

ПІДХОДИ ЩОДО РОЗРОБКИ РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВИБОРУ ВИДУ ЛІНІЙНОГО СИГНАЛУ В МЕРЕЖАХ ДОСТУПУ SHDSL

Носков В.І.

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

Approaches concerning the recommendation for choosing of the line signal type in SHDSL access networks

In access networks based on copper cable, SHDSL technology is widely used. SHDSL equipment has the possibility to choose PAM line signal with different constellation. However, in existing manual you do not find clear rules concerning the choosing of line signal depending of conditions for using the equipment. This report is devoted to finding the approaches for such recommendations.

У мережах доступу, що у якості середовища передачі використовують мідний кабель, є поширеною технологія SHDSL. Сучасне обладнання SHDSL має можливість при конфігуруванні вибирати різні варіанти лінійного сигналу виду PAM, від TC-PAM16 до TC-PAM128. Тому актуальною задачею є розробка рекомендацій щодо вибору виду модуляції. Деякі підходи до вирішення цієї задачі наведені у даній доповіді.

Одним з напрямків пошуку підходів в формулюванні рекомендацій щодо вибору лінійного сигналу може бути порівняння запасу завадостійкості (SQ) для певних відстаней та швидкостей передачі при різних видах модуляції.

Відомо, що коефіцієнт помилок (BER) є функцією від співвідношення енергії сигналу у перерахунку на 1 біт до спектральної щільності завад у точці прийому (для спрощення розрахунків будемо вважати, що діють тільки теплові шуми):

$$BER = f(h^2),$$

де: $h^2 = \frac{E}{N_0}$; $E = P_c * T_c = \frac{P_c}{R}$ – енергія 1 біту сигналу у точці прийому; R – бітова швидкість передачі; P_c – потужність сигналу у точці прийому; N_0 – спектральна щільність теплових шумів.

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:

$$P_c = \int_{F1}^{F2} (PSD_{tx}(f) / L(f)) df, \quad (1)$$

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 ТС-РАМ; $F2 = f_{sym}/2$ – максимальна частота спектру лінійного сигналу ТС-РАМ; $f_{sym}=(R+8000)/K$ – символна швидкість модуляції; K – кількість інформаційних символів у модуляційному блоці (ТС-РАМ16 – 3; ТС-РАМ32 – 4; ТС-РАМ64 – 5; ТС-РАМ128 – 6).

Спектральна щільність сигналу на виході передавача визначається як [1,2]:

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

де: $PSHDSL = 7,86$ ($R < 2048$ 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 [3]:

$$L(f), \text{ дБ} = D \times 8,69 \times \sqrt{\frac{1}{2} (rg - lc(2\pi f)^2 + \sqrt{(r^2 + l^2(2\pi f)^2)(g^2 + c^2(2\pi f)^2)}),} \quad (3)$$

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

Коефіцієнт помилок (BER) для сигналу з модуляцією РАМ може бути визначеним за приблизною формулою, яка відноситься до систем передачі з некогерентною обробкою багатопозиційних сигналів:

$$BER \approx (M - 1) e^{-\frac{h^2}{2(M-1)}}, \quad (4)$$

де: $M = 16, 32, 64, 128$ – позиційність РАМ-модуляції.

Оскільки побудова модулятора відповідає принципам сигнально-кодових конструкцій, то треба ще враховувати вигреш від застосування завадостійкого кодування, що складає близько 3 дБ.

Таким чином, з одного боку збільшення позиційності модуляції РАМ зменшує втрати сигналу в кабельній лінії, а з другого боку різко погіршується завадостійкість системи передачі. Тому для певної швидкості передачі та довжини кабельної лінії може існувати оптимальне з точки зору максимальної завадостійкості значення позиційності РАМ. Також треба враховувати і вплив систем SHDSL на інші системи DSL-доступу, що працюють у тому ж самому кабелю. Перехідні завади зменшуються пропорційно звуженню спектру SHDSL, ширина якого тим менша, чим більша позиційність модуляції.

Запас завадостійкості SQ є різниця між h^2 для даної відстані та швидкості, що може бути розрахованим за формулами (1...3), та h^2 , що потребується для забезпечення заданого коефіцієнту помилок (розраховується за формулою 4).

У якості прикладу для пояснення підходів до вибору виду модуляції нижче наведені розрахунки запасу завадостійкості для кабелю ТПП $N \times 2 \times 0,5$, різних видів модуляції, довжин траси та для швидкостей 2 та 4 Мбіт/с (табл.1 та табл.2).

Таблиця 1. Швидкість 2 Мбіт/с.

Довжина траси, км		2	3	4	5	6
ТС-РАМ16	h^2 потр., дБ	24,5				
	h^2 розр., дБ	51,48	41,47	31,46	21,45	11,44
	SQ, дБ	26,98	16,97	6,96	-3,05	-13,06
ТС-РАМ32	h^2 потр., дБ	27,85				
	h^2 розр., дБ	53,06	43,84	34,62	25,4	16,18
	SQ, дБ	25,21	15,99	6,77	-2,45	-11,67
ТС-РАМ64	h^2 потр., дБ	31,1				
	h^2 розр., дБ	54,76	46,39	38,02	29,65	21,28
	SQ, дБ	23,66	15,29	6,92	-1,45	-9,82
ТС-РАМ128	h^2 потр., дБ	34,3				
	h^2 розр., дБ	56,22	48,58	40,94	33,3	25,66
	SQ, дБ	21,92	14,28	6,64	-1	-8,64

Таблиця 2. Швидкість 4 Мбіт/с.

Довжина траси, км		2	3	4	5	6
ТС-РАМ16	h^2 потр., дБ	24,5				
	h^2 розр., дБ	41	27,25	13,5	-0,25	-14
	SQ, дБ	16,5	2,75	-11	-24,75	-38,5
ТС-РАМ32	h^2 потр., дБ	27,85				
	h^2 розр., дБ	43,26	30,64	18,02	5,4	-7,22
	SQ, дБ	15,41	2,79	-9,83	-22,45	-35,07
ТС-РАМ64	h^2 потр., дБ	31,1				
	h^2 розр., дБ	45,88	34,57	23,26	11,95	0,64
	SQ, дБ	14,78	3,47	-7,84	-19,15	-30,46
ТС-РАМ128	h^2 потр., дБ	34,3				
	h^2 розр., дБ	48,48	38,47	28,46	18,45	8,44
	SQ, дБ	14,18	4,17	-5,84	-15,85	-25,86

У вищенаведених таблицях: h^2 потр. – потрібне значення h^2 для забезпечення коефіцієнту помилок 10^{-7} ; h^2 розр. – результат розрахунку h^2 для різних довжин траси.

З наведених таблиць можна зробити наступні висновки:

1. Для швидкості 2 Мбіт/с оптимальним з точки зору максимуму SQ є вид модуляції ТС-РАМ16.

2. Для швидкості 4 Мбіт/с та відстаней менших за 2 км оптимальним за тим же критерієм є ТС-РАМ16. При більших довжинах траси доцільніше використовувати ТС-РАМ128.

3. Даний підхід можливо використовувати для інших значень швидкостей та відстаней.

Література

- ITU-T Recommendation G.991.2, 2003.
- В.А. Балашов и др.. Технологии широкополосного доступа xDSL – М.: Эко-Трендз, 2009. 256с.: ил.
- Cable reference models for simulating metallic access networks. ETSI STC TM6.