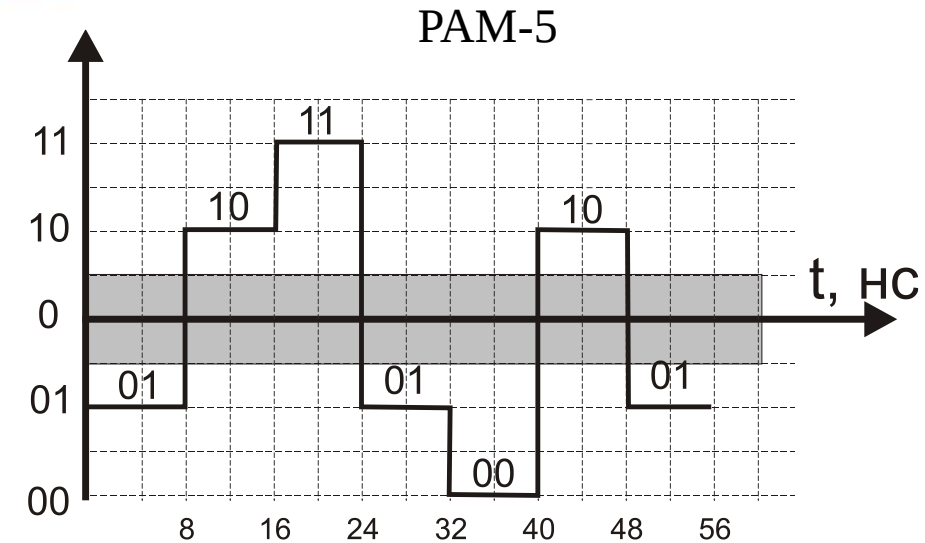
Необходимость параллельной передачи в рассматриваемой области применения СКС определяется двумя основными факторами

- отсутствием ограничений по быстродействию со стороны физического пользователя
- ограниченным быстродействием современной электроники (тактовая частота не выше 30 – 50 ГГц)

В таких условиях нарастить скорость можно только разбиением передаваемого сообщения на несколько составляющих с последующей передачей каждой из них по отдельному субканалу и восстановлением исходного сообщения на приемном конце.

При формировании линейного сигнала используется чистая амплитудно-импульсная или комбинированная амплитудно-фазовая модуляция. При таких предположениях и схеме Base8 имеем

$$W = 25 \text{ ГГц} \times 4 \text{ волокна} \times 4 \text{ бит / Гц} \times 4 \text{ длины волны SWDM} = 1,6 \text{ Тбит / с}$$

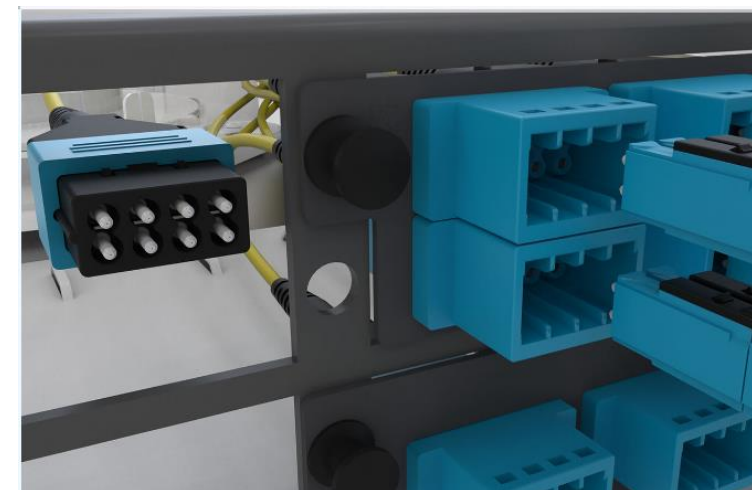
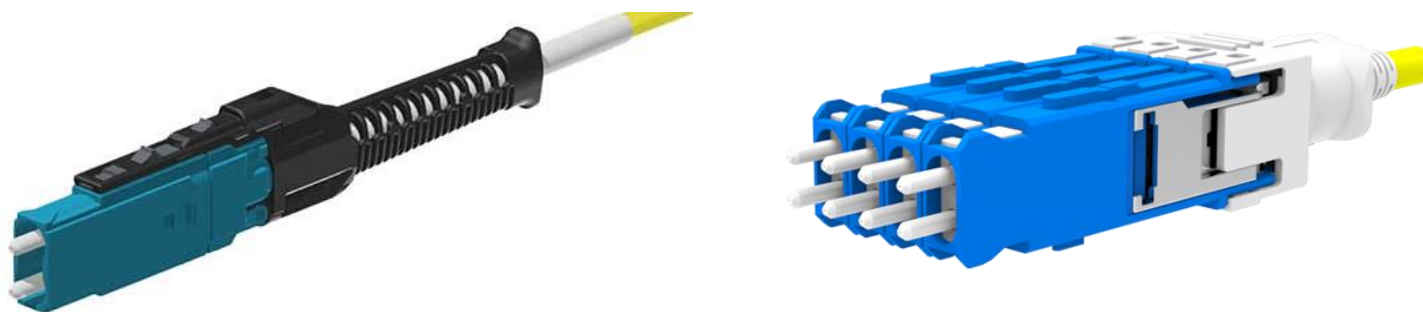
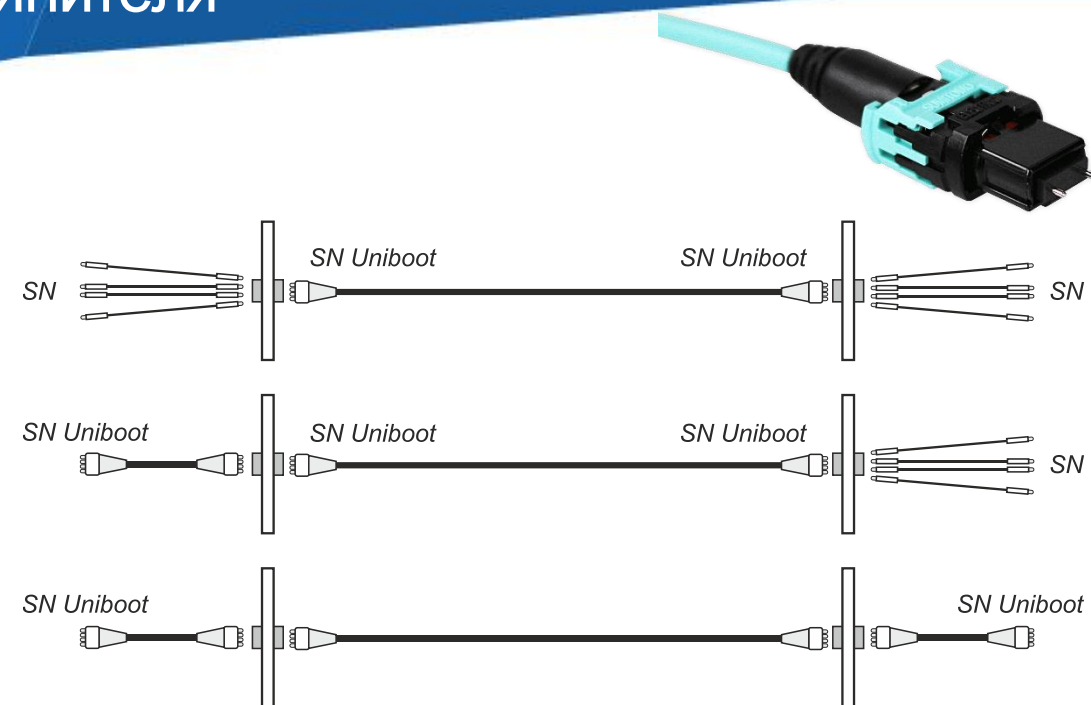


Новые типы группового оптического соединителя

Тракты оптической параллельной передачи согласно стандартам реализуются на MPO/MTP. Разъем имеет переделочную конструкцию и ряд недостатков, что вынудило искать ему замену. Новые изделия группы VSFF с вертикальным дизайном ориентированы на схему Base8 (поддерживают скорость до 1,6 Тбит/с) и эффективно решают проблему

- полярности формируемых трактов;
- агрегации каналов;
- построения отказоустойчивых структур;
- уменьшения потерь в тракте за счет снижения количества разъемов.

Представлены MDC (Mini Duplex Connector) от US Conec, SN (Senko Nano) от Senko и DPO от Unikit, Китай

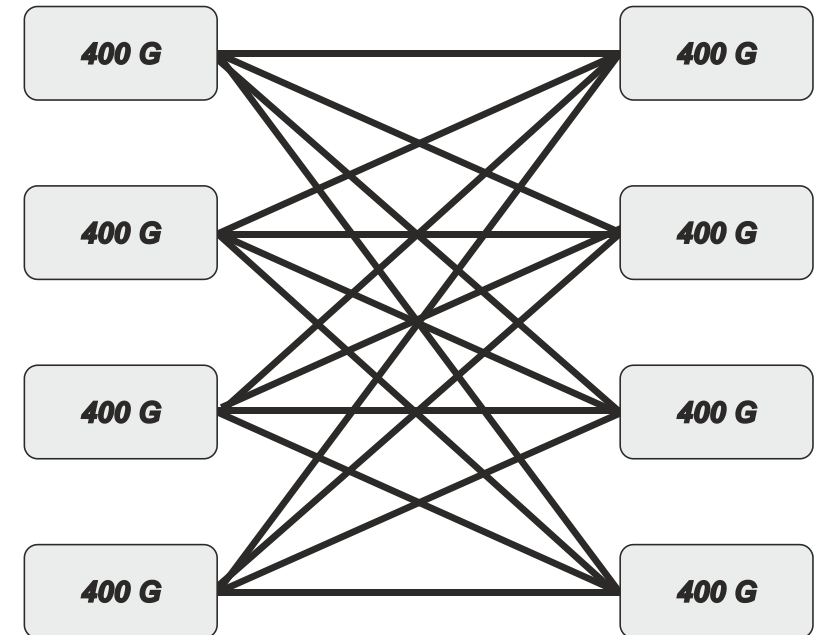
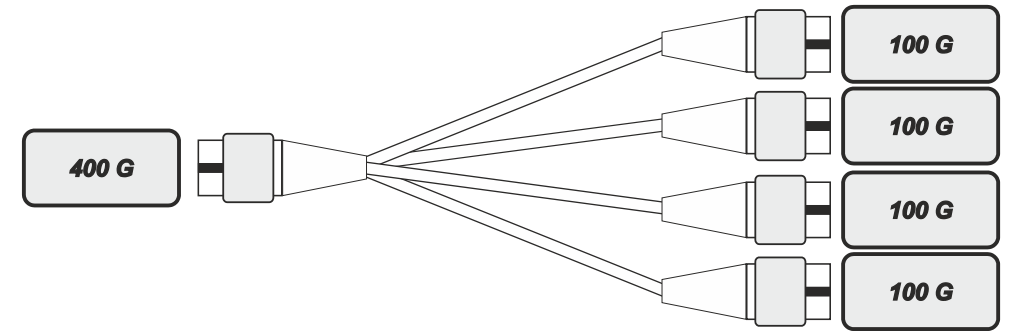


Эксплуатационные преимущества оптических соединителей НОВЫХ ТИПОВ

Еще одним преимуществом соединителей группы VSFF является существенное упрощение решения задачи обеспечения плавной миграции на более высокие скорости передачи. Для этого привлекается типовой механизм агрегации отдельных каналов группового сигнала Ethernet, который позволяет заменять аппаратуру только на одном из концов линии по схеме в правой части слайда.

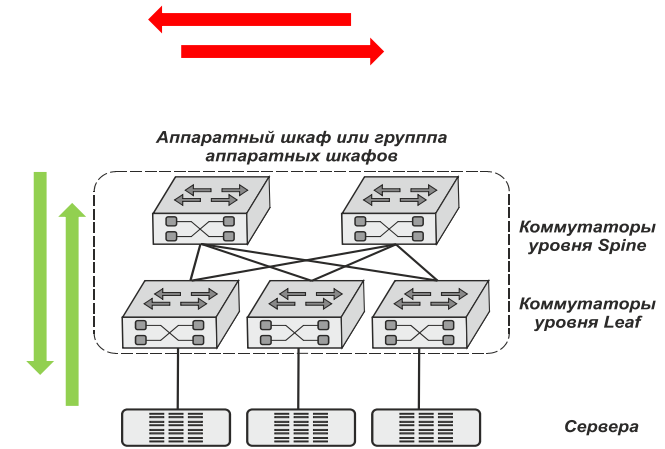
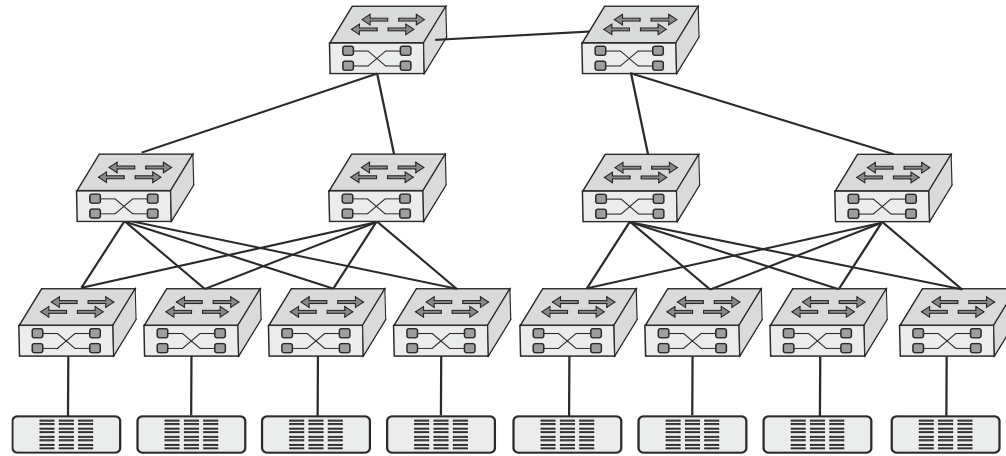
Агрегация каналов широко позволяет нарастить эксплуатационную надежность ЦОД. Для этого формируются структуры, аналогичные приведенным на эскизе справа. При отказе любого из субканалов данной структуры при условии сохранения работоспособности интерфейса связь между отдельными узлами структуры не теряется.

Данное свойство является прямым следствием фактического увеличения связности отдельных узлов при обращении к технике агрегации каналов.



Особенности архитектуры ЦОД по задержке

Обеспечение требуемой скорости и глубины обработки пользовательского запроса, т.е., в конечном счете, качества функционирования ЦОД, в значительной части случаев требует организации параллельных вычислений, для выполнения которых привлекается несколько физически различных серверов.



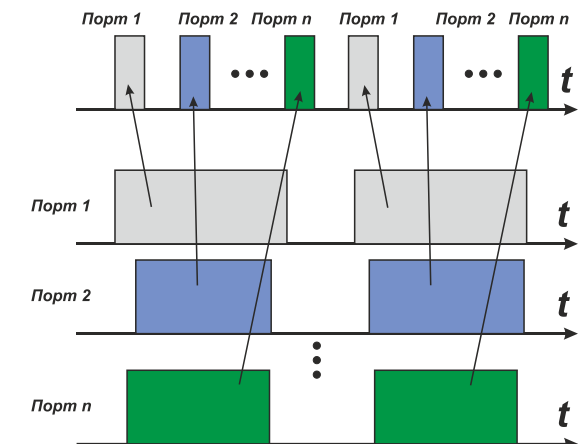
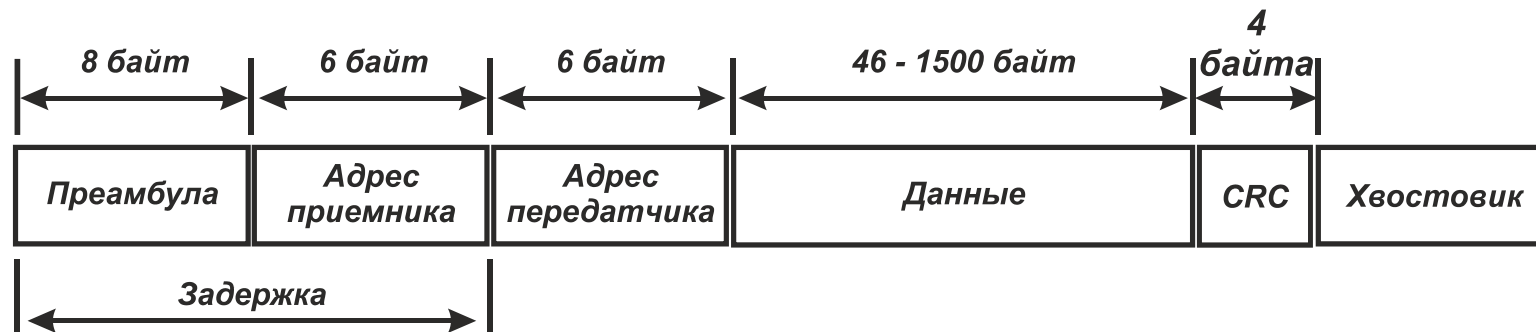
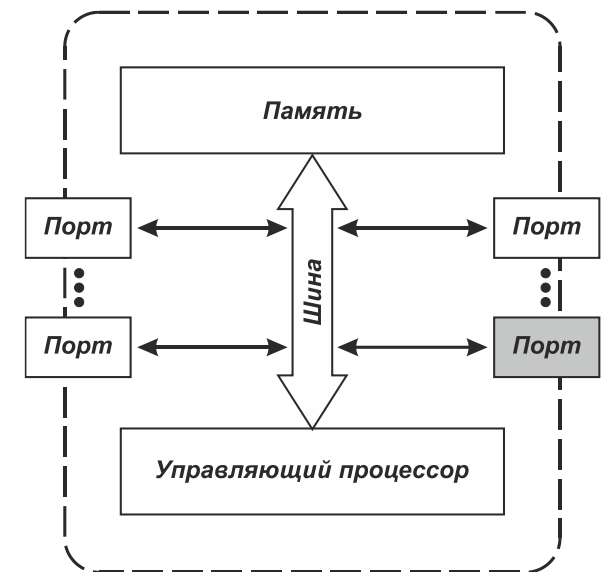
Это сопряжено с минимизацией задержки передачи сигнала от одного сервера к другому. Последняя складывается из физической задержки распространения сигнала в кабельных трактах и задержки в коммутаторах. Необходимость учета задержки в коммутаторах (подробнее о причинах – на следующем слайде) определяется тем, что ее типовая величина соизмерима с задержкой в оптической линии 100-метровой протяженности. Единственным средством значимого снижения задержки становится уменьшение количества коммутаторов в полном тракте передачи сигнала, что достигается переходом к 2-уровневой модели построения сети. Реализующие их структуры выделяются в отдельную группу spine – leaf, а их отличия от классической иллюстрирует эскиз в правой верхней части слайда.

Задержка сигнала в коммутаторах – 1 (2)

Коммутатор как сетевое устройство представляет собой многопортовый мост, а его упрощенная структурная схема изображена на эскизе в верхней правой части слайда. При работе использует цифровую схему организации информационного обмена и мультиплексирования сигналов отдельных каналов во времени, что

- требует предварительной синхронизации входных потоков;
- вызывает задержку по времени для принятия решения о передаче в данный конкретный момент “0” или “1”;
- вызывает необходимость во временном хранении информации в промежуточной памяти непосредственно перед формированием пакетов перед их передачей на соответствующий выходной порт.

Применение известных методов уменьшения задержки (например, коммутация в режиме “на лету”) не решает проблему радикально.

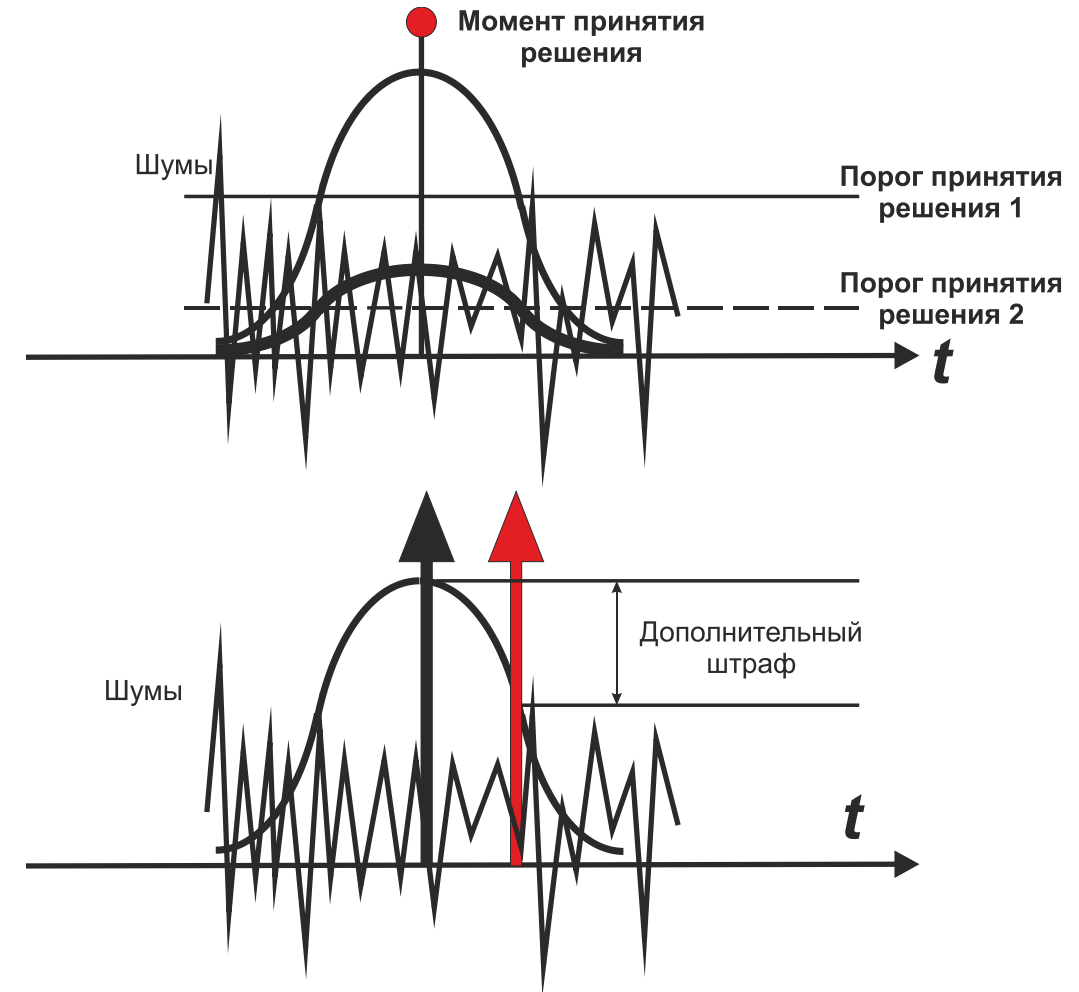


Задержка сигнала в коммутаторах – 2 (2)

Любой коммутатор всегда вносит задержку как минимум на половину тактового интервала передаваемого сигнала. Причина такого положения дел заключается в том, что решение о поступлении на вход приемника сигналов логического нуля или единицы принимается в момент максимально возможного мгновенного отношения сигнала к шуму на входе решающего устройства, которое в момент поступления строга просто сравнивает мгновенное значение сигнала к некоторым пороговым значениям.

Эскиз в правой части слайда в качественной форме поясняет, что наилучшие условия для приема возникают в центре тактового интервала, где сигнал обычно достигает своего максимума, тогда как шум в среднем сохраняет неизменное значение на всем тактовом интервале.

Соответственно, любое отклонение от центра может трактоваться как появление в тракте передачи дополнительных потерь, а в процесс передачи сигнала неизбежно вносится задержка на половину тактового интервала.

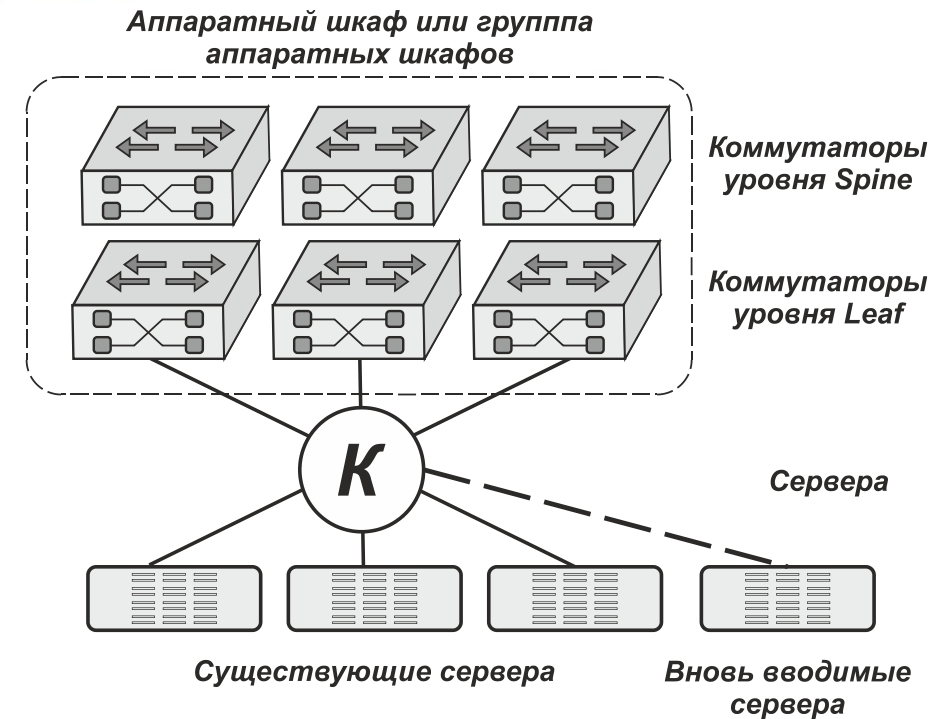


Архитектура Spine – Leaf – необходимость центрального кросса

Архитектура Spine – Leaf оказывает значимое влияние как на саму СКС, так и на построение коммутационного оборудования как ее составной части. Главные факторы такого влияния

- увеличенное количество линий, что определяется необходимостью обеспечения связи “каждый с каждым”;
- необходимости резервирования отдельных линий для наращивания общей эксплуатационной надежности ЦОД;
- сложности с добавлением новых линий при расширении ЦОД и введении новых серверов и/или коммутаторов в существующую структуру.

Сопутствующие задачи м.б. решены различными способами. Наиболее просто и экономично это достигается целенаправленным введением в состав СКС дополнительного выделенного центрального кросса, который обозначен на эскизе в верхней правой части слайда. Де-факто именно структуры Spine – Leaf оказывают наиболее мощное стимулирующее воздействие на необходимость разработки специализированных центральных кроссов. При этом степень такого влияния намного превышает то “давление”, которое оказывает в этой части на рынок естественный рост объектов ЦОД (класса “Большой” и выше по количеству стоек в соответствии с ранее введенной классификацией).

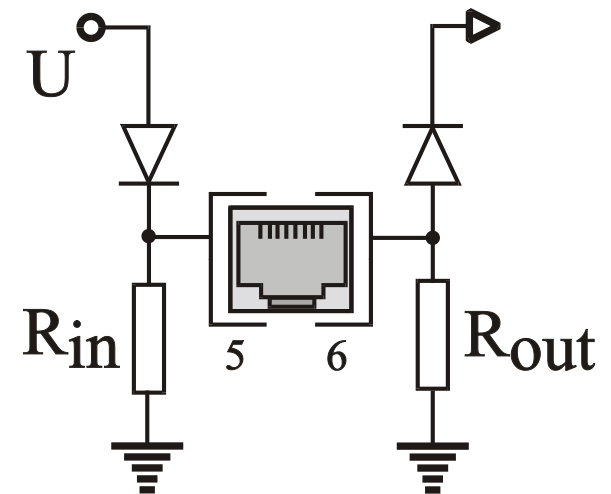
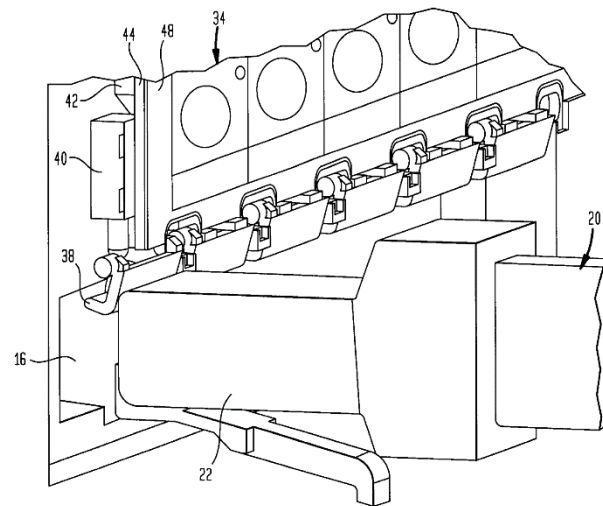
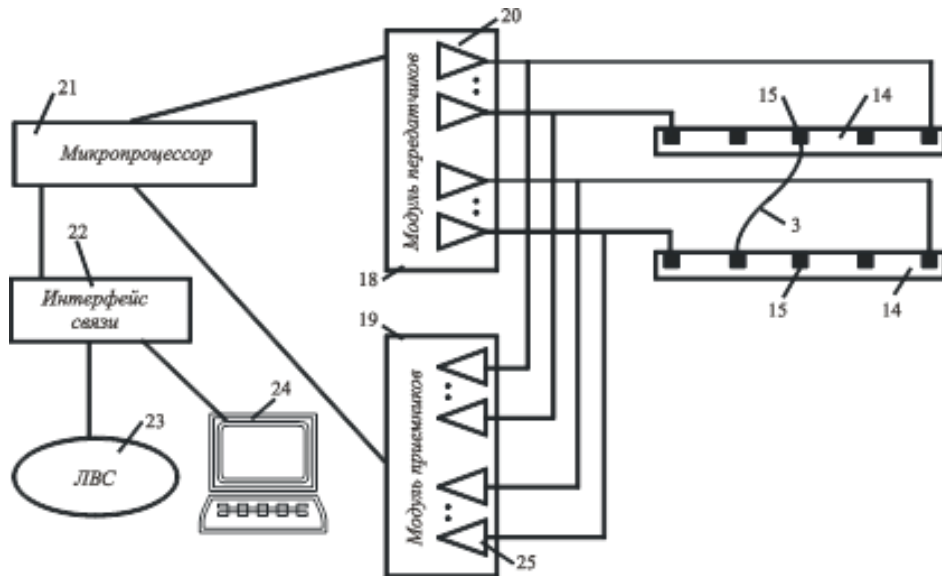


Системы интерактивного управления

Идея систем интерактивного управления состоит в частичной автоматизации процессов текущего администрирования СКС. Построены вокруг датчиков контроля подключения вилок коммутационных шнуров к портам панелей, светодиодов взаимодействия с системным администратором и специализированной БД на сервера.

В настоящее время техническое развитие этого направления фактически прекратилось из-за ограниченного функционала и неустойчивой работы канала связи контроллер – сервер.

Из-за статичного характера СКС в ЦОД данное оборудование малоперспективно.



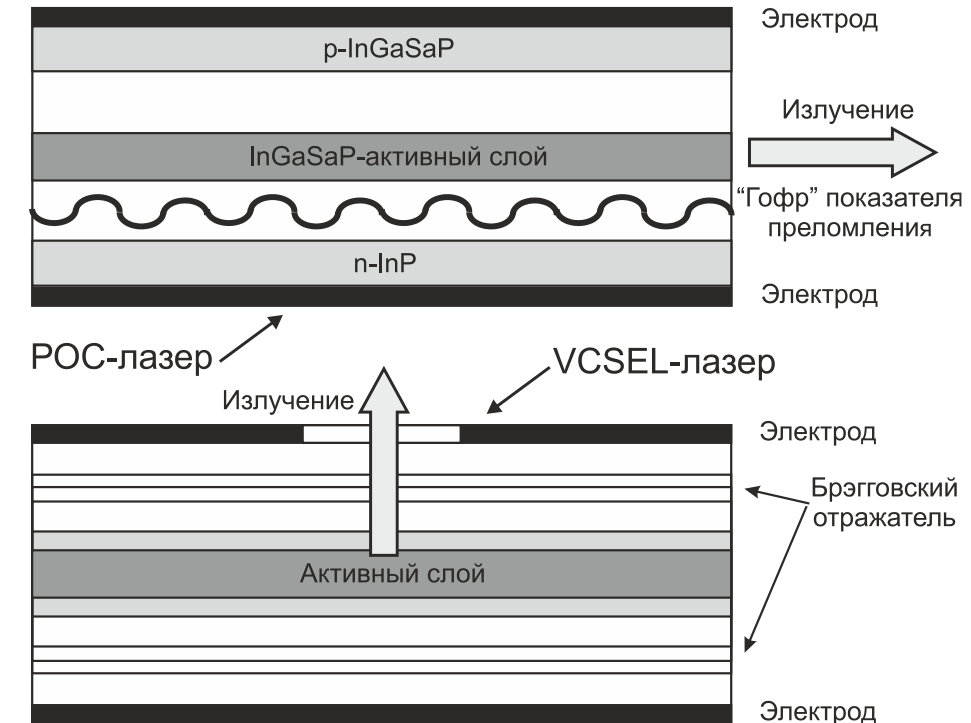
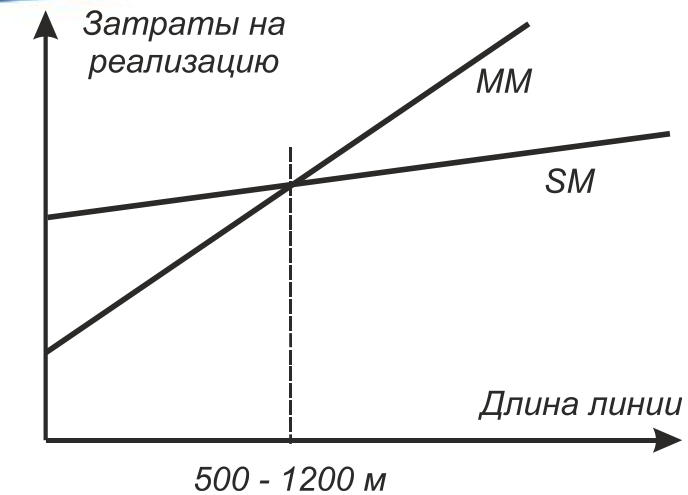
WW vs SM в оптической подсистеме

Применение единой FO элементной базы в СКС на сегодняшний день нецелесообразно: хорошие экономические показатели MM линий куплены ценой высоких дисперсионных искажений. Радикальное сокращение стоимости SM-линии невозможно по причине

- заметно более сложная структура FP- и POC-лазеров; необходимость применения более дорогих материалов на рабочих длинах волн 1310 и 1550 нм;
- сложности получения VCSEL-лазеров на длину волны 1310 нм.

Данная особенность определяет области применения SM и MM-линий: малые расстояния (до 150 – 200 м включительно, техника позволяет сделать до 400 м) – MM линии, при увеличенной протяженности (подсистема внешних магистралей, соединение отдельных машинных залов ЦОД) – SM решения.

MM СКС поддерживает скорости до 1,6 Тбит/с, известны предложения на скоростях > 800 Гбит/с в соотношении 2 : 2.



Заключение

1. ЦОДы являются основным “двигателем” в части скоростного направления технологических улучшений в СКС, в первую очередь в их оптической подсистеме с перспективой выхода в терабитные скорости передачи к концу текущего десятилетия.
2. Выполнение СКС на базе кабелей из виты пар сохранится только в небольших ЦОД.
3. Существующее многомодовое волокно по своим параметрам вполне удовлетворяет текущим и перспективным потребностям и острой необходимости в разработке новых типов волокна нет.
4. Основные изменения в СКС происходят на уровне коммутационного оборудования.
5. Переход на скорость 400 Гбит/с и выше целесообразно совместить с широким внедрением разъемов нового типа из группы VSFF. Наличие в этой области конкурирующих разработок должно положительно сказаться на ценах на элементную базу.
6. Основной схемой построения волоконно-оптических кабельных трактов в ЦОД сейчас, в ближайшей и среднесрочной перспективе является “Base8”

