

МЕЖКАНАЛЬНЫЕ ПОМЕХИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ПО ТЕХНОЛОГИИ G.FAST

МІЖКАНАЛЬНІ ЗАВАДИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ G.FAST

**THE INTER-CHANNEL INTERFERENCE IN COMMUNICATION SYSTEMS
BY TECHNOLOGY G.FAST**

Аннотация. Рассматриваются алгоритмы компенсации межканальных помех и предлагается оценка мощности некомпенсированных помех в системах передачи по технологии G.Fast.

Анотація. Розглядаються алгоритми компенсації міжканальних завад і пропонується оцінка потужності некомпенсованих завад у системах передачі за технологією G.Fast.

Summary. The algorithms for compensation co-channel interference and offers power estimate of uncompensated interference in the transmission of technology G.Fast.

G.Fast- технология цифровых абонентских линий сетей широкополосного доступа (ШД) позволяющая достигать скорости передачи порядка 1 Гбит/с по абонентским линиям (АЛ) телефонной сети [1]. Технология G.Fast предназначена для того, чтобы довести оптический фрагмент сети ШД ближе к абоненту, чем традиционные технологии FTTH /VDSL2, но не совсем до площадки пользователя, как технология FTTH, при сохранении высокой скорости передачи. Данная технология- дальнейшее развитие технологии VDSL2, оптимизированной для малых расстояний. Основными решениями, позволяющими увеличить скорость передачи в сравнении с технологией VDSL2 являются- расширение рабочего диапазона частот канала передачи до 106 МГц либо 212 МГц и применение системы компенсации переходных (межканальных) помех от параллельно работающих в многопарном телефонном кабеле систем передачи (СП), так называемой системы векторинга.

Технология G.Fast предусматривает подключение по медному телефонному кабелю 10-30 абонентов на расстоянии не более 250 м. Технология обеспечивает высокоскоростной доступ (достаточный для работы IP-телевидения, работы с «облачными» сервисами, просмотра HD- и Ultra HD формата) и позволяет использовать для построения сети ШД уже существующие АЛ телефонной сети, что значительно снижает затраты на линейно-кабельные сооружения.

На основе предварительных (черновых) спецификаций МСЭ-Т [2] ряд ведущих производителей телекоммуникационного оборудования начали опытную разработку СП по технологии G.Fast. Фирма Alcatel-Lucent совместно с Telecom Austria создали СП G.Fast, позволившую достичь скорости 1,1 Гбит/с по АЛ длиной 70 м [3]. При увеличении длины линии до 100 м скорость снизилась до 800 Мбит/с. При этом использовался качественный экранированный телефонный кабель, а в случае использования неэкранированного кабеля скорость передачи составила 500 Мбит/с. Аналогичные результаты анносировали так же разработчики оборудования совместной группы компаний Huawei и BT.

На рис. 1 приведен фрагмент сети ШД с применением технологии G.Fast, где: п-п G.Fast- приемопередатчик СП G.Fast; РК- распределительная коробка.

На распределительном участке ШД применяется многопарный телефонный кабель типа ТПП, 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. МСЭ-Т разработал рекомендацию по снижению переходных помех: Рек. МСЭ-Т G.993.5 (04/2010) 5 FEXT [4]. Соответствующие алгоритмы и система компенсации межканальных переходных помех получила название **векторинг**.

Система векторинга включает: измерение переходных помех между параллельно работающими СП в многопарном телефонном кабеле и их компенсации путем внесения в передаваемые сигналы соответствующих компенсирующих сигналов (рис 2). Это позволяет значительно расширить рабочую полосу частот и, следовательно, повысить скорость передачи. Однако полностью компенсировать межканальные переходные помехи принципиально невозможно.



Рисунок 1 – Фрагмент сети ШД с применением технологии G.Fast

Целью настоящей статьи является оценка мощности нескомпенсированных помех в системах передачи по технологии G.Fast и достижимых скоростей передачи сигналов по отечественным телефонным кабелям в зависимости от числа параллельно работающих СП.

В СП G.Fast применяется как и в СП VDSL2 технология передачи OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), использующая для передачи множество независимо модулируемых ортогональных гармонических сигналов [5]. Эти сигналы в режиме настройки используются для тестирования частотных характеристик затухания линий передачи и переходных затуханий на дальнем конце между параллельно работающими СП.

В режиме настройки до передачи информации каждый из передатчиков СП G.Fast поочередно передает испытательный сигнал известной амплитуды и формы (рис. 2). Приемники всех СП принимают как собственный сигнал, так и переходные сигналы от параллельно работающих СП. В результате формируется матрица затуханий $H_{lm}(\omega)$, в которой элементы строк представляют собой значения переходных затуханий между соответствующими СП, а элементы главной диагонали – собственное затухание линии связи:

$$H_{lm}(\omega) = \begin{pmatrix} H_{11}(\omega) & H_{12}(\omega) & \dots & H_{1n}(\omega) \\ H_{21}(\omega) & H_{22}(\omega) & \dots & H_{2n}(\omega) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_{n1}(\omega) & H_{n2}(\omega) & \dots & H_{nn}(\omega) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где $l, m=1,2,\dots,n$; n – число СП; l – номер СП подверженных влиянию; m – номер влияющей СП; $H_{lm}(\omega)$ – переходное затухание между l и m каналами.

В рабочем режиме на каждом такте передачи вычислитель СП G.Fast (система векторинга), используя передаваемые сигналы каждой СП и матрицу затуханий (1), производит расчет компенсирующих сигналов в l -СП:

$$C_l = \sum_{m=1}^n \frac{\tilde{S}_{lm}(\omega)}{H_l(\omega)}, \quad l = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

где:

$$\tilde{S}_{lm}(\omega) = S_m(\omega) * H_{lm}(\omega) \quad (3)$$

– вносимая помеха линией m на линию l ; $S_m(\omega)$ – спектр передаваемого сигнала влияющего канала. $l=1\dots n$; $H_{lm}(\omega)$ – переходное затухание между l и m каналами; $\tilde{S}_{lm}(\omega)$ – помеха вносимая на дальний конец линии l линией m ; $H_l(\omega)$ – передаточная функция канала l .

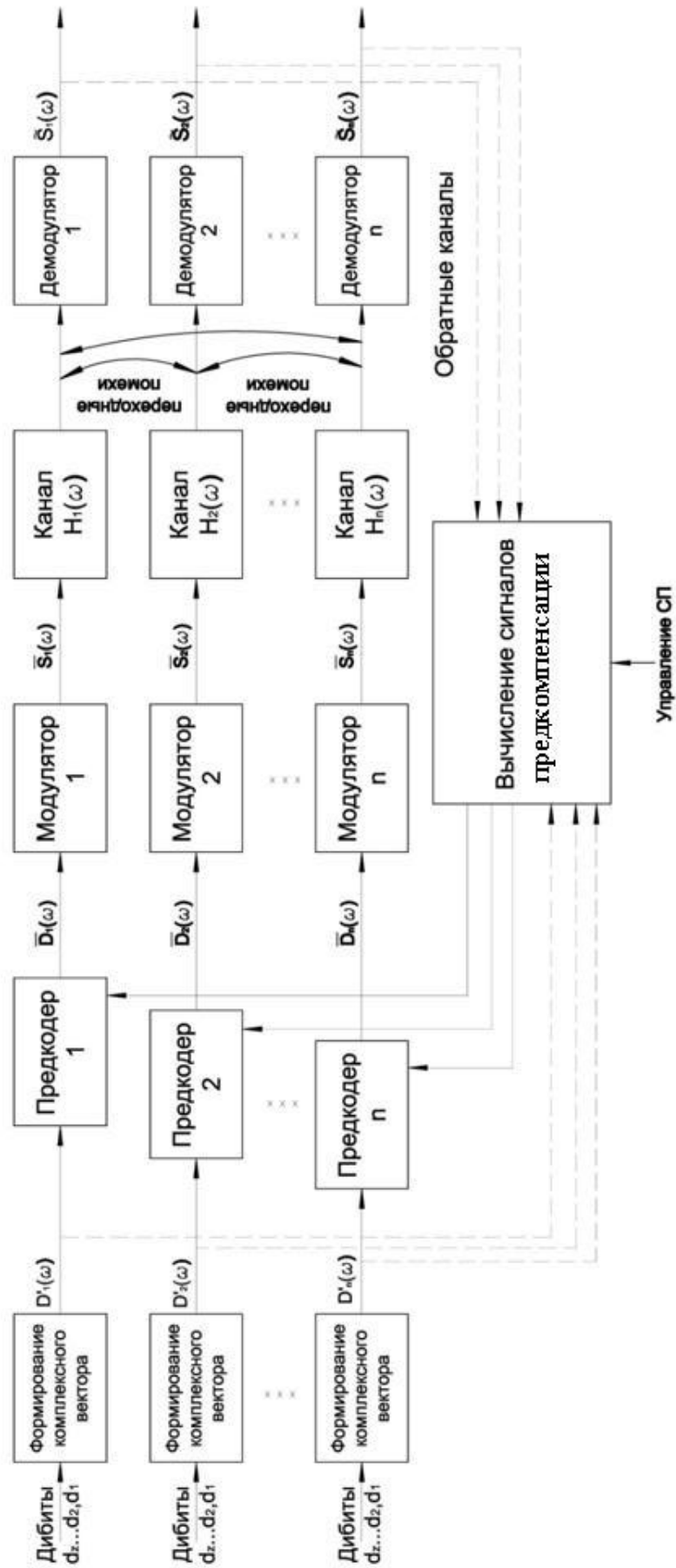


Рисунок 2 – Структурная схема системы векторинга G.Fast

Компенсующие сигналы в передатчике суммируются с информационными сигналами и результирующие сигналы передаются по каналу связи. Очевидно, что при условии корректности расчетов предсказанный сигнал подавит межканальные переходные помехи от собственных сигналов СП (без добавленных компенсирующих).

$$\left(S_l(\omega) - \sum_{m \neq l} \frac{\tilde{S}_{lm}(\omega)}{H_l(\omega)} \right) * H_l(\omega) + \sum_{m \neq l} \tilde{S}_{lm}(\omega) = S_l(\omega) * H_l(\omega) \quad (4)$$

В результате не подавленными окажутся переходные помехи, порожденные компенсирующими сигналами СП. Рассмотрим, с целью упрощения, две влияющие СП. Оценим мощность некомпенсированных помех. Передаваемые сигналы СП G.Fast, с учетом компенсирующих, описываются формулами

$$S_1'(\omega) = S_1 - \frac{S_2(\omega) * H_{12}(\omega)}{H_1(\omega)} \quad \text{передаваемый сигнал первой СП;}$$

$$S_2'(\omega) = S_2 - \frac{S_1(\omega) * H_{12}(\omega)}{H_2(\omega)} \quad \text{передаваемый сигнал во второй СП.}$$

В результате компенсации остается некомпенсированная помеха:

в первом канале –

$$\frac{S_1(\omega) * H_{12}(\omega)}{H_2(\omega)} * H_{12}(\omega),$$

во втором –

$$\frac{S_2(\omega) * H_{12}(\omega)}{H_1(\omega)} * H_{12}(\omega), \quad H_{12}(\omega) = H_{21}(\omega).$$

В общем виде при N влияющих цепях некомпенсированная помеха в l канале описывается

$$P_l' = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq l}}^n \frac{S_1(\omega) * H_{lm}(\omega)}{H_m(\omega)} * H_{lp}(\omega), \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Учитывая статистическую независимость $S_l(\omega)$ и считая, что

$$H_{lm}(\omega) = H_p(\omega), H_l(\omega) = H(\omega)$$

формула 5 примет вид:

$$P_l' = \frac{(p-1) * \bar{H}_p^2(\omega)}{H(\omega)} * S_l(\omega), \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

Оценим скорость передачи, достигаемую системой G.Fast при разных длинах телефонной линии и параллельной работе нескольких систем (n = 2, ..., 30) рис. 3.

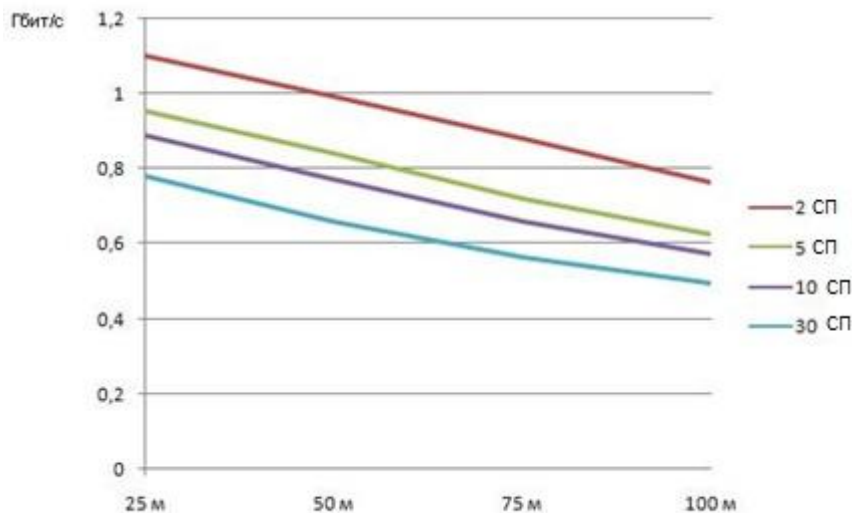


Рисунок 3 – Суммарная скорость передачи (вверх и вниз) по одной АЛ СП G.Fast при параллельной работе n СП

Для оценки эффективности подавления межканальных помех была рассчитана скорость передачи СП G.Fast в зависимости от длины линии и только аддитивных внешних шумов.

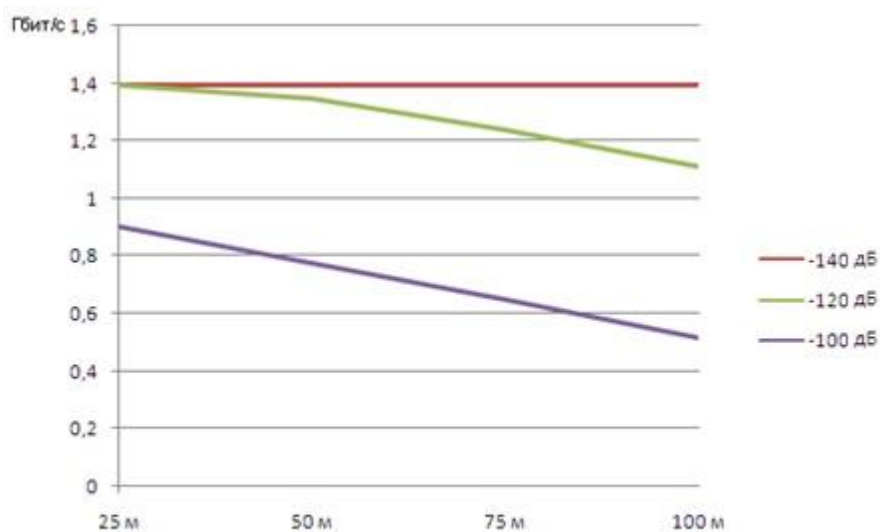


Рисунок 4 – Суммарная скорость передачи (вверх и вниз) по одной АЛ СП G.Fast в зависимости от мощности аддитивного белого шума и длины линии

Для оценки скорости использовали известную формулу расчета количества бит на несущую в системах передачи с OFDM [6]. СП G.Fast описывалась маской мощности передатчика. В качестве АЛ был использованы измеренные характеристики кабеля типа ТППЭп 50х2х0,4 в диапазоне частот от 1 до 100 МГц.

В заключение можно отметить следующее. Получены оценки межканальных переходных помех в СП G.Fast порождаемых при параллельной работе по телефонному многопарному кабелю и оценена достигаемая скорость передачи в зависимости от числа СП и длины АЛ.

Литература

1. Verry, Tim (2013-08-05). "G.Fast Delivers Gigabit Broadband Speeds To Customers Over Copper (FTTdp)".
2. ITU-T work programme – G.9701 (ex G.Fast-phy) – Fast Access to Subscriber Terminals (G.Fast) - Physical layer specification". ITU-T. 2014-01-07. Retrieved 2014-02-14.
3. Ricknäs, Mikael (2013-07-02). "Alcatel-Lucent gives DSL networks a gigabit boost". PCWorld. Retrieved 2014-02-13.
4. Рек. МСЭ-Т G.993.5 (04/2010) 5
5. *Балашов В.А.* Технологии широкополосного доступа xDSL / Балашов В.А., Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М. – М.: Экотрендз, 2009.
6. *Балашов В.А.* Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / Балашов В.А., Воробийченко П.П., Ляховецкий Л.М. – М.: Экотрендз, 2005.