

"ДЛИННЫЙ" ETHERNET – дальше, дальше и дальше

А.Семенов, д.т.н., профессор НИУ МГСУ,

Е.Кандзюба, аспирант МТУСИ,

В.Руденко, начальник лаборатории НПП "Информсистема" / vrudenko@yandex.ru

УДК 654.152, DOI: 10.22184/2070-8963.2017.68.7.32.36

В статье рассмотрены возможности наращивания предельной протяженности симметричных кабельных трактов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ВОСТРЕБОВАННОСТЬ СИММЕТРИЧНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ УВЕЛИЧЕННОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

Современный человек уже не мыслит себя без информационных технологий, которые буквально пронизывают все сферы его быта и профессиональной деятельности. Информационные технологии делают его жизнь более комфортной, а труд – более производительным. Физический уровень информационно-телекоммуникационной системы (ИТС), практически реализующей доведение ИТ-услуг до конкретного потребителя, может быть построен на различных принципах. В силу целого комплекса разнородных причин для этого используются преимущественно проводные каналы связи.

Базовые положения основы ИТС в своем современном виде были окончательно сформированы еще в начале 90-х годов прошлого столетия. Развитие техники за истекший период привело к необходимости коррекции некоторых постулатов, что позволяет увеличить результирующую эффективность ее построения и функционирования. Одним из таких положений стало наращивание предельной протяженности симметричных кабельных трактов.

Современная ИТС строится главным образом по централизованному принципу. Различные терминальные устройства могут находиться на достаточно большом расстоянии от технических помещений с серверами и коммутаторами, обеспечивающими обработку пользовательских запросов и передачу данных потребителям. Традиционно для отрасли

кабельные каналы связи на нижнем терминальном уровне сети формируются на базе технических средств структурированного каблирования, в основу которого положен 100-метровый предел дальности передачи без переприема.

Ранее [1, 2] была продемонстрирована возможность существенного увеличения предельной протяженности симметричных кабельных трактов за те пределы, которые задают стандарты СКС. Техническая возможность такого превышения определялась:

- ограничением скорости передачи информации значением 100 Мбит/с;
- переходом на упрощенные схемы построения кабельных трактов (отказ от кросс-коннекта в технических помещениях и реализация линейной части тракта по схеме direct connection);
- модернизацией конструкции симметричных кабелей из витых пар;
- введением разумных ограничений в части длины шнуровых изделий.

Последнее положение требует дополнительного комментария. Каноническая модель 100-метрового симметричного кабельного тракта СКС основана на 10-метровой общей длине шнуровых изделий, что не всегда востребовано на практике. Устранение этой избыточности в технике СКС дает возможность перейти на более тонкие шнуры и улучшить условия администрирования кабельной системы [3]. Во всех прочих случаях и применительно к удаленным терминальным устройствам сокращение длины шнура обеспечивает уменьшение затухания, а полученный

в результате этого выигрыш направляется на увеличение протяженности тракта.

Комплекс решений, реализующих такую возможность, известен как "длинный" Ethernet. Этому же названия будем придерживаться в дальнейшем.

Наиболее емкой областью внедрения техники "длинного" Ethernet видятся системы цифрового видеонаблюдения, получившие существенное развитие за последние годы. Симметричные тракты увеличенной протяженности потенциально востребованы также при подключении к ИТС [4]:

- точек радиодоступа системы Wi-Fi;
- оборудования систем контроля и управления доступом;
- терминалов микросотовой связи.

Неплохие перспективы для этой техники имеются также в сетях доступа. Часть операторов в силу различных причин отказываются от использования технологии PON. Кроме того, при расстояниях до 300 м оптические решения гарантированно проигрывают медножильным по экономике, а их широкополосность не востребована, в том числе из-за малой популярности сервисов типа "видео по запросу", требующих гигабитных скоростей передачи.

В этой связи практический интерес представляет оценка возможностей витой пары в части обеспечиваемой предельной дальности связи.

ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ СИММЕТРИЧНОГО ТРАКТА ПО ШЕННОНУ

Необходимым условием нормального функционирования канала связи в любой форме его реализации является обеспечение определенной ширины полосы пропускания канала и отношения сигнала к шуму на входе решающего устройства приемника сетевого интерфейса. Предельное значение обеспечиваемой скорости определяется теорией К.Шеннона, а ее достижение в современных сетевых интерфейсах возможно в случае обращения к сложным видам линейного кодирования. С учетом 30%-ных эксплуатационных запасов, рекомендованных IEEE, шенноновская пропускная способность оценивается выражением [5]:

$$W = 0,166 \cdot \text{NEXT} \cdot f_b - 1,08 \cdot f_b \cdot (\ln \cdot f_b - 1) - 0,11 \cdot f_b^{1,5} \cdot \alpha l, \quad (1)$$

где NEXT – переходное затухание тракта на частоте 1 МГц; f_b – верхняя граничная частота кабельного тракта; α – коэффициент затухания горизонтального кабеля на частоте 1 МГц; l – "электрическая" протяженность тракта.

Отметим, что из-за особенностей построения трактов "длинного" Ethernet его физическую и электрическую длины при выполнении расчетов

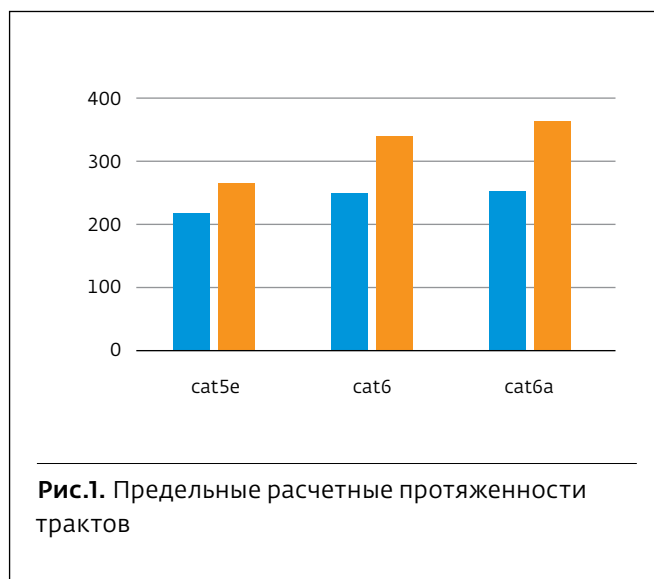


Рис.1. Предельные расчетные протяженности трактов

с приемлемым для широкой инженерной практики уровнем точности допустимо считать равными.

Значение f_b находится как решение уравнения $\text{NEXT} - 15 \lg(f) - \alpha l \sqrt{f} = 0$

и составляет

$$f_b = \left(\frac{\text{NEXT}}{\alpha l} - \frac{13}{\alpha l} \cdot \ln \frac{\text{NEXT}}{\alpha l} / \left(1 - \frac{13}{\text{NEXT}} \right) \right)^2.$$

Результаты расчетов предельных длин кабельных трактов по (1) для разных значений параметров приведены на рис.1.

ВАЖНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ЗАТУХАНИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО ДОСТИЖЕНИЯ

Из выражения (1) имеем первичную оценку

$$\frac{dW / d\alpha}{dW / d\text{NEXT}} = 0,66 \cdot \sqrt{f_b} \cdot l,$$

из которой следует, что уже при дальности связи порядка двух десятков метров роль основного средства наращивания качественных показателей тракта начинает переходить от NEXT к затуханию. В силу этого уменьшение затухания становится основным средством увеличения дальности связи.

Основное затухание кабельных трактов вносят линейные кабели. Коэффициент затухания линейного изделия, как известно, складывается из трех составляющих, определяемых потерями в металле жил α_m , в изоляции α_i и в экране α_3 : $\alpha = \alpha_m + \alpha_3 + \alpha_i$, причем $\alpha_m > \alpha_3 > \alpha_i$. Отсюда вытекает, что линейные кабели "длинного" Ethernet должны иметь

Таблица 1. Знаки изменения отдельных слагаемых выражения (1)

Слагаемое	1	2	3
Увеличение NEXT	+	–	–
Уменьшение α	+	–	+

Таблица 2. Расчетная предельная дальность действия системы ДП

Шлейфовое сопротивление, Ом/диаметр жилы, мм	PoE, class 1	PoE	PoE+
25/0,5	189	160	100
23,1/0,52	205	170	110
23/0,79 ¹	205	170	110
23/0,97 ²	357	302	189

¹ Две дополнительные жилы ДП и увеличение мощности.




² Две дополнительные жилы ДП с сохранением мощности.

структуру U/UTP, у которой $\alpha_3=0$. Иначе говоря, для уменьшения потерь желательно использовать кабели без экрана.

Составляющая потеря α_m потенциально снижается двумя основными способами: уменьшением активного сопротивления R и наращиванием волнового сопротивления Z.

Эффективность обоих направлений примерно одинакова, но в этой ситуации предпочтительным выглядит наращивание волнового сопротивления при сохранении диаметра жилы. Это сразу же решает проблему подключения кабеля к IDC-контакту элементов разъемного соединителя. Так, при значении волнового сопротивления около

Таблица 3. Примеры кабелей для реализации "длинного" Ethernet

Способ прокладки	Расшифровка обозначения	Внешний вид	Марка, количество пар, диаметр токопроводящих жил, мм; сечение питающих жил, мм ²	Максимальная дальность для систем видеонаблюдения, м
Для подвески на опорах	Кабель для систем видеонаблюдения цифровой, с изоляцией и оболочкой из полиэтилена, с грузонесущим тросом		КВЦПт 4×2×0,52 / 2×0,75	170
			КВЦПт 2×2×0,52 / 2×0,75	150
Для прокладки вне помещений	Кабель для систем видеонаблюдения цифровой, с изоляцией и оболочкой из полиэтилена		КВЦП 4×2×0,52 / 2×0,75	170
			КВЦП 2×2×0,52 / 2×0,75	150
Для подвески на опорах	Телефонный цифровой, с изоляцией и оболочкой из полиэтилена, с грузонесущим тросом, с увеличенной дальностью передачи		ТЦППт 2×2×0,52 FE Long	240
			ТЦПМПт 2×2×0,52 FE Long	260

140 Ом коэффициент затухания снижается примерно до 11,5 дБ/100 м на частоте 100 МГц – рис.2.

Качественное объяснение этого эффекта заключается в следующем. Выражение (1) включает в себя три слагаемых, которые по-разному реагируют на изменения NEXT и α . Вариация любого параметра приводит к изменению f_v [6], знаки таких изменений приведены в табл.1. Из нее следует, что при равном удельном изменении NEXT и α в случае уменьшения α первое и третье слагаемое суммируются, а не вычитаются, что имеет место при росте NEXT – это и дает необходимый эффект.

Расчетная максимальная длина тракта на основе кабеля с $\alpha=11,5$ дБ/100 м на частоте 100 МГц составляет 345 м. У серийной продукции компании "Информсистема" из соображений введения эксплуатационных запасов, в том числе на рост температуры, компенсацию эффектов старения и т.д., указывается примерно на треть меньшее значение в 240–260 м (табл.3). Одновременно такие запасы позволяют компенсировать уменьшение дальности связи, вызванное отсутствием согласования волнового сопротивления кабеля с характеристическим сопротивлением аппаратуры.

Возможность работы на указанные расстояния проверена выполнением соответствующих измерений

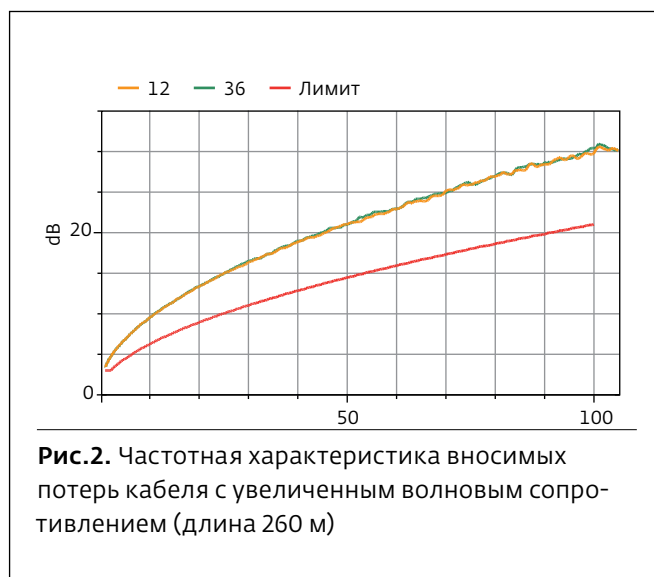


Рис.2. Частотная характеристика вносимых потерь кабеля с увеличенным волновым сопротивлением (длина 260 м)

на стенде, а также подтверждена отзывами об опытной эксплуатации, полученными из различных филиалов ПАО "Ростелеком".

ФАКТОР ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ

Потребительские параметры ИТС существенно возрастают, если в ней предусмотрена возможность

централизованного дистанционного питания (ДП) терминальных устройств. Данная технология реализуется в вариантах PoE и PoE+ [7], подача питающего напряжения осуществляется по симметричным кабельным трактам. Не исключается использование для этой цели специально введенной в состав кабеля пары выделенных жил ДП. Предельная дальность действия системы ДП зависит от шлейфового сопротивления используемых для этого проводов. Соответствующие расчетные величины приведены в табл.2.

Дальнейшее наращивание дальности действия возможно только при отказе от применения технологии PoE или за счет установки одного или двух (с питанием с разных концов линии во втором случае) промежуточного репитера/репитеров.

Анализ данных табл.2 показывает, что при типовых для категории 5е диаметрах жилы 0,5–0,52 мм наблюдается существенное расхождение в части ограничений дальности по качественным показателям канала связи и подачи питающего напряжения по технологии PoE+. Устранение этого дисбаланса обеспечивается отказом от передачи ДП по витым парам и применением дополнительных проводов. Последние могут играть как основную, так и вспомогательную роль, фактически увеличивая допустимую мощность потребления терминального устройства. С учетом передачи напряжения ДП при PoE по фантомным цепям минимальное сечение дополнительных жил не должно быть менее 0,45 мм², для чего сечение дополнительных жил ДП выбирается равным 0,5 или 0,75 мм². В первом случае примерно удваивается потребляемая мощность приемника, во втором – увеличивается дальность связи с сохранением мощности потребления.

УЧЕТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Кабели рассматриваемых модификаций предназначены в первую очередь для создания систем цифрового видеонаблюдения. Условия эксплуатации фокусной области применения учитываются следующим образом:

- предлагаются как классические 4-парные, так и более экономичные 2-парные изделия;
- предлагаемые варианты конструктивного исполнения рассчитаны на внешнюю прокладку и снабжены водонепроницаемой полиэтиленовой оболочкой, возможно также изготовление конструкций с оболочкой из ПВХ, либо композитных материалов для прокладки внутри помещений;
- потребитель может воспользоваться подвесным кабелем-восьмеркой с интегрированным несущим тросом;

- серийно производятся изделия с жилами ДП сечением 0,5 или 0,75 мм².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Максимальная протяженность высокоскоростных симметричных кабельных трактов для построения сетей доступа, реализации систем цифрового видеонаблюдения и прочих аналогичных современных информационных систем с учетом необходимых эксплуатационных запасов может вплотную приближаться к 300 м.
2. Ограничение в части предельной протяженности тракта определяется оборудованием дистанционного питания сетевого интерфейса терминального устройства. Проблема ограничения решается введением дополнительных жил для передачи ДП и применением репитеров.
3. Для реализации кабельных трактов максимальной протяженности предпочтительна неэкранированная техника.
4. При необходимости увеличения мощности дистанционного питания терминального устройства при предельных длинах трактов в состав кабеля целесообразно ввести выделенную пару жил увеличенного сечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефименко Д., Семенов А., Сидоренко С., Руденко В. Кабели для "длинного" Ethernet: о чем говорит рынок // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2016. № 2. С. 50–57.
2. Семенов А., Сидоренко С., Терентьев Д., Руденко В. "Длинный" Ethernet становится еще длиннее // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2017. № 2. С. 42–48.
3. Семенов А.Б. Медножильные шнуры малого диаметра // Журнал сетевых решений LAN. 2015. № 2. С. 42–47.
4. Powered Fiber Cable System Technical Overview. Application Notes. – Commscope, 2016. 8 p.
5. Семенов А.Б., Кандзюба Е.В. Перспективы увеличения протяженности симметричного кабельного тракта систем цифрового видеонаблюдения // Перспективные технологии в средствах передачи информации. Материалы 12-й международной научно-технической конференции. Т.1 / Владимирский государственный университет. – Владимир: ВлГУ, 2017. С. 215–218.
6. Семенов А.Б., Королев Р.В. Горизонтальные кабели с расширенным частотным диапазоном // Журнал сетевых решений LAN. 2017. № 1–2. С. 43–46.
7. Семенов А.Б. Эволюция систем дистанционного питания // Журнал сетевых решений LAN. 2015. № 10. С. 51–55.