

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ СИСТЕМ SHDSL EFM У РЕЖИМІ АГРЕГАЦІЇ ПАР КАБЕЛЮ

Носков В.І.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: nvi2010@ukr.net*

SHDSL EFM systems bandwidth investigation in cable pairs aggregation mode

In modern access networks based on copper cable, EFM is widely used. This technology, using the PAF function, allows you to unevenly distribute data flow between pairs of cables depending on their quality. However, the function of PAF due to the additional fields in data frame leads to decrease the throughput of the transmission system. In addition, there are transitional interference between pairs, which also reduces the throughput of the connection. This report is devoted to researching of impact these two factors on EFM transmission system throughput.

У сучасних мережах доступу, побудованих на основі мідного кабелю, активно використовується технологія EFM (Ethernet in First Mile – Ethernet на першій милі), яка описана в стандарті IEEE 802.3 та носить назву 2Base-TL. Цей стандарт представляє собою модифіковану широко відому технологію G.SHDSL (MCE-T G.991.2). Для роботи у багатопарному режимі G.SHDSL з EFM, замість рівномірного розподілу цифрового потоку по парам кабелю, використовує алгоритм PAF (PME Aggregation Function – функція агрегації трансиверів SHDSL). При використанні протоколу PAF є декілька факторів, що впливають на перепускню здатність системи G.SHDSL з EFM. По перше, це сам протокол PME, який у своєму форматі даних має службові поля. По-друге, при багатопарному режимі спостерігаються взаємні завади між парами, які можуть суттєво знизити перепускню здатність системи G.SHDSL з EFM. Тому дослідження одночасного впливу цих двох факторів на перепускню здатність є актуальною задачею, рішення якою дозволить підвищити точність проектування мереж доступу на основі мідного кабелю та прискорить діагностику ліній.

Для кількісної оцінки зниження перепускної здатності під впливом протоколу PAF та перехідних завад використовується коефіцієнт $K_{\Sigma} = K_{\text{PAF}} * K_{\text{ПЗ}}$.

Спочатку розглянемо вплив власне протоколу PAF на перепускню здатність системи G.SHDSL з EFM.

Протокол PAF передбачає сегментацію кадрів Ethernet, за виключенням преамбули та IPG (Inter Packet Gap), на фрагменти довжиною від 64 до 512 байтів у залежності від розміру фрейму Ethernet. До цих фрагментів додаються службові поля загальним розміром 6 байт. За рахунок додавання службових полів при використанні PAF перепускна здатність G.SHDSL-лінії буде знижуватись по відношенню до однопарного режиму відповідно до коефіцієнту $K_{\text{PAF}} = 0,91 \dots 0,98$.

Оцінка впливу перехідних завад через коефіцієнт $K_{\text{ПЗ}}$ проводилась наступним чином.

Коефіцієнт зниження перепускної здатності системи G.SHDSL внаслідок перехідних завад можливо визначити як:

$$K_{ПЗ} = h_{ПЗ}^2 / h_0^2, \text{ або } K_{ПЗ, дБ} = h_{ПЗ}^2 - h_0^2$$

де: $h_{ПЗ}^2$ – відношення енергії сигналу в точці прийому, що переносить 1 біт даних, до спектральної щільності теплового шуму та перехідних завад; h_0^2 – відношення енергії сигналу в точці прийому, що переносить 1 біт даних, до спектральної щільності тільки теплового шуму.

Таким чином, перепускна здатність однієї пари лінії SHDSL EFM буде визначатися:

$$C = C_{m=1} * K_{\Sigma},$$

де: $C_{m=1}$ – перепускна спроможність однієї пари у відсутності перехідних завад.

Співвідношення h_0^2 можна записати наступним чином:

$$h_0^2 = P_c / (R * N_0), \text{ або } h_{0, дБ}^2 = P_c - R - N_0,$$

де: P_c – потужність сигналу у точці прийому; R – швидкість передачі даних; N_0 – спектральна щільність теплових шумів у точці прийому.

Спектральна щільність теплових шумів відповідно до прийнятої моделі теплових шумів у системі G.SHDSL не залежить від частоти та дорівнює $N_0 = -120$ дБм/Гц, або 10^{-12} мВт/Гц.

Потужність сигналу у точці прийому визначається як:

$$P_c = \int_{F1}^{F2} (PSD_{tx}(f) / L(f)) df,$$

де: $PSD_{tx}(f)$ – спектральна щільність сигналу на виході передавача; $L(f)$ – згасання сигналу у кабельній лінії; $F1 = 5$ кГц – мінімальна частота спектру лінійного сигналу TC-PAM16/32/64/128; $F2 = f_{sym}/2$ – максимальна частота спектру лінійного сигналу TC-PAM; $f_{sym} = (R+8000)/K$ – символна швидкість модуляції; K – кількість інформаційних символів у модуляційному блоці.

Спектральна щільність сигналу на виході передавача визначається як [3,4]:

$$PSD_{tx}(f), \text{ дБм/Гц} = \frac{P_{SHDSL}}{135} \times \frac{1}{f_{sym}} \times \left(\frac{\sin(\frac{\pi f}{f_{sym}})}{\frac{\pi f}{f_{sym}}} \right)^2 \times \frac{1}{1 + (\frac{f}{F2})^{2 \times order}} \times \frac{f2}{f^2 + F1^2},$$

де: $P_{SHDSL} = 7,86$ ($R < 2048$ кбіт/с) та $9,90$ ($R \geq 2048$ кбіт/с) – масштабний коефіцієнт; $order = 6$ – порядок згладжувального фільтру на виході передавача.

Згасання сигналу у кабельній лінії визначається наступним чином [5]:

$$L(f), \text{ дБ} = D \times 8,69 \times \sqrt{\frac{1}{2} \left(r g - l c (2\pi f)^2 + \sqrt{(r^2 + l^2 (2\pi f)^2)(g^2 + c^2 (2\pi f)^2)} \right)}$$

де: r, g, c, l – погонні опір, провідність ізоляції, ємність та індуктивність пари кабелю, відповідно; D , км – довжина лінії.

Співвідношення $h_{ПЗ}^2$, що враховує перехідні завади виглядає наступним чином:

$$h_{ПЗ}^2 = P_c / R(N_0 + N_{ПЗ}),$$

де: $N_{ПЗ}$ – середня спектральна щільність перехідних завад як на ближньому

кінці, так і на дальньому кінці кабелю.

З урахування, що перехідні завади на дальньому кінці кабелю на порядок менші ніж на ближньому кінці, то є сенс враховувати тільки останні.

У цьому випадку можна записати:

$$N_{ПЗ} = \frac{1}{F_2 - F_1} \int_{F_1}^{F_2} \frac{\sum_{i=1}^{m-1} PSD_{txi}(f)}{NEXT_i(f)},$$

де: $NEXT_i(f)$, дБ = $NEXT_i(f=1000 \text{ кГц}) - 15 \lg(f/1000)$ – перехідне ослаблення сигналу між парами; m – кількість пар, що використовуються.

За наведеними формулами та з урахуванням втрат, що створює сам алгоритм RAF, виконані розрахунки перепускної спроможності однієї пари лінії SHDSL EFM, побудованій на кабелі ТПП 50x2x0,5, у залежності від довжини лінії. Вихідні дані: лінійний сигнал ТС-РАМ128, NEXT=60 дБ на частоті 1000 кГц, запас завадостійкості 4 дБ. Результати наведені на рис. 1.

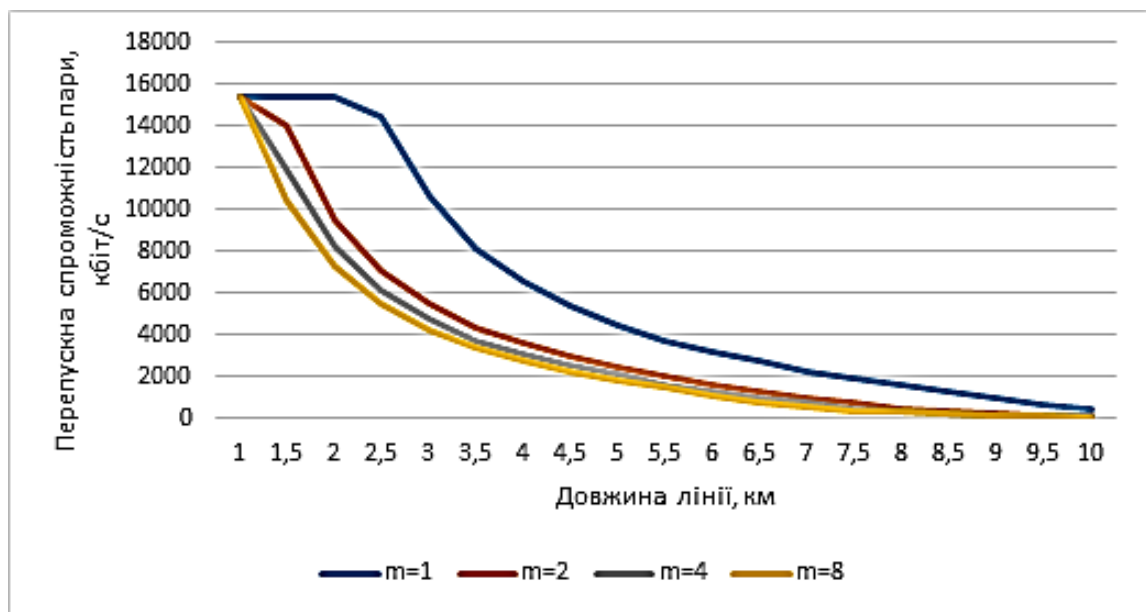


Рис. 1. Перепускна спроможність однієї пари SHDSL EFM.

Висновки:

1. Протокол RAF знижує перепускну здатність лінії на 2...9% у залежності від розміру Ethernet-фреймів.

2. Перехідні завади знижують перепускну здатність лінії на 30...50% навіть при використанні кабелю з паспортними характеристиками.

3. Для зниження втрат перепускної здатності лінії необхідно підтримувати параметри кабелю у нормі та підбирати для роботи пари з мінімальним взаємним впливом.

Література

1. Стандарт IEEE 802.3, part 3, section 5, clause 61, 2010.
2. Watson SHDSL EFM Plug-in. Operating manual.: Schmid Telecom, 2014.
3. ITU-T Recommendation G.991.2, 2003.
4. В.А. Балашов и др.. Технологии широкополосного доступа xDSL – М.: Эко-Трендз, 2009. 256с.: ил.
5. Cable reference models for simulating metallic access networks. ETSI STC TM6.