

Есть ли перспективы у «медных» СКС в ЦОД?

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

12 сентября 2023 года

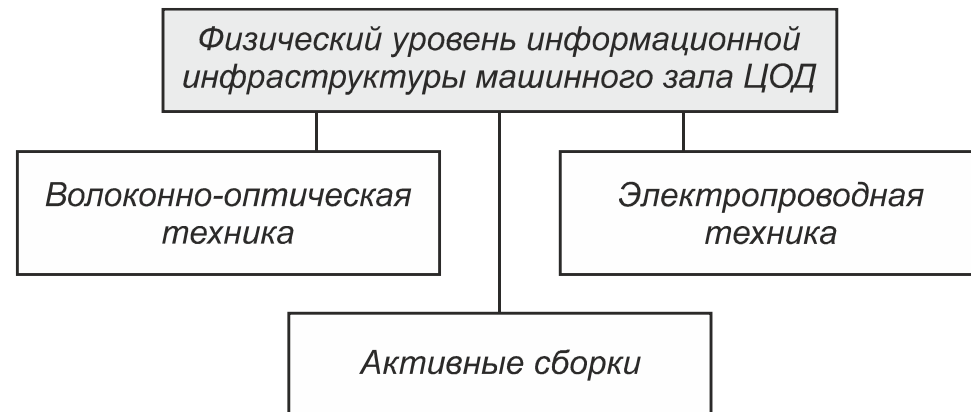
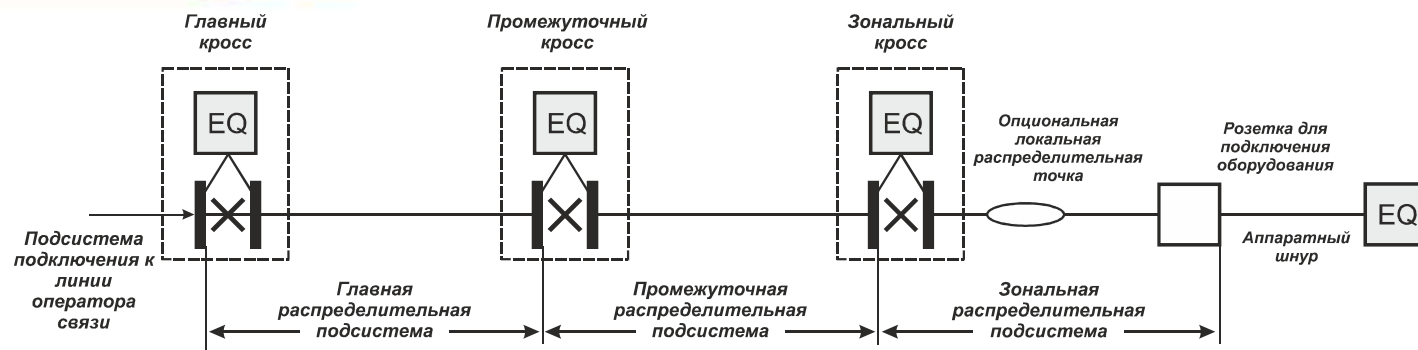
Проблема выбора типа среды передачи для СКС машинного зала ЦОД



Физический уровень информационной инфраструктуры машинного зала – как ключевого архитектурного компонента ЦОД - в абсолютном большинстве случаев реализуется в виде структурированной кабельной системы. При этом профильные стандарты (ISO/IEC-11801-5:2017 и ANSI/TIA-942B) при ее создании допускают на равных правах применение как волоконно-оптической, так и медножильной (витопарной) элементной базы. В качестве аналога трактов прямого соединения на практике применяют более удобные активные кабельные сборки.

Стандарты СКС машинного зала ЦОД очень хорошо гармонизированы со стандартом-прототипом для СКС офисного здания, требуя, в частности, обеспечения физической протяженности кабельного тракта 100 м

на уровне распределительной кабельной подсистемы (аналог горизонтальной подсистемы классической СКС).



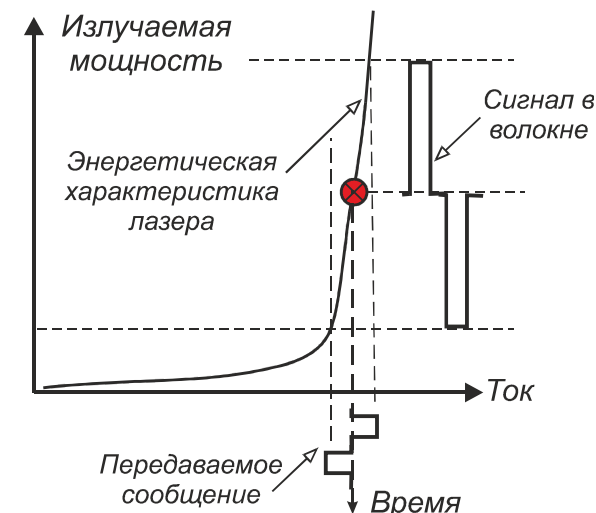
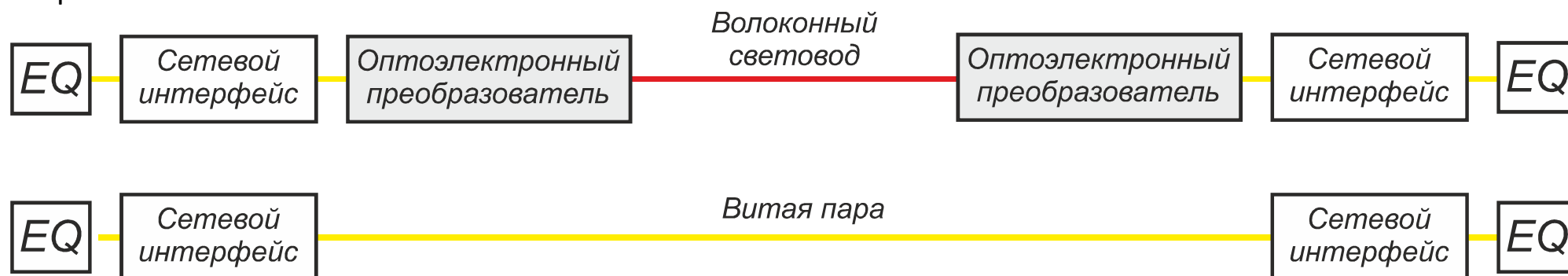
Преимущества медножильных кабельных трактов



Информационная кабельная система машинного зала ЦОД в реалиях сегодняшнего дня реализуется на волоконно-оптической элементной базе. Тем не менее, стандарты предусматривают возможность применения электропроводной техники. Обращение к ней дает следующие значимые для практики преимущества:

- несколько меньшая задержка, которая определяется отсутствием пары дополнительных преобразований сигнала в начале и в конце линии (эскиз снизу); отдельно отметим, что немного большая скорость распространения сигнала в волокне не сказывается из-за небольшой протяженности тракта;
- меньшая потребляемая мощность из-за нулевого среднего тока в линии (эскиз справа), что дает выигрыш по мощности до 1 кВт со стойки;
- меньшая эксплуатационная “капризность”.

В этой связи представляет практический интерес вопрос о возможности построения СКС машинного зала на витопарной элементной базе.



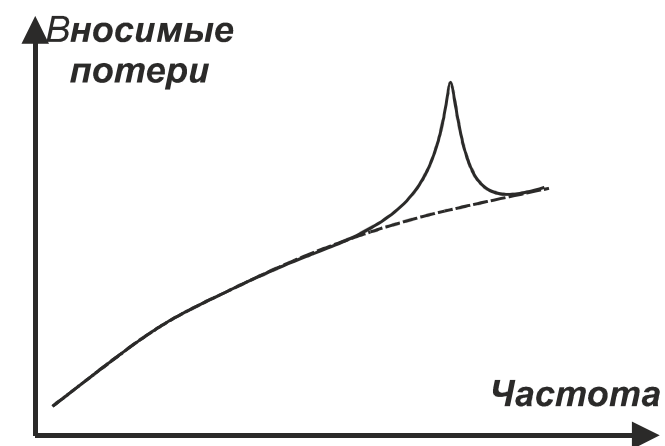
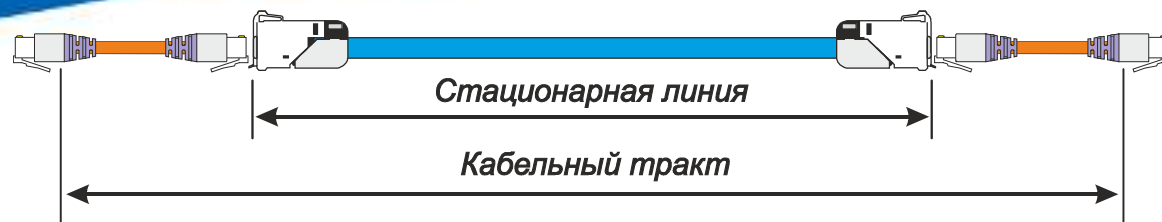
Модель тракта на базе кабелей из витых пар



В процессе дальнейшего анализа используется 2-коннекторная модель кабельного тракта, типичная для техники категории 8.

Принимаются также следующие ограничения

- во всем рабочем частотном диапазоне отсутствует явление абсорбции, резко меняющее частотную характеристику затухания;
- “помеховая” составляющая отношения сигнала к шуму содержит три составляющие:
 - помеху ближнего конца;
 - помеху дальнего конца;
 - помеху обратных отражений;
- из-за относительно небольшой протяженности шнуров электрическая длина линии условно принимается равной физической;
- рабочие частоты кабельного тракта таковы (до примерно 10 ГГц), что витая пара не переходит в излучательный режим, при котором резко начинают расти потери;
- с учетом области применения для построения кабельного тракта привлекается серийная элементная база лучших мировых производителей категории 8.2;
- межкабельная переходная помеха отсутствует (техника категории 8.2);
- учитывается параллельная передача и 40-процентный эксплуатационный запас.



Характеристики реальных кабелей категории 8.2



Характеристики серийных кабелей категории 8.2 и нормы стандарта ISO/IEC 11801-5:2017 приведены в таблице и демонстрируют возможность значимого наращивания тех ключевых параметров, которые определяют качество передачи высокоскоростной информации по кабельному тракту.

	<i>PSNEXT, 100 MHz</i>	<i>PSNEXT, 1000 MHz</i>	<i>PSACRF, 100 MHz</i>	<i>PSACRF, 1000 MHz</i>	<i>RL, 100 MHz</i>	<i>RL, 1000 MHz</i>	<i>IL, 100 MHz</i>	<i>IL, 1000 MHz</i>
<i>Cat 8.2</i>	73	58	51	-4	20.1	15,1	17,5	62
<i>Vendor1</i>	107	89	90	40	36,2	22.2	14.4	49
<i>Vendor2</i>	100	87	84	33	33	23	16,2	54
<i>Vendor3</i>	75	60,4	70,3	50,3	22,2	15,2	17,5	61,9
<i>Vendor4</i>	97	86	87	62	27	20	16,1	55,8

Примечание. При составлении таблицы использовались данные ведущих в первую очередь европейских производящих компаний: Draka, Leoni-Kerpen, Nexans (Aginode), Europlan, Datwyler.

Из данных таблицы следует, что запасы по параметрам влияния могут достигать 30 дБ и более.

Суммирование помех

Общая мощность помехи, действующей на решающее устройство приемника, значимо зависит от закона суммирования отдельных помеховых составляющих. С учетом статистической независимости отдельных источников помехи (см. таблицу) можно принять их суммирование по мощности

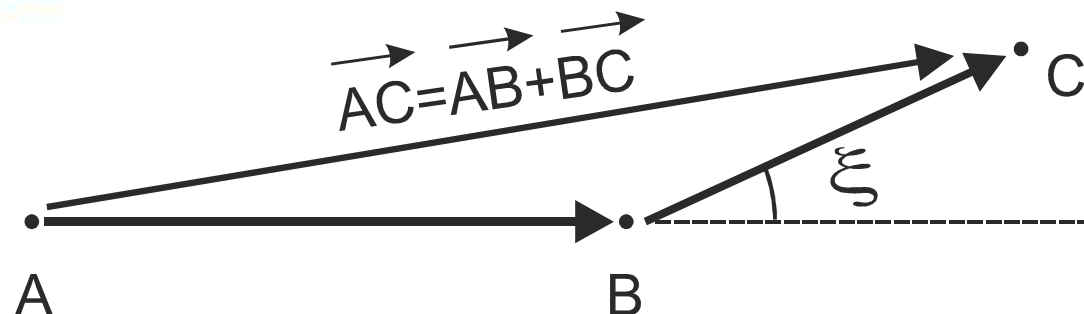
$$|\overline{[A,C]}| = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^\pi [(a+b \cdot \cos \xi)^2 + (b \cdot \sin \xi)^2] d\xi} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Величина PSFEXT восстанавливается следующим образом

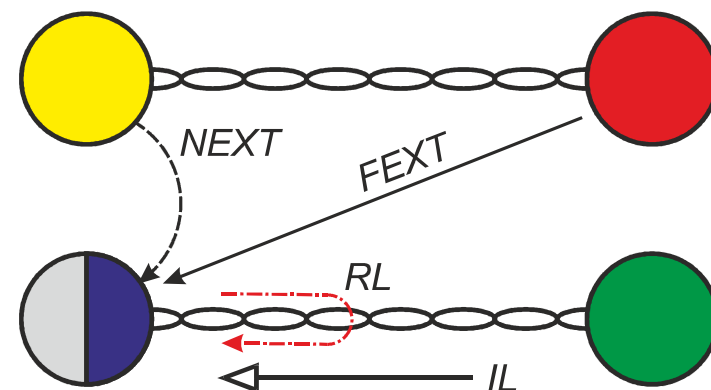
$$PSFEXT(L, F) = PSACRF(F, L) + IL(f, L)$$

В результате приходим к следующему выражению

$$GNX(f, L) = -20 \lg \left(\sqrt{\left(10^{\frac{PSNEXT(f, L)}{-20}} \right)^2 + \left(10^{\frac{PSFEXT(f, L)}{-20}} \right)^2 + \left(10^{\frac{RL(f, L)}{-20}} \right)^2} \right) dB.$$



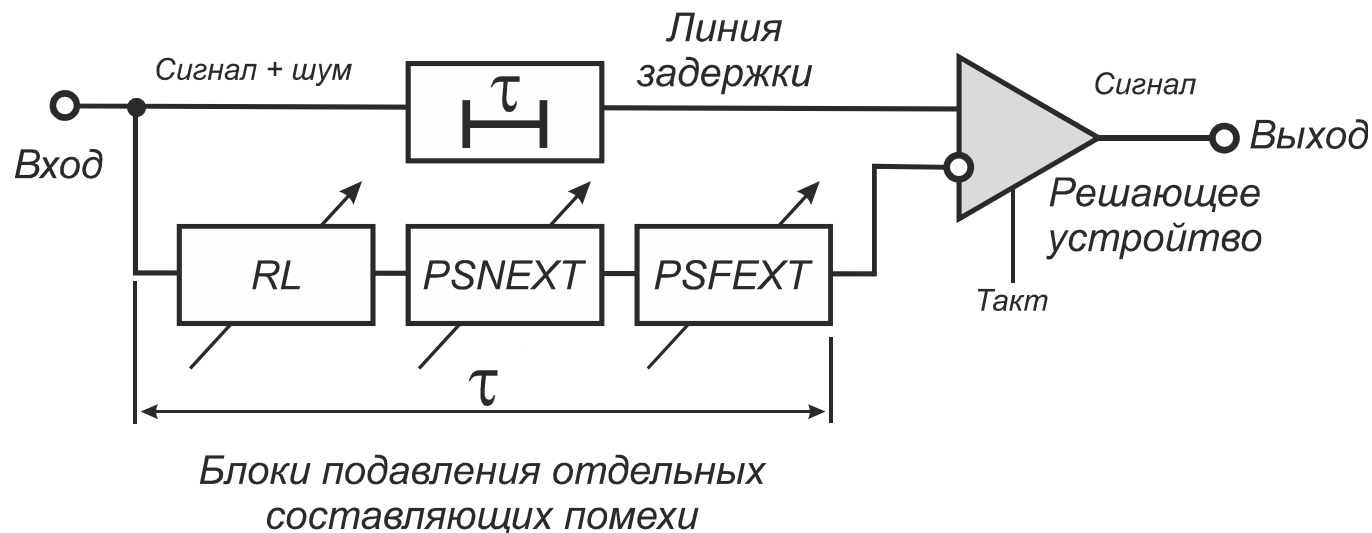
Разновидность помехи	RL	PSNEXT	PSFEXT
Источник помехи	Собственный передатчик	Передатчики ближнего конца	Передатчики дальнего конца



Обработка принимаемого сигнала



В процессе приема многоуровневого сигнала перед до решающего устройства сетевой интерфейс выполняет его обработку для подавления отдельных помеховых составляющих. Для этого в момент настройки приемника в линию подается тестовый сигнал и фиксируется создаваемая им переходная помеха на ближний и дальний концы, а также сигнал обратного отражения. При



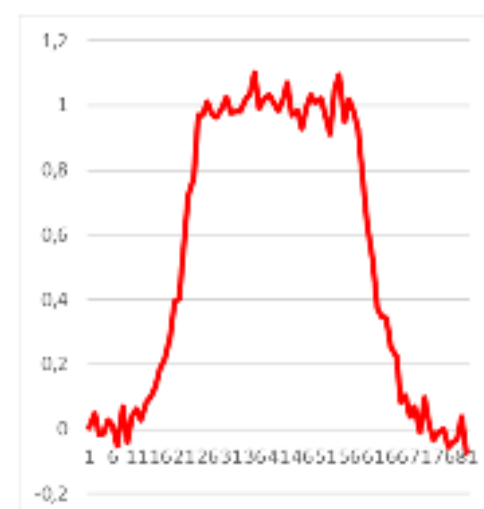
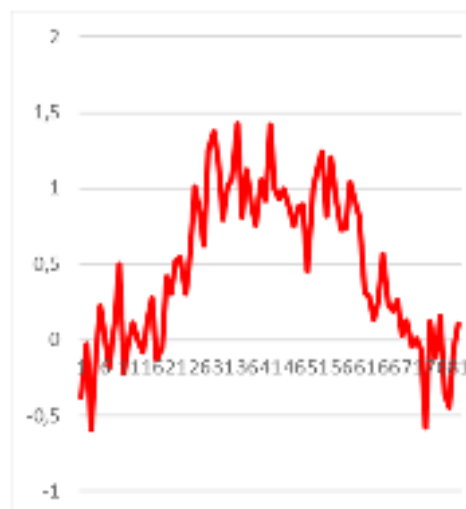
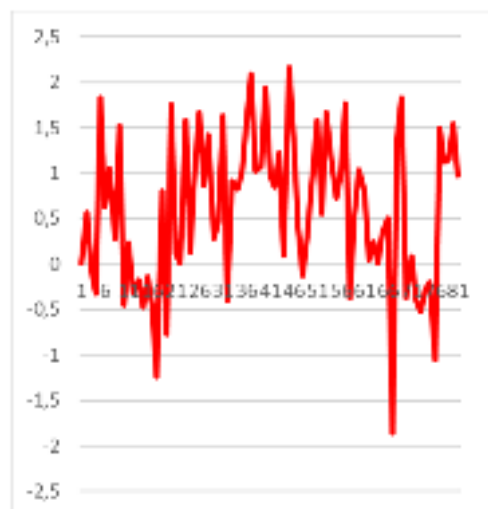
поступлении сигнала приемник формирует модель этой помехи, которая вычитается из суммы сигнала с шумом, в результате чего резко улучшается отношение сигнала к шуму и происходит соответствующее уменьшение вероятности ошибки как основного из ключевых параметров, определяющих качество передачи информации.

Степень подавления отдельных помеховых составляющих приведена в таблице.



Разновидность помехи	RL	PSNEXT	PSFEXT
Степень подавления, дБ	70	50	30

Моделирование работы блоков подавления помех



Эпюры в качественной форме показывают последовательное улучшение отношения сигнала к шуму на входе решающего устройства приемника одного из каналов сетевого интерфейса по мере последовательной обработки входного сигнала блоками подавления помех.

Частотные характеристики помехи



Расчет в среде MathCad дает частотные параметры отдельных помеховых составляющих и затухания, которые представлены на эскизе.

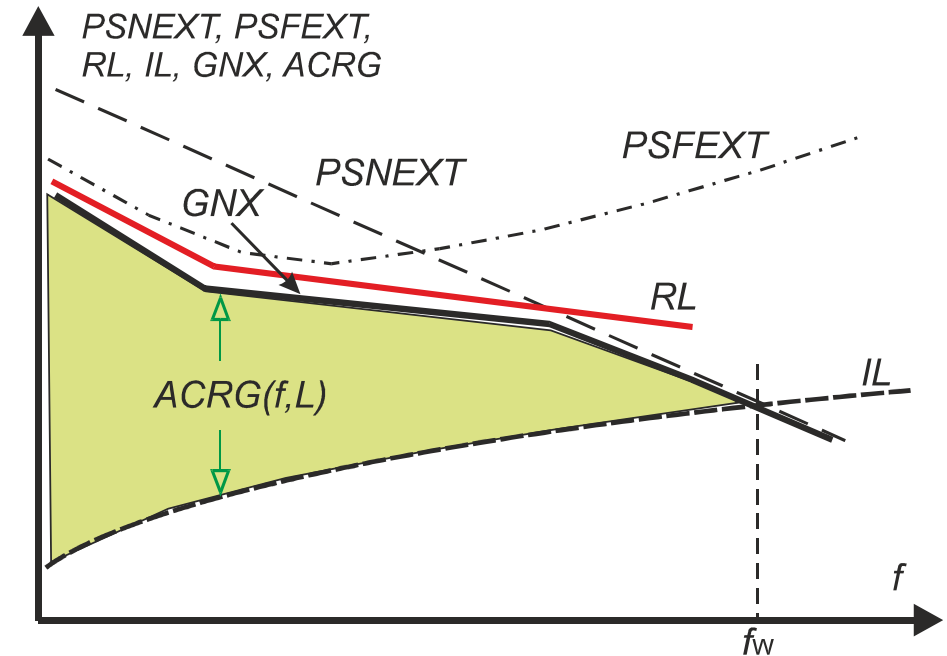
Полученные результаты позволяют определить шенноновскую пропускную способность симметричного канального тракта как

$$W(L) = 4 \cdot 0,6 \cdot \int_0^{f_w} \log_2 [1 + ACRG(f, L)] df,$$

где

$$ACRG(f, L) = GNX(f, L) - IL(f, L)$$

Уравнение для определения верхней граничной частоты кабельного тракта



$$GNX(f, L) - IL(f, L) = 0 \text{ dB.}$$

Особенности отдельных помеховых составляющих



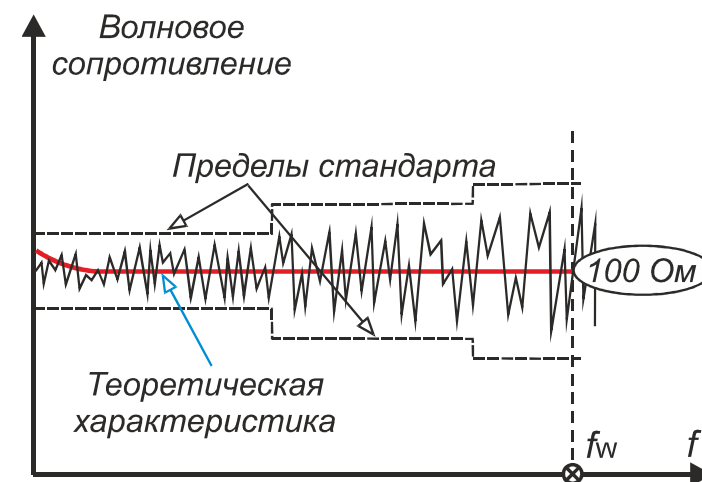
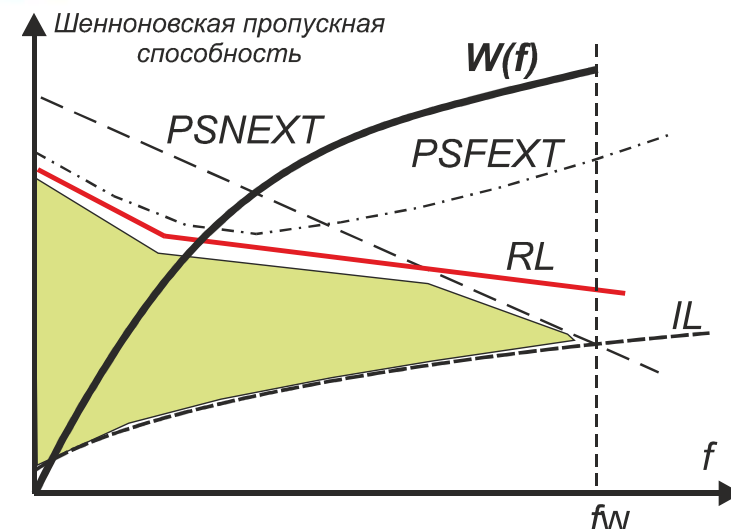
Анализ полученных соотношений показывает, что,

- верхнюю граничную частоту f_w симметричного тракта определяет переходная помеха ближнего конца;
- тем не менее, главным фактором, ограничивающим предельную скорость передачи, являются гл. обр. обратные отражения.

В качественной форме этот эффект демонстрирует график в правой части слайда.

Значимо уменьшить величину обратных отражений при уровне техники, достигнутом на существующем этапе развития, не представляется возможным. В качестве эталона в данном вопросе можно принять коаксиальные кабели, для которых RL обычно не превышает 40 дБ.

Сам процесс изготовления витой пары предполагает скрутку отдельных изолированных проводников. Из-за несовершенства технологии процесс скрутки обязательно сопровождается вполне определенными деформациями симметричной электропроводной среды передачи и связанными с этим вариациями волнового сопротивления. Последние приводят к структурным возвратным потерям SRL, которые, в свою очередь, определяют возвратные потери всего кабельного тракта.



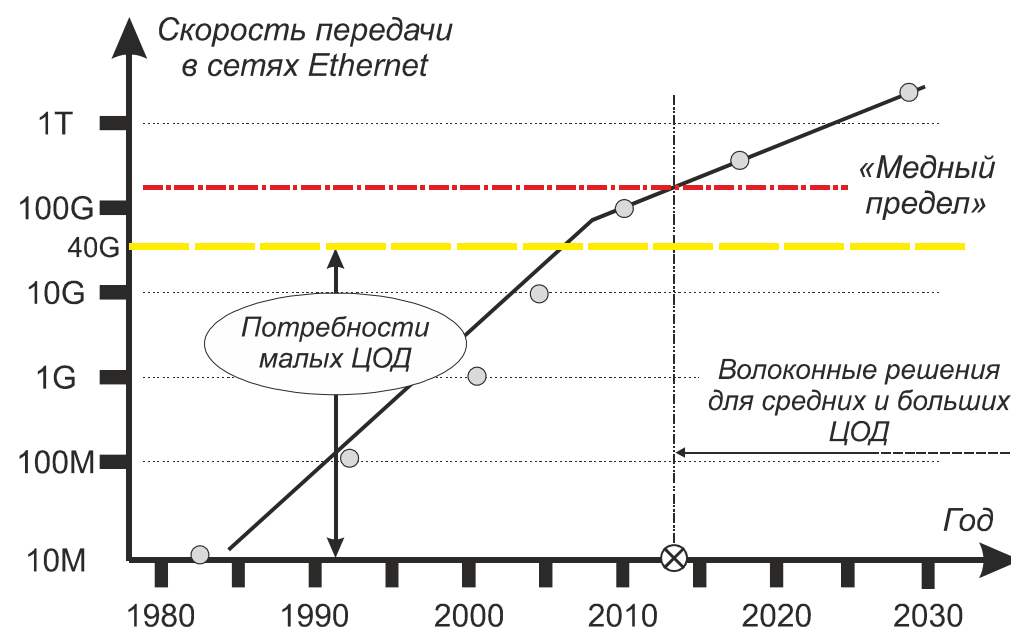
Результаты расчетов

Результаты расчетов приведены в таблице и демонстрируют потенциальную возможность достижения скорости 100 Гбит/с при сохранении тех запасов, которые необходимы для нормальной эксплуатации информационной системы. Это значение может быть названо “медным пределом” современных СКС.

По современным меркам 100 Гбит/с слишком мало, что фактически определяет типовую область применения симметричных кабельных трактов: микро-ЦОД.

В случае применения активных кабельных сборок (не пользуются популярностью, но возможны в микро-ЦОД) с длиной не свыше 10 м скорость м.б. увеличена до 200 Гбит/с.

Длина, м	30	40	50	60	70	80	90	100
W, Гбит/с	110	98	73	69	61	52	47	42



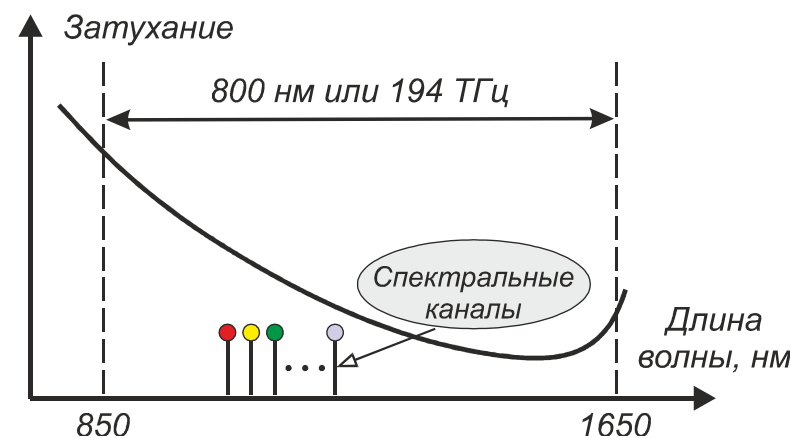
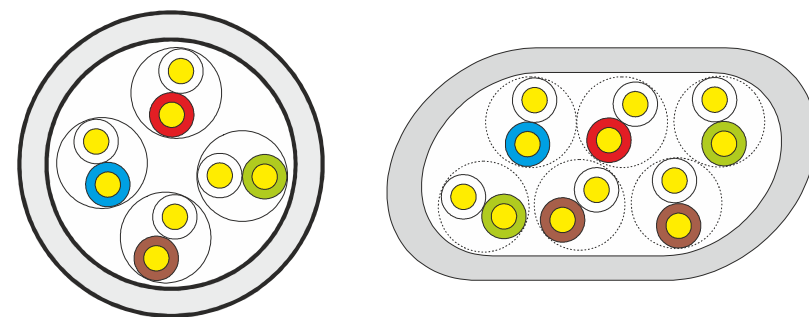
Причины ограниченного функционала симметричных трактов



Наличие “медного предела” симметричных кабельных трактов носит объективный характер и определяется следующими двумя основными обстоятельствами:

- ограничением по числу цепей передачи в формируемом тракте (в рамках используемых схем организации связи) их количество ограничено четырьмя – нехватка цепей передачи;
- неудовлетворительными (по сравнению с волоконно-оптической техникой) частотными свойствами витой пары как среды передачи информации (проигрыш в 5 порядков), что блокирует внедрение такого эффективного приема как спектрального мультимплексирования – нехватка широкополосности.

Нельзя сбрасывать со счетов также такое дополнительное преимущество спектрального мультимплексирования, которым становится, в частности, возможность эффективного решения проблемы “скоростного тупика” современной электроники и наращивания скорости передачи в канале связи в обозримой перспективе до крайней мере до 3,2 Тбит/с.

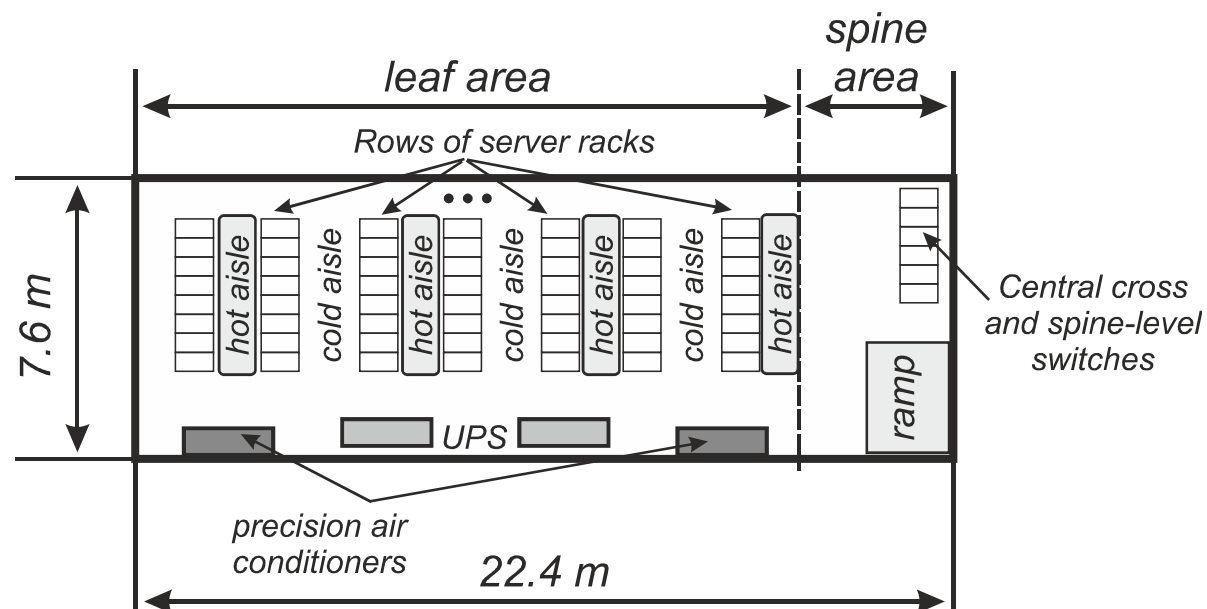


Пределные возможности медножильной техники



В предположении наличия сетевой техники на скорость 100 Гбит/с по медножильным трактам получаем следующую оценку предельных параметров ЦОД

- площадь машинного зала – 170 м²;
- максимальное количество стоек – 56 (3 м² на стойку);
- потребляемая мощность 500 кВт;
- возможность реализации энергоснабжения на паре UPS по схеме 1 + 1



Заключение

1. Несмотря на некоторое замедление темпов роста скоростей передачи данных в информационной системе машинного зала ЦОД таковой продолжается достаточно высокими темпами.
2. Медножильные кабельные тракты могут применяться только в небольших ЦОД в тех ситуациях, когда скорость передачи не превышает 100 Гбит/с.
3. Наращивание скорости свыше 100 Гбит/с возможно только на активных кабельных сборках.
4. В случае необходимости увеличения скорости до 200 Гбит/с и выше в обычном ЦОД необходимо безусловно переходить на волоконно-оптическую технику.
5. Главной причиной ограничения максимальной скорости передачи медножильной подсистемы становятся обратные отражения, снижение которых выше достигнутого предела проблематичны из-за особенностей изготовления витой пары.
6. Улучшение параметров влияния виторпарных кабельных трактов СКС лишено практического смысла и появление категории 9 как естественного развития существующей техники категории 8 в обозримой перспективе не предвидится.

Спасибо за внимание!

