

УДК 621.371: 621.372: 621.315.1.052.63

В. А. БАЛАСОВ, доктор техн. наук, профессор;

А. М. ЗЕЛЁНЫЙ, А. Г. ЛАШКО, Л. М. ЛЯХОВЕЦКИЙ, В. И. ОРЕШКОВ, кандидаты техн. наук;

В. Н. МОЛОГА,

Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, Украина

СКОРОСТЬ ДОСТУПА ПО МНОГОПАРНЫМ ТЕЛЕФОННЫМ КАБЕЛЯМ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ *G.fast*

Исследованы подходы к повышению скорости передачи, достижимой системами передачи (СП) на базе перспективной технологии *G.fast*, при работе по отечественному телефонному кабелю ТППэп 50х2х0,4. Определены высокочастотные параметры передачи кабеля, необходимые для моделирования характеристик СП *G.fast*.

Ключевые слова: система передачи; широкополосный доступ; многопарный телефонный кабель; технология *G.fast*.

Введение

Всемерное внедрение сетей широкополосного доступа (ШД) является определяющей тенденцией развития современных телекоммуникаций.

Сегодня самым распространенным в мире видом ШД стал доступ с использованием хорошо развитой сети абонентских линий (АЛ) телефонной сети общего пользования (ТСОП) и xDSL-технологий передачи (**DSL** — *Digital Subscriber Line*) в соответствии с Рекомендациями Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) G.992 и G.993. С применением этих технологий передачи построено около 57% всех имеющихся линий фиксированного ШД в мире. Технологии передачи xDSL используют различные системы ортогональных гармонических сигналов (ОГС). До последнего времени самой высокоскоростной технологией передачи была технология VDSL2 (Рек. G.993.2), которая обеспечивает скорость передачи порядка 50 Мбит/с на расстояние до 1 км по многопарному телефонному кабелю в зависимости от характеристик линии и загрузки кабеля (числа параллельно работающих систем передачи (СП)) [1].

Стремление повысить скорость доступа по телефонным АЛ привело к разработке ***G.fast*** — технологии сетей ШД, позволяющей достигать скорости передачи порядка 1 Гбит/с по АЛ телефонной сети [2]. Эта технология является дальнейшим развитием технологии **VDSL2**, ориентированном на малые (менее 250 м) расстояния. Она предназначена для того, чтобы довести оптический фрагмент сети ШД ближе к абоненту, чем это под силу традиционным технологиям FTTH/VDSL2, при сохранении высокой скорости передачи.

В качестве основных решений, позволяющих увеличить скорость передачи по сравнению с технологией VDSL2, используют расширение рабочего диапазона частот канала до 106 либо 212 МГц и применение системы компенсации переходных помех от параллельно работающих СП в многопарном телефонном кабеле, известной как **система векторинга** (Рек. МСЭ-Т G.993.5 (04/2010) 5 FEXT [3]).

На основе проектов (предварительных) спецификаций МСЭ-Т ведущие производители телекоммуникационного оборудования несколько лет назад начали опытную разработку СП по технологии *G.fast* (в настоящее время принята Рекомендация МСЭ-Т G.9701 [2]). Фирмой Alcatel-Lucent совместно с Telecom Austria было создано СП *G.fast*, которому удалось достичь скорости 1,1 Гбит/с по АЛ длиной 70 м [4]. При увеличении длины линии до 100 м скорость снизилась до 800 Мбит/с. При этом использовался качественный экранированный кабель, а в случае применения неэкранированного кабеля скорость составила 500 Мбит/с. Аналогичные результаты анонсировали также разработчики совместной группы компаний Huawei и BT.

Основная часть

Представляет как научный, так и практический интерес исследования особенностей характеристик технологии *G.fast* на базе отечественных телефонных кабелей. Для осуществления этого исследования необходимо решить две задачи. Во-первых, осуществить измерение вторичных параметров и переходных затуханий на ближнем и дальнем концах многопарного телефонного кабеля в диапазоне частот не менее 100 МГц, а во-вторых, разработать методику моделирования параллельной работы СП на основе технологии *G.fast* по телефонному кабелю с системой векторинга.

Для проведения исследований был выбран самый распространенный ныне телефонный кабель ГТС типа ТППэп с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке, соответствующий ТУ У 05758730.014-2000.

Кабель ТППэп предназначен для эксплуатации в местных первичных сетях связи и телекоммуникационных линиях с номинальным напряжением дистанционного питания до 225 В переменного тока частотой 50 Гц или с напряжением до 315 В постоянного тока. Кабель прокладывается в телефонной канализации, коллекторах, шахтах, по стенам зданий и подвешивается на опорах.

Характеристики кабеля. Кабель ТППэп — кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополиэтиленовой ленты, в полиэтиленовой оболочке.

Кабель ТППэп имеет следующие **электрические параметры**:

- электрическое сопротивление жилы постоянному току равно 139 ± 9 Ом/км;
- электрическое сопротивление изоляции токопроводящих жил — не менее 6500 МОм·км;

- испытательное напряжение между жилами рабочих пар составляет 1500 В постоянного тока, между жилами и экраном для кабелей на напряжение до 200 В постоянного тока — 750 В;
- коэффициент затухания на частотах 1; 512 и 1024 кГц равен соответственно 1,9; 19,5 и 27,2 дБ/км;
- переходное затухание на ближнем конце на частоте 1 кГц — не менее 70 дБ;
- коэффициент защитного действия металлопокрова кабеля без алюминиевой оболочки при наведенной продольной ЭДС от 30 до 50 В на длине 1 км — не более 0,995;
- электрическое сопротивление наружной оболочки и шланга кабеля, пересчитанное на длину 1 км, — не менее 5 МОм.

Для исследований был выбран кабель ТППэп 50 × 2 × 0,4 пучковой скрутки, содержащий 50 пар. Пары скручены в элементарные десятипарные пучки. Сердечник кабеля содержит 5 элементарных пучков (ЭП), скрученных между собой (главный 50-парный пучок).

Измерения затухания, переходных затуханий на ближнем конце и защищенности на дальнем конце отрезка кабеля ТППэп 50 × 2 × 0,4 длиной 143 м в диапазоне частот от 1 до 100 МГц были проведены в испытательной лаборатории ПАО «Одескабель» с помощью измерительной системы AESA (Швейцария). В результате измерений затухания, переходных затуханий между парами как внутри ЭП, так и между парами, входящими в состав разных ЭП, были определены средние значения $A_{0\text{ ср}}$ переходного затухания на ближнем конце, $A_{з\text{ ср}}$ защищенности на дальнем конце и приращения средних значений переходных затуханий, которые приведены в табл. 1–4.

Таблица 1

Средние значения затухания кабеля ТППэп 50 × 2 × 0,4, пересчитанные на длину 100 м, в диапазоне частот до 100 МГц

Частота, МГц	1	4	10	16	20	31,25	62,5	100
Затухание, дБ	2,40	4,52	7,13	9,14	10,37	13,59	21,16	27,26

Таблица 2

Средние значения $A_{0\text{ ср}}$ переходного затухания на ближнем конце и среднеквадратичного отклонения (СКО) в главном пучке кабеля емкостью 50 пар ТППэп 50 × 2 × 0,4, пересчитанные на длину 100 м

Расположение пар в сердечнике	1 МГц		4 МГц		10 МГц		16 МГц		31,25 МГц		62,5 МГц		100 МГц	
	$A_{0\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{0\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{0\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{0\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{0\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{0\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{0\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ
Внутри ЭП	65,8	7,7	52,7	5,6	47,9	6,2	44,9	7,2	40,0	6,6	35,4	5,9	32,3	6,4
В смежных ЭП	71,1	6,1	61,7	6,3	54,7	7,1	51,8	5,7	48,1	5,9	42,6	6,1	37,8	6,1
Через один ЭП	79,9	6,5	69,8	6,4	63,2	5,5	58,6	5,3	53	5,8	48,3	6,0	43,0	5,8

Таблица 3

Средние значения $A_{з\text{ ср}}$ защищенности на дальнем конце и среднеквадратичного отклонения (СКО) в кабеле ТППэп 50 × 2 × 0,4, пересчитанные на длину 100 м

Расположение пар в сердечнике	1 МГц		4 МГц		10 МГц		16 МГц		31,25 МГц		62,5 МГц		100 МГц	
	$A_{з\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{з\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{з\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{з\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{з\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{з\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ	$A_{з\text{ ср}}$, дБ	СКО, дБ
Внутри ЭП	72,3	7,6	59,2	8,2	50,5	6,1	45,2	5,9	38,0	5,1	31,8	6,5	25,8	5,9
В смежных ЭП	79,4	8,9	66,4	7,4	57,2	6,8	50,7	6,4	44,3	6,7	35,8	5,6	28,3	5,6
Через один ЭП	83,9	7,7	70,4	8,5	61,8	6	56,1	5,2	48,5	6,4	38,4	5,6	32,2	6,2

Таблица 4

Значения приращений средних значений ΔA_0 переходного затухания на ближнем конце и защищенности $\Delta A_з$ на дальнем конце кабеля ТППэп 50 × 2 × 0,4

Расположение пар в сердечнике	1 МГц		4 МГц		10 МГц		16 МГц		31,25 МГц		62,5 МГц		100 МГц		1...100 МГц	
	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ	ΔA_0 , дБ	$\Delta A_з$, дБ
В смежных ЭП	5,3	7,1	9,0	7,2	6,8	6,7	6,9	5,5	8,1	6,3	7,2	4,0	5,5	2,5	7,0	5,6
Через один ЭП	14,1	11,6	17,1	11,2	15,3	11,3	13,7	10,9	13,0	10,5	22,9	6,6	10,7	6,4	15,3	9,8

Примечание. Среднее значение переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце многопарного кабеля местной телефонной связи в зависимости от длины кабеля определяются по известным формулам [5].

Для решения второй задачи исследования была разработана методика моделирования параллельной работы СП по технологии G.fast по телефонному кабелю с системой векторинга. Смоделированный фрагмент сети ШД с применением технологии G.fast приведен на рис. 1, где n-n G.fast — приемопередатчик СП G.fast; РК — распределительная коробка.

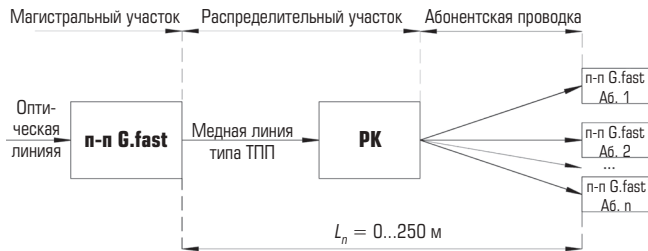


Рис. 1. Моделируемый фрагмент сети ШД с применением технологии G.fast

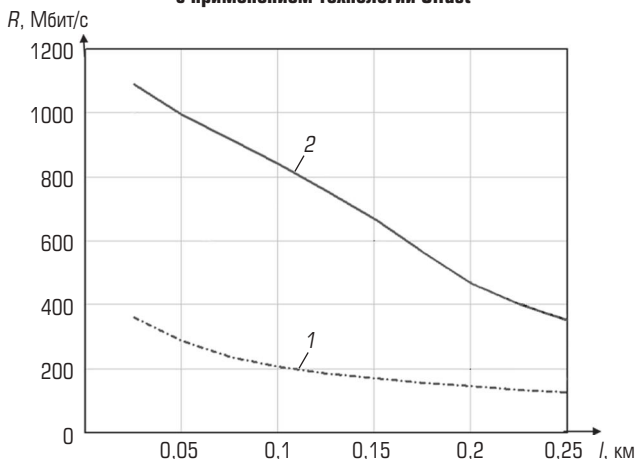


Рис. 2. Суммарная скорость передачи (вверх и вниз) по одной АЛ СП G.fast при параллельной работе n СП по кабелю ТППЭп 50 × 2 × 0,4: 1 — 10 СП без векторинга; 2 — 10 СП с векторингом

На распределительном участке ШД применяется многопарный телефонный кабель типа ТППЭп, абонентская проводка выполняется кабелем типа «витая пара». Основным фактором, ограничивающим скорость передачи в СП G.fast, являются переходные помехи на дальний конец (FEXT) от параллельно работающих СП в многопарном телефонном кабеле распределительного участка. Соответствующие алгоритмы и система компенсации межканальных переходных помех получили название **векторинга**. Система векторинга включает в себя измерение переходных помех между параллельно работающими СП в многопарном телефонном кабеле и их компенсацию внесением в передаваемые сигналы соответствующих компенсирующих сигналов [2]. Однако полностью компенсировать межканальные переходные помехи принципиально невозможно. Разработанная методика моделирования позволяет рассчитывать скорость передачи СП G.fast с учетом частотных характеристик кабеля, аддитивных шумов, переходных помех от параллельно работающих СП и функционирования системы векторинга.

Результаты моделирования скорости передачи, достигаемой СП G.fast, в зависимости от длины телефонной линии при использовании кабеля ТППЭп 50 × 2 × 0,4 и числа параллельно работающих по кабелю СП (n = 2...30) приведены на рис. 2.

Как следует из рис. 2, применение векторинга приводит к существенному повышению скорости передачи. Например, при длине линии 100 м и десяти параллельно работающих СП достижимая скорость передачи благодаря векторингу возрастает с 290 до 840 Мбит/с.

Выводы

Результаты моделирования технологии передачи G.fast сети ШД с учетом частотных характеристик многопарного кабеля ТППЭп 50 × 2 × 0,4 в диапазоне частот до 100 МГц, аддитивных шумов, переходных помех от параллельно работающих СП продемонстрировали высокую скорость передачи, достигаемую СП G.fast, и эффективность функционирования системы векторинга.

Литература

1. Ляховецкий, Л. М. Характеристики широкополосного доступа за технологией VDSL2 / Л. М. Ляховецкий, В. И. Орешков // *Наук. праці ОНАЗ ім. О. С. Попова*. — 2012. — № 2. — С. 93–98.
2. ITU-T. Recommendation G.9701 : Fast access to subscriber terminals (G.fast). — Power spectral density specification. — *Appr.* 2014–04–04. — Geneva, 2014. — 22 p.
3. Рек. МСЗ-Т G.993.5 (04/2010).
4. Ricknas, M. Alcatel-Lucent gives DSL networks a gigabit boost / Mikael Ricknas // *PCWorld*. Retrieved 2014–02–13.
5. Гроднев, И. И. Линии связи / И. И. Гроднев, С. М. Верник. — М.: Радио и связь, 1988.

В. А. Балашов, А. М. Зеленый, А. Г. Лашко, Л. М. Ляховецкий, В. И. Орешков, В. Н. Молога ШВИДКІСТЬ ДОСТУПУ ПО БАГАТОПАРНИХ ТЕЛЕФОННИХ КАБЕЛЯХ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ПЕРЕДАВАННЯ G.FAST

Досліджено підходи до підвищення швидкості передавання, якої можуть досягати системи передавання на базі перспективної технології G.fast у разі роботи по вітчизняному телефонному кабелю ТППЭп 50 × 2 × 0,4. Визначено височастотні параметри передавання кабелю, необхідні для моделювання характеристик систем передавання G.fast.

Ключові слова: система передавання; широкополосний доступ; багатопарний телефонний кабель; технологія G.fast.

V. A. Balashov, A. M. Zelenyi, A. G. Lashko, L. M. Lyakhovetskiy, V. I. Oreshkov, V. N. Mologa THE RATE ALONG MULTIPAIR EXCHANGE CABLE ACCORDING TO G.FAST TECHNOLOGY

Steps to information rate accordingly perspective G.fast technology increasing while working along the native exchange cable ТППЭп 50 × 2 × 0,4 are researched. High frequency transmission cable parameters for G.fast characteristic modeling are determined.

Keywords: transmission system; big bandwidth rate; multipair exchange cable; G.fast technology.