

WHITE PAPER (#12)

02 2022

ПРОБЛЕМА ПОЛЯРНОСТИ МНОГОВОЛОКОННЫХ ТРАКТОВ



Eurolan 2002—2022

Проблема полярности многоволоконных трактов СКС машинного зала ЦОД и пути ее решения

Вычислительная техника в различных вариантах ее исполнения массово применяется во всех сферах современной жизни для решения широкого круга разнообразных задач. Вычислительной производительности и объема штатной «бортовой» памяти типового компьютера при достигнутом уровне техники весьма часто не хватает для качественной реализации многих функций, которые наиболее востребованы как в профессиональной сфере, так и в быту. По комплексу обеспечиваемых характеристик наилучшим средством решения данной проблемы считается объединение отдельных вычислительных устройств в общую сетевую структуру. Обращение к таковой потенциально открывает перспективы привлечения для решения конкретной задачи свободных в данный момент процессорных мощностей других устройств, в результате чего достигается значимый синергетический эффект.

Роль опорного объекта сетевых структур, реализующих распределенную схему решения вычислительной задачи, берет на себя центр обработки данных (ЦОД), который как технический объект определен отечественными ГОСТ Р 58811—2020 и ГОСТ Р 58812—2020. Строго говоря, ЦОД более правильно называть центром обработки и хранения данных, но соответствующая ему аббревиатура ЦХОД не прижилась на практике, не в последнюю очередь из-за сложной произносимости. Определенное значение имеет также несоответствие англоязычному термину Data Centre, который, справедливо ради, не является более узким и подразумевает хранение данных наряду с обработкой по умолчанию.

Качество функционирования ЦОД прямо зависит от времени отклика на пользовательский запрос, а также глубины обработки имеющейся и вновь поступающей информации. Как основное средство достижения требуемого результата с учетом распределенного характера доступных вычислительных мощностей используется распараллеливание обработки решаемой задачи между отдельными серверами. Дополнительно применяется хранение менее востребованной информации вне серверов, в оборудовании массовой памяти. Благодаря этому обеспечивается сохранность данных при обесточивании аппаратуры по тем или иным причинам, а также существенно сокращается объем дорогостоящей быстродействующей оперативной памяти, требуемой для реализации нормальной работоспособности серверов.

ЦОД как объект также представляет собой распределенную структуру, пространственно ограниченную пределами машинного зала. Необходимое условие ее эффективного функционирования — наличие быстродействующих внутриобъектовых каналов связи. Они обеспечивают взаимодействие отдельных узлов ИТ-инфраструктуры друг с другом в процессе обработки поступающего пользовательского запроса.

Параллельная волоконно-оптическая передача как типовое средство организации межмашинной связи в ЦОД

Аппаратная часть вычислительной сетевой структуры ЦОД представляет собой совокупность серверов, коммутаторов ЛВС, директоров и накопителей сети массовой памяти SAN. Каналы связи, объединяющие это активное оборудование между собой, представляют собой неотъемлемую составную часть вычислительного комплекса. Как таковые они не должны заметно влиять на эффективное быстродействие отдельно взятого устройства. Под этим параметром в данном случае понимается фактическая скорость его работы с учетом взаимодействия с иным вычислительным оборудованием.

Большая разрядность внутрисистемной шины сервера дает возможность обеспечивать высокую производительность при сравнительно низкой частоте синхросигнала на тактовом входе

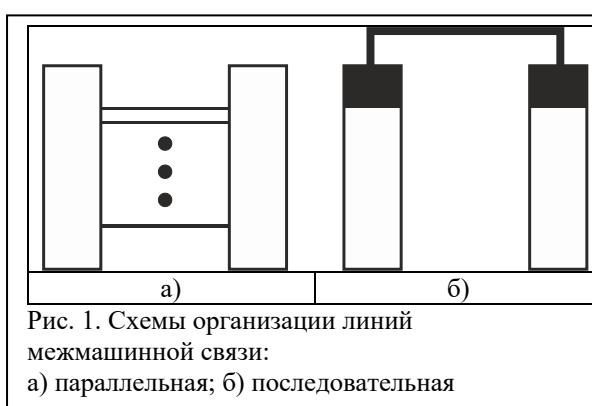


Рис. 1. Схемы организации линий межмашинной связи:

а) параллельная; б) последовательная

отдельных микросхем (порядка единиц ГГц). Одновременно для достижения требуемого уровня эффективного быстродействия обмен данными между отдельными северами машинного зала уже в настоящее время должен осуществляться с темпом как минимум 100 Гбит/с. В ближайшей перспективе следует ожидать типовых скоростей 200 и 400 Гбит/с, а в горизонте среднесрочного планирования к концу текущего десятилетия прогнозируется выход в терабитный диапазон.

Каналы связи с пропускной способностью 100 Гбит/с и выше при современном уровне техники могут быть реализованы только на принципах параллельной передачи, Рис. 1. Этот прием заключается в замене моноканала на несколько одинаковых функционирующих одновременно более простых и менее скоростных субканалов. Основная цель обращения к подобной конфигурации — стремление обойти известные ограничения по быстродействию современной микроэлектронной элементной базы.

Потенциально в качестве технического средства формирования отдельно взятого субканала при достигнутом на начало третьего десятилетия текущего века уровне техники могут быть использованы:

- оптическая несущая со своей длиной волны, совокупность которых вводится в общий световод (волновое, иначе спектральное, уплотнение, или мультиплексирование);
- выделенное волокно, в т. ч. в одном кабеле, по каждому из которых передается сигнал с одинаковой длиной волны (физическая параллельная передача, которая иногда называется пространственным мультиплексированием).

Названные приемы взаимно независимы. Из этого прямо вытекает возможность их произвольного комбинирования в случаях возможности существенного наращивания технико-экономической эффективности. Чаще всего их одновременное использование задействуется для увеличения пропускной способности одного физического канала связи. В качестве примера практического применения можно сослаться на бюджетные коротковолновые сетевые интерфейсы, обеспечивающие скорость передачи 100 Гбит/с и выше.

Необходимость физического (пространственного) мультиплексирования

Параллельная передача на принципах спектрального мультиплексирования (в первую очередь CWDM и DWDM) была хорошо отработана еще в начале текущего столетия при создании аппаратуры операторского класса, ориентированной на эксплуатацию в сетях связи общего пользования. Прямое заимствование применяемых там решений для переноса на область ЦОД технических препятствий не имеет, допускается некоторыми спецификациями альянсов производителей на уровне соглашений MSA, однако на практике встречается крайне редко. Причина — отсутствие преимуществ с функциональной точки зрения в сочетании с экономической нецелесообразностью, которая применительно к ЛВС и сетям SAN определяется:

- высокой стоимостью оптических мультиплексоров/демультиплексоров для объединения/разъединения оптических несущих на передающем/приемном конце линии;
- ничтожно малой по операторским меркам средней длиной линии связи информационной инфраструктуры машинного зала ЦОД (порядка 30 м согласно накопленной статистике).

Поэтому далее сосредоточим внимание на анализе только тех линий физического уровня информационной инфраструктуры машинного зала ЦОД, в которых используется физическая параллельная передача по нескольким волокнам.

Истоки возникновения проблемы полярности в параллельных оптических трактах

Приемник сетевого интерфейса в обязательном порядке должен физически «видеть» передатчик противоположного конца. Таким образом, вне зависимости от схемы формирования субканала его оптические передатчики и приемники должны быть подключены к разным концам одного волокна. Перечень процедур, способствующих получению требуемой конфигурации формируемого тракта, обозначают обобщающим понятием «обеспечение полярности».

При разработке соответствующих мероприятий и технических решений дополнительно выдвигается естественное пожелание однозначности достижения правильной конфигурации и автоматического поддержания полярности при формировании трактов в процессе текущей

эксплуатации. Свойство «однозначность» достигается целенаправленным выбором конструкции отдельных компонентов, из которых собирается тракт передачи. Для этого преимущественно применяются:

- цветовая кодировка компонентов разъемного соединителя (принцип «цвет к цвету»);
- механическая блокировка неверного подключения коммутационного шнура к розеткам сетевых интерфейсов и стационарной линии СКС уже в момент формирования линии.

Возможно также внедрение систем интерактивного управления, в которых действия оператора поддерживаются светодиодными индикаторами. Высшим уровнем автоматизации процесса формирования и изменения конфигурации тракта считается обращение к роботизированным кроссам.

В двухволоконных трактах полярность легко обеспечивается простым скрещиванием волокон в кабеле стационарной линии и коммутационных шнурков. Необходимая ориентация вилок задается их несимметричной в поперечном сечении формой. Дуплексную вилку разъема LC, который определен стандартами как единственно допустимый для использования в двухволоконных трактах современных СКС, можно подключить к розетке только в одном положении. Это определяется применением жесткой фиксирующей обоймы и установкой внешней рычажной защелки на одной из граней квадратного в поперечном сечении корпуса.

Причина резкого усложнения проблемы поддержания полярности многоволоконных трактов физической параллельной передачи стала прямым следствием стремления к

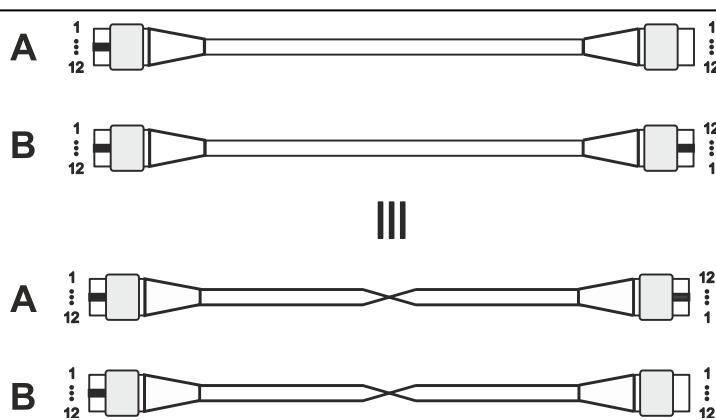


Рис. 2. Основные варианты реализации транковых кабелей по полярности: А вверху и В снизу верхней группы и их варианты с реверсированием ленты волокон (нижняя группа)

скорейшему завершению работ по их стандартизации. Для этого в нормативную часть соответствующих документов было введено положение о применении в их составе неплохо зарекомендовавших себя и серийно производимых групповых разъемов MPO/MTP. Армирующий наконечник МТ этих элементов задает рядную линейную схему раскладки световодов (до шести рядов, реально — один или два), а ключевой выступ корпуса вилки, взаимодействующий с соответствующим пазом розетки, устранил неопределенность подключения по ориентации. В результате стационарная линия неизбежно становится несимметричной. Под этим понимается изменение на ее втором конце на противоположную либо нумерации волокон, либо ориентации ключа.

Действующие стандарты допускают применение двух вариантов предоконцованных кабельных изделий, отличающихся ориентацией ключевых выступов вилок MPO/MTP и обозначаемых как А и В. К компонентам типа А относятся те из них, у которых ключевые выступы находятся на разных сторонах вилки, типа В — на одной. Предпочтительность того или иного типа не установлена, что только усиливает неопределенность. Механическая блокировка некорректного подключения шнуровых изделий к стационарной линии за счет «гендерности» вилок (наличия центрирующих штырьков или ответных углублений) не в состоянии решить проблему полностью.

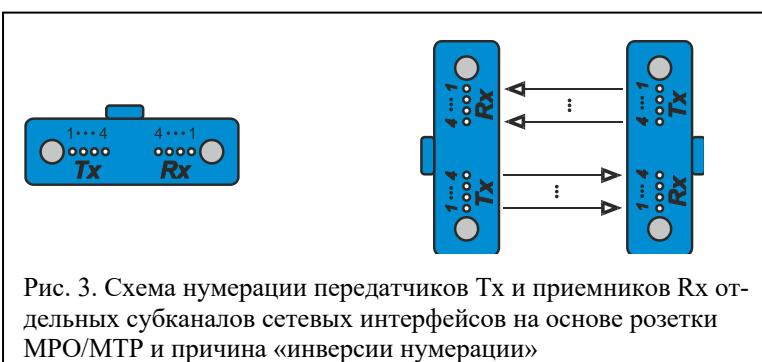


Рис. 3. Схема нумерации передатчиков Tx и приемников Rx отдельных субканалов сетевых интерфейсов на основе розетки MPO/MTP и причина «инверсии нумерации»

Действующие стандарты допускают применение двух вариантов предоконцованных кабельных изделий, отличающихся ориентацией ключевых выступов вилок MPO/MTP и обозначаемых как А и В. К компонентам типа А относятся те из них, у которых ключевые выступы находятся на разных сторонах вилки, типа В — на одной. Предпочтительность того или иного типа не установлена, что только усиливает неопределенность. Механическая блокировка некорректного подключения шнуровых изделий к стационарной линии за счет «гендерности» вилок (наличия центрирующих штырьков или ответных углублений) не в состоянии решить проблему полностью.

В графической форме положения о принципиальной физической несимметричности стандартной структурированной проводки машинного зала ЦОД иллюстрирует Рис. 2.

Дополнительным усложняющим фактором становится применение в сетевых интерфейсах «естественной» нумерации передатчиков отдельных субканалов слева направо, что вынуждает менять на обратную нумерацию приемников, Рис. 3.

Отдельно укажем на две практически важные детали:

- «симметризация» конфигурации стационарной линии по ориентации ключей разворотом на 180° эквивалентна замене изделия типа А на В или обратно, т. е. не решает проблемы;
- терминология А и В распространяется также на розетки с привлечением в качестве признака отнесения взаимного расположения ключевых вырезов, что дополнительно указано на рис. 4–7.

Особенности построения кабельной системы

При формировании стационарных линий СКС машинного зала ЦОД используется исключительно претерминированная техника заводского изготовления. Такой подход в практике построения физического уровня информационной инфраструктуры определяется:

- чрезвычайно жесткими требованиями в отношении вносимых потерь и обратных отражений;
- сложностями полевой установки на кабель вилок групповых разъемных соединителей вне зависимости от используемой для этого технологии;
- необходимостью высокой скорости изменения конфигурации линий в процессе штатной эксплуатации ЦОД из-за особенностей применяемой на объекте системы воздушного охлаждения.

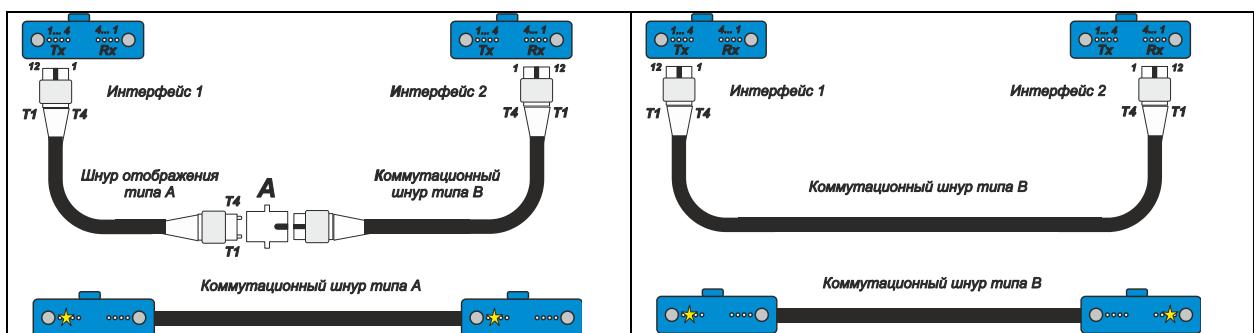


Рис. 4. Прямое соединение двух сетевых интерфейсов шнурами типов А (слева) и В (справа)

Стандарты СКС офисных зданий допускают параллельную передачу в волоконно-оптической подсистеме, но на практике она встречается буквально в единичных случаях. В отличие от этого информационная кабельная система машинного зала ЦОД должна одинаково эффективно поддерживать как дуплексную, так и физически параллельную передачу на протяжении всего периода эксплуатации. Переход между дуплексным и многоволоконным вариантами построения трактов должен быть максимально простым и выполняться силами персонала объекта.

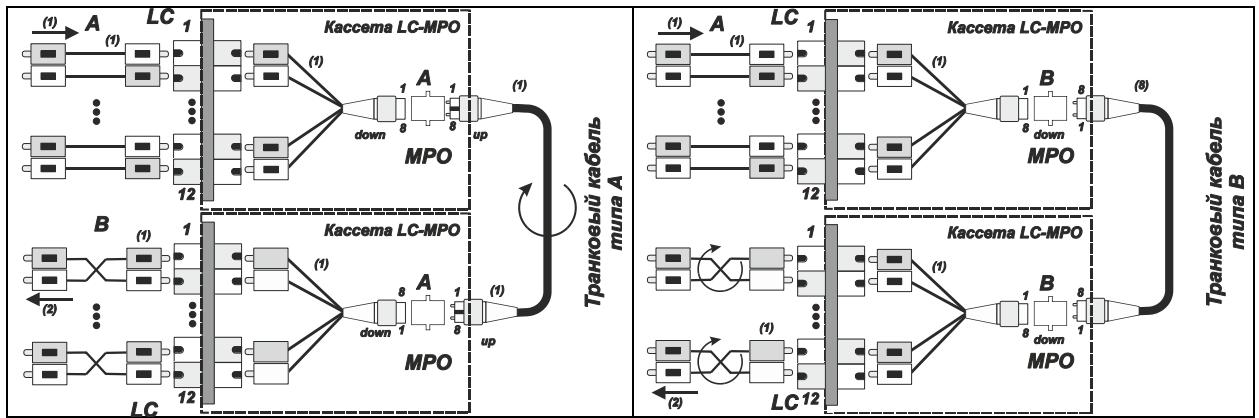


Рис. 5. Поддержка дуплексной передачи при реализации стационарной линии на транковом кабеле типа А (слева) и В (справа)

Необходимая эксплуатационная гибкость кабельной системы ЦОД достигается обращением к модульно-кассетной схеме построения стационарных линий. Это позволяет по мере перехода на следующую ступень скоростной иерархии менять конфигурацию линий заменой кассет и, возможно, применением коммутационных шнуров иного типа. Конструктивное исполнение шнуров и кассет целенаправленно подбирается таким образом, чтобы в принципе не требовалась крайне нежелательная перекладка линейных транковых кабелей.

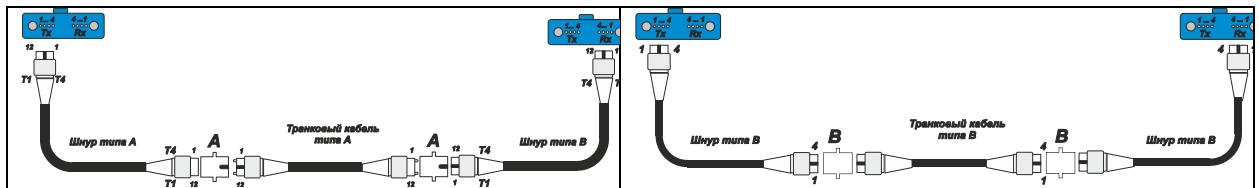


Рис. 6. Поддержка параллельной передачи при реализации стационарной линии на транковом кабеле типа А (слева) и В (справа)

Информационная кабельная система ЦОД и используемые для ее построения компоненты должны обеспечивать:

- прямое соединение интерфейсов активного сетевого оборудования;
- поддержку как дуплексного, так и многоволоконного вариантов построения трактов;
- переход от дуплексной к многоволоконной схеме и обратно в процессе эксплуатации без перекладки транковых кабелей стационарной линии.

Схемы построения кабельных трактов

Основные схемы трактов, реализованных с применением претерминированных транковых изделий с вилками разъема MTP/MPO, необходимость в построении которых возникает в процессе текущей эксплуатации ЦОД, изображены на рис. 4–6. В примерах рассматривается популярная схема передачи Base 8.

Сравнение методов А и В по элементной базе, которая требуется для реализации трактов, приведено в Таблица 1.

Из Рис. 4 видно, что прямое соединение двух интерфейсов шнуром типа А невозможно. Кроме того, из Рис. 5 вытекает, что дуплексная передача по параллельным трактам, несмотря на определенную симметрию стационарной линии, возможна только при условии применения различных

Таблица 1. Разновидности шнуров, розеток и трактовых кабелей, используемых в различных методах обеспечения полярности

Метод	Тип тракта	Шнур 1	Розетка 1	Транковый кабель	Розетка 2	Шнур 2
A	Параллельный	A	A	A	A	B
	Дуплексный	A	A	A*	A	A*
B	Параллельный	B	B	B	B	B
	Дуплексный	A	B	B	B	A*
C	Параллельный	-	-	C	-	-
	Дуплексный	A	A	C	A	A

* С разворотом на 180°.

типов коммутационных шнуров на разных концах линии, что крайне неудобно в процессе практической эксплуатации структурированной проводки.

Транковые кабели типа С

Базовыми стандартами СКС для ЦОД предусматривается также возможность применения кабельных изделий типа С. Их особенность — поддержка только дуплексной схемы передачи сигналов. Структурная схема линии на основе транкового кабеля типа С изображена на Рис. 7. Главный недостаток такой техники определяется именно внутренним скрещиванием волокон одной пары. Результатом такой конфигурации становится существенное ограничение функциональных возможностей линии, которая способна поддерживать скорости 100 Гбит/с и более только с привлечением дорогостоящей технологии спектрального мультиплексирования.

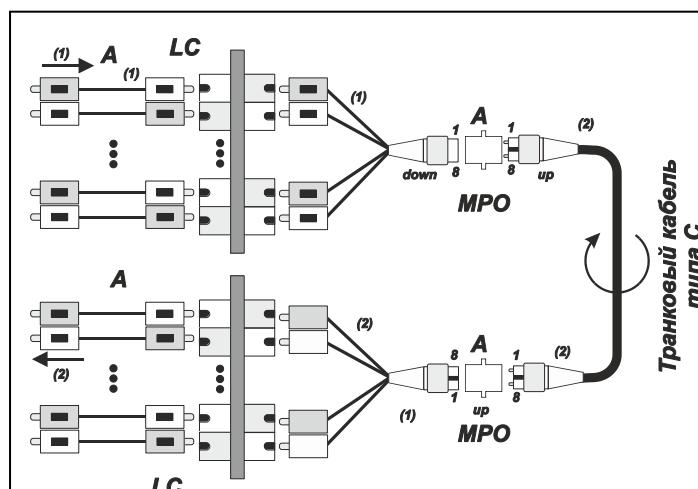


Рис. 7. Схема построения стационарной линии СКС машинного зала ЦОД на транковом кабеле типа С и дуплексные тракты на ее основе

Вполне допустимо, что техника типа С была введена в стандарты из соображений возможности ее использования в офисных СКС, где она не получила сколько-нибудь заметной популярности. Основная причина заключается именно в требовании претерминированности. Как правило, транковые кабели являются для дистрибуторов заказной позицией, а производитель придерживается стратегии изготовления кабельных изделий фиксированного ряда длин.

Последнее весьма нежелательно для проектов офисных СКС, так как требуется обеспечивать запасы по длине, что обуславливает переплату, а также требует выделять места для хранения избытка длины.

Универсальная полярность

Ранее отмечалось, что в составе кабельного тракта структурированной проводки всегда присутствуют адаптеры. Одна из функций этого элемента — изменение раскладки отдельных цепей передачи. В частности, эту процедуру реализуют довольно популярные Y-адаптеры, применяемые в электропроводных трактах для подключения к розеткам СКС двух телефонов.

Применительно к кабельной системе ЦОД адаптеры потенциально могут быть задействованы для получения полностью идентичного интерфейса на разных концах стационарной линии.



Перспективность обращения к этим компонентам обусловлена тем, что стандартные кабельные тракты даже в варианте В так или иначе демонстрируют «остаточную несимметрию». Структуры, в которых за счет применения адаптера отсутствует этот недостаток, обозначаются как линии с универсальной полярностью.

Адаптер, как известно, может иметь корпусное или шнуровое исполнение. При обращении к более удобному в текущей эксплуатации корпусному адаптеру, который выполнен в виде обычной кассеты, физическая несимметричность линии преобразуется в структурную: на концах линии устанавливаются разнотипные кассеты. Таким образом, неизбежной платой за достижение универсальной полярности становится усложнение проектирования и комплектации проекта.

Отдельно укажем, что схема внутренней разводки кассет, необходимой для достижения универсальной полярности, может быть выполнена несколькими различными способами. Один из возможных вариантов реализации раскладки разветвительной кассеты показан на Рис. 8.

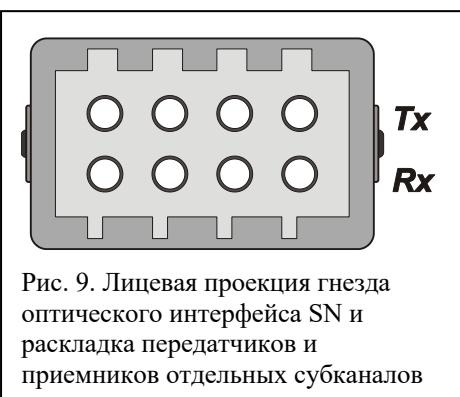
Перспективные типы разъемов и полярность

Указанные выше недостатки разъемов MPO/MTP, связанные со сложностями обеспечения полярности, радикально устранены в разработках соединителей следующего поколения. Наиболее известны изделия SN японской компании Senko и MDC американской корпорации US Conec.

В качестве главного средства достижения поставленной цели разработчики выбрали разборную многоволоконную вилку, конфигурация которой изменяется под решение конкретной задачи непосредственно на объекте без использования инструментов. Групповая вилка формируется в виде сборки из четырех дуплексных элементов, устанавливаемых в общую крепежную обойму. Для реализации этой функции на фиксирующей защелке дуплексной вилки тандемом к основному выполнен дополнительный зуб-фиксатор, входящий в зацепление с соответствующим пазом крепежной обоймы.

При необходимости полярность самой дуплексной вилки допустимо менять за счет симметричного исполнения ее корпуса и возможности переноса съемной фиксирующей защелки на противоположную сторону.

Устранение несимметричности самой стационарной линии обеспечено путем модернизации оптического интерфейса трансивера, которому придана двухрядная форма, предполагающая вертикальную ориентацию дуплексной вилки. Это позволяет устраниТЬ характерный для MPO/MTP пространственный разрыв приемника и передатчика одного канала, Рис. 9. Наибольшие преимущества такое исполнение интерфейса дает в случае применения в линейной части транкового кабеля типа С. Схематично это показано на Рис. 10. В данной конфигурации фактически реализуется известное из дуплексной техники «правило трех скрещиваний», соблюдение которого гарантирует автоматическое соблюдение полярности.



Внедрение коммутационной техники нового поколения в действующие ЦОД, линейная

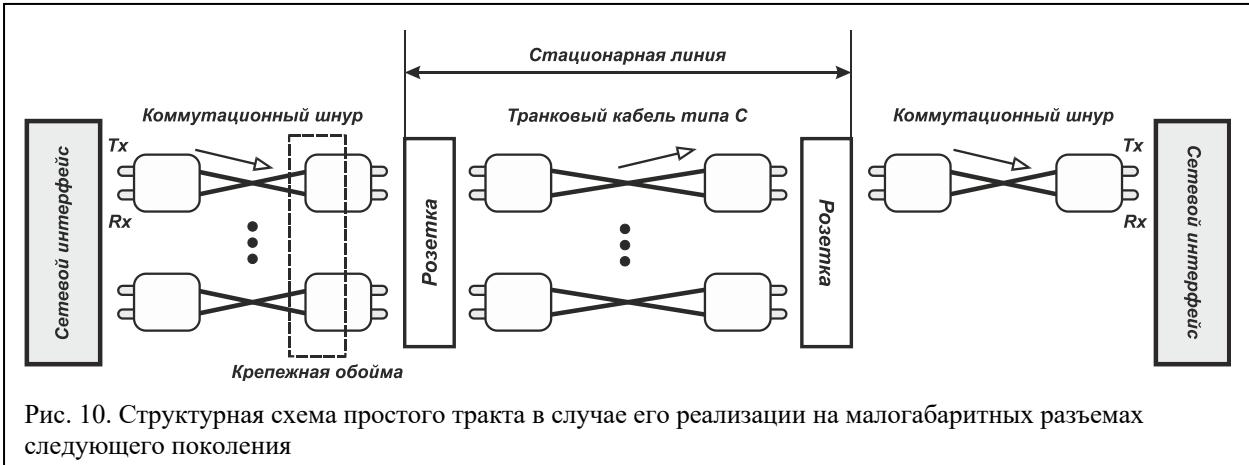


Рис. 10. Структурная схема простого тракта в случае его реализации на малогабаритных разъемах следующего поколения

часть СКС которых выполнена на транковых кабелях, оконченных вилками групповых разъемов МРО/МТР, невозможно без применения адаптеров хотя бы из соображений несоответствия форм-фактора вилок и розеток. Адаптер потенциально реализуется в корпусном или шнуром исполнении. Эксплуатационно более удобное, хотя и менее предпочтительное с точки зрения вносимых потерь и обратных отражений корпусное изделие фактически преобразует раскладку волокон стационарной линии А или В в конфигурацию типа С.

Заключение

Изложенный материал позволяет констатировать следующее.

- На физическом уровне информационной инфраструктуры современного ЦОД объективно существует проблема поддержания полярности трактов физической параллельной передачи, которая может быть решена в рамках действующих нормативных документов.
- Построение параллельных трактов на стандартных групповых разъемах МТР/МРО с хорошими экономическими показателями неизбежно приводит к несимметричной структуре, которая усложняет текущую эксплуатацию.
- Наиболее дружественной к пользователю является конфигурация типа В, хотя и она не обеспечивает свойство полной симметрии.
- При формировании спецификации линий параллельной передачи вновь создаваемой СКС, реализуемой на стандартной технике, целесообразно провести дополнительный контроль ее корректности, обратившись к службе технической поддержки поставщика или производителя СКС.
- Использование корпусных адаптеров «универсальной полярности» позволяет применять во всем ЦОД однотипные шнуры и тем самым заметно упрощает текущую эксплуатацию дуплексных трактов ценой усложнения проектирования и комплектации системы.
- Радикальное решение проблемы полярности возможно только в случае перехода на сверхмалогабаритные разъемы новых типов. В случае нового строительства в проект следует сразу же закладывать транковые кабели типа С.
- Сильной стороной использования техники на основе сверхмалогабаритных разъемов следующего поколения становится радикальное упрощение структуры линии и, соответственно, значительное снижение вероятности проектной ошибки. Одновременно при формировании новой линии или в процессе изменения конфигурации уже существующей отпадает необходимость в дополнительном контроле корректности типа применяемого шнура.