

АНАЛІЗ СИСТЕМ АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ З ОРТОГОНАЛЬНИМ СЕГМЕНТУВАННЯМ

Abstract: Effectiveness of technology of segmentation using analysis for digital subscriber line (DSL) is analyzed. Analytical models which permits to estimate orthogonal signals using in the dependence on parameters and condition of DSL work are offered.

Key words: a user's line, segmentation, condensation of channels.

Анотація: У статті аналізується ефективність використання технології сегментування у цифрових абонентських лініях (ЦАЛ). Запропоновано аналітичні моделі, які дозволяють оцінювати доцільність використання ортогональних сигналів в ЦАЛ в залежності від параметрів і умов роботи системи.

Ключові слова: абонентська лінія, сегментування, ущільнення каналів.

Аннотация: В статье анализируется эффективность использования технологии сегментирования в цифровых абонентских линиях. Предложены аналитические модели, которые позволяют оценивать целесообразность использования ортогональных сигналов в цифровых абонентских линиях в зависимости от параметров и условий работы системы.

Ключевые слова: абонентская линия, сегментация, уплотнение каналов.

1. Вступ

Надання високошвидкісних послуг доступу до телекомунікаційних мереж за допомогою цифрових абонентських ліній (ЦАЛ) наштовхується на певні проблеми. Ці проблеми характерно виявляються

при використанні ЦАЛ існуючих кабелів з мідними жилами, які мають відомі недоліки [1 – 4]. З метою подолання цих недоліків використовують технології xDSL (Digital Subscriber Line).

Серед великої кількості класифікованих технологій xDSL великий клас становлять технології, які використовують методи багатопозиційної модуляції, зокрема, метод дискретної модуляції з множиною несучих DMT (Discrete Multi Tone). При цьому можна виділити декілька способів використання загальної смуги частот ЦАЛ. Одним з них є спосіб сегментування загальної смуги частот і наданої частини сегментів для утворення абонентського каналу. Стаття присвячена порівняльному аналізу планів розподілу сегментів.

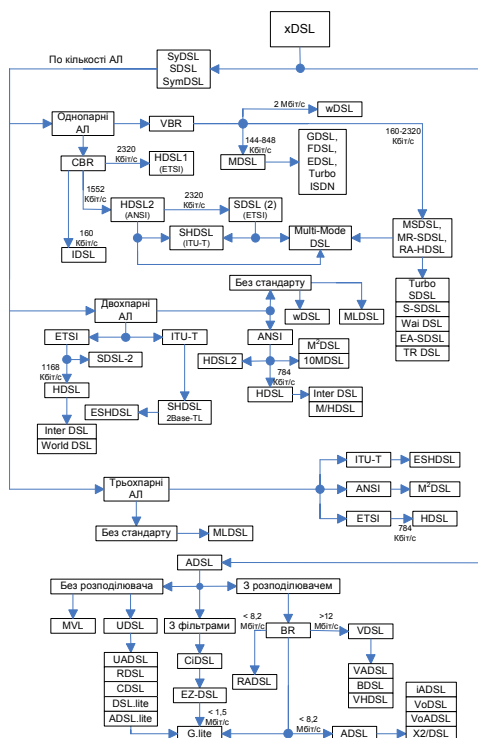


Рис. 1. Узагальнена класифікація технологій xDSL

застосуванню спеціальних методів модуляції, кодування, статистичного і кодового ущільнення (CDMA) [1–7]. Узагальнена класифікація технологій xDSL за різними ознаками наведена на рис. 1, а технічні можливості різних типів технологій DSL в табл. 1 [1, 4].

У більшості технологій DSL для паралельного передавання цифрового потоку використовується метод дискретної модуляції з множиною несучих DMT. Як несучі

2. Особливості технологій xDSL

Технології xDSL дозволяють підвищити пропускну здатність існуючих ланцюгів на мідних проводах завдяки

використовуються ортогональні гармонічні сигнали. Окрім DMT використовуються також квадратурна амплітудна модуляція QAM (Quadrature Amplitude Modulation), АФМ без несучої CAP (Carrierless Amplitude And Phase Modulation – CAP), AIM з решітковим кодуванням TC-PAM (Trellis Codet-Pulse Amplitude Modulation).

Таблиця 1. Основні характеристики технології DSL

Тип технології DSL	Метод модуляції / кодування	Швидкість передавання, кбіт/с		Максимальна дальність, км (жила 0,5мм)	Стандарти ІТУ-Т
		Потік угору	Потік униз		
ЦАЛ(DSL)	2B1Q	160		1.5	G.961
ЦАЛ ISDN(IDSL)	2B1Q	128		8	G.961
Високошвидкісна ЦАЛ (High bit rate DSL-HDSL)	CAP8, CAP16, CAP32, CAP64 (2B1Q)	1024 (Одна пара) 2048 (Дві пари)		6	G.991.1
Симетрична ЦАЛ (Symmetrical DSL-SDSL)	CAP8, CAP16, CAP32, CAP64, TC-PAM	2048		6	G.991.2
Надвисокошвидкісна ЦАЛ (very HDSL-VDSL)	CAP32, CAP64, CAP128, DMT	12000	51000	0,3	"G.vDSL"
Асиметрична ЦАЛ (Asymmetric DSL-ADSL)	CAP8, CAP16, DMT	64	8448	2,7	G.992.1 "G.dmt"
Асиметрична полегшена ЦАЛ (ADSL lite)	CAP8, DMT	384	1554	3	G.992.2 "G.lite"
Універсальна ADSL (Universal ADSL-UADSL)	CAP8, DMT	542	1554	3	G.992.1
ЦАЛ з адаптацією швидкості (Rate adaptive DSL-RADSL)	CAP8, DMT	600	7000	3	G.992.1
Багатошвидкісна ЦАЛ (Multi Speed DSL-MSDSL)	CAP32, CAP64, CAP128, DMT, (2B1Q)	2300		4,7	G.962
HDSL-2	TC-PAM			3	

Метод DMT передбачає розподіл смуги частот СПД між 256 парціальними підканалами, у кожному з яких є своя субнесуча частота. Кожний з паралельних підканалів має ширину смуги пропускання 4,3125 кГц. Перший підканал використовується для передавання традиційних мовних повідомлень і для побудови телефонної мережі загального користування (ТМЗК).

Для потоку даних від мережі до абонента («униз») виділено канали з номерами 33 – 280, які займають смугу частот у 962 кГц (від 138 кГц до 1,1 МГц). Таким чином, загальний потік вхідних даних поділяється на N незалежних каналів з різними несучими частотами.

До основних особливостей методу DMT можна віднести такі:

- метод використовує мультиплексування з частотним поділом типу FDM (Frequency Division Multiplexing), яке тісно пов'язане с ортогональним FDM (OFDM);
- кожен з підканалів незалежно модулюється за допомогою квадратурної амплітудної модуляції QAM;
- при теоретичному значенні пропускної здатності основного цифрового каналу (ОЦК) 64 кбіт/с на 1 Гц смуги кожного з підканалів припадає 16 біт/с/Гц;
- інформація переноситься за допомогою імпульсної послідовності (несучої) у смузі пропускання 1,104МГц;
- теоретична пропускна здатність для даних зі смугою 1,104МГц складає 16,384 Мбіт/с;
- реалізація різних варіантів каналів ADSL, побудованих з використанням методу DMT, передбачається стандартами ІТУ і ANSI (American National Standard Institute).

Розподіл частотного спектру для методу DMT каналу ADSL наведений на рис. 2.

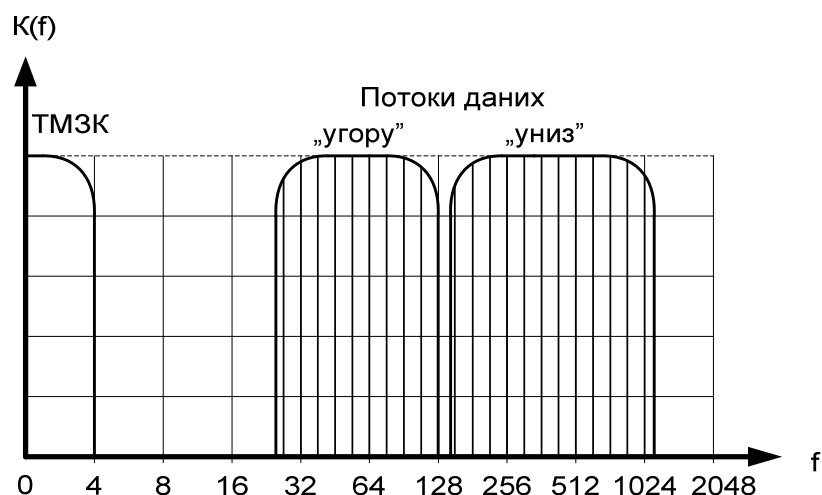


Рис. 2. Розподіл смуг частот DMT для каналу DSL

Одним з основних показників СПД, які визначають якість передавання даних по каналу DSL, є значення частоти появи помилкових бітів (Bit Error Rate – BER). Для каналів DSL з модуляцією DMT значення BER не повинне бути гірше, ніж 10^{-7} . З метою забезпечення такого значення BER запас завадостійкості (різниця між рівнями сигналу і шуму) у підканалах від абонента до мережі і в зворотному напрямку має складати 6 дБ.

Існує багато методів розподілу загальної смуги частот між каналами користувачів. До числа перспективних можна віднести цілу групу методів, які передбачають сегментацію за певними правилами виділеної смуги частот і у наданні частини з цих сегментів для утворення каналу абонентського доступу.

3. Порівняння планів розподілу сегментів

Оцінка доцільних умов використання технології сегментування смуги частот багатоканальної системи передачі даних (СПД) проаналізована в роботах [5–7].

Суть методу сегментування полягає в тому, що виділена для багатоканальної СПД загальна смуга частот F розбивається на s сегментів і для кожного з каналів ЦАП за певним законом виділяється k сегментів. Деяка частина з цих k сегментів може одночасно входити до складу r каналів із загальної кількості n у межах смуги частот F . Якщо перекриття каналів по окремих сегментах немає, то пропускна здатність одного каналу складає

$$C_1 = \frac{F}{n} \log_2 \left(1 + \frac{P_c \cdot n}{\delta_0^2 F} \right), \quad (1)$$

де δ_0^2 - спектральна щільність завади; P_c – середня потужність сигналу.

При перекритті каналів по деякій частині сегментів пропускна здатність C_2 окремого каналу складатиме

$$C_2 = k \sum_{i=0}^{r-1} p_i b_i = k R_0; \quad (2)$$

$$R_0 = \sum_{i=0}^{r-1} p_i b_i,$$

де $r = \frac{nk}{s}$ – кількість каналів, які використовують загальний сегмент; p_i – імовірність використання сегмента іншими i користувачами; b_i – пропускна здатність сегмента у i -й ситуації.

За критерій доцільності використання методу сегментації була обрана величина

$$B_C = \frac{C_2}{C_1} = \frac{kR_0}{C_1}; \quad (3)$$

$$B_k = B_C (1 + \gamma)^{-1}, \quad (4)$$

де коефіцієнт $\gamma = \beta / (\alpha C_1)$ є відношенням приведених річних витрат на один канал апаратури ущільнення до орендної плати за канал зв'язку з пропускною здатністю C_1 ; α – річна орендна плата за одиницю пропускної здатності.

У реальних умовах величина B_C характеризується певною дисперсією $D[B_C]$, яка залежить від обраного закону розподілу k сегментів із s між каналами. Для визначення $D[B_C]$ необхідне знання дискретного закону розподілу B_C . Цей закон розраховується для кожного конкретного розподілу сегментів.

Позначимо через ε кількість сегментів, які однаково використовуються в інших інтерферуючих каналах. Тоді імовірність Q того, що величина B_C зменшується на ε/k , визначається за формулою

$$Q(B_\varepsilon) = B_C \left(1 - \frac{\varepsilon}{k}\right) = \sum_{\{\varepsilon\}} p^\nu (1-p)^{A-1-\nu}, \quad (5)$$

де ν – кількість кореспондентів, які займають ε із k сегментів каналу, що розглядаються; A – кількість інтерферуючих каналів.

З точки зору зменшення взаємних завад між каналами, найбільш привабливими планами розподілу сегментів є плани, які описуються яким-небудь сімейством нормованих ортогональних функцій, наприклад, функцій Уолша, Адамара, Радемахера, Ріда – Соломона та інших [3, 5].

Одними з найбільш ефективних для формування систем ортогональних функцій вважаються функції Уолша. Їх можна отримати шляхом відображення рядків квадратних матриць Адамара, які визначаються таким символічним рівнянням

$$H_{2N} = \begin{vmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \vec{H}_N \end{vmatrix}, \quad (6)$$

де H_N – це матриця Адамара порядку N , а H_{2N} – це матриця Адамара порядку $2N$.

Один рядок матриць Адамара складається тільки з нулів. Інші рядки мають рівні кількості нулів та одиниць. Систему ортогональних функцій Уолша довжиною $2N$ можна отримати з відповідної матриці Адамара, яка складається за рекурсивним алгоритмом

$$H_1 = |0|; \quad H_2 = \begin{vmatrix} 00 \\ 01 \end{vmatrix}; \quad H_4 = \begin{vmatrix} 0000 \\ 0101 \\ 0011 \\ 0110 \end{vmatrix}; \quad H_8 = \begin{vmatrix} 00000000 \\ 01010101 \\ 00110011 \\ 01100110 \\ 00001111 \\ 01011010 \\ 00111100 \\ 01101001 \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Як функції Уолша можна обирати рядки (або стовбці) матриці Адамара. Один з можливих планів розподілу сегментів для $N = s = 8, k = 4, n = 6$ наведено у табл. 2. У табл. 3 подано варіант плану розподілу сегментів, який базується на системі ортогональних функцій Радемахера.

Таблиця 2. План розподілу сегментів за Уолшем

Номер каналу	Номер сегмента							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	0	1	0	1	0	1
2	0	0	1	1	0	0	1	1
3	0	1	1	0	0	1	1	0
4	0	0	0	0	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	0
6	0	0	1	1	1	1	0	0

Таблиця 3. План розподілу сегментів за Радемахером

Номер каналу	Номер сегмента							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	1	0	1	0	1	0
2	0	1	0	1	0	1	0	1
3	1	1	0	0	1	1	0	0
4	0	0	1	1	0	0	1	1
5	1	1	1	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	1	1	1

Порівняння обох планів розподілу сегментів показує їх схожість. Розрахунки за формулами (5) – (7) розподілу імовірностей $Q[B_\varepsilon]$, середніх значень пропускнуої здатності $M[C_2]$ та дисперсії $D[C_2]$ дали результати, які наведені у табл. 4.

Таблиця 4. Порівняльні дані планів розподілу сегментів

Величина $Q[B_\epsilon]$	План 1 (Уолш)	План 2 (Радемахер)
$Q[C_2 = 4b]_{\epsilon=0}$	$(1-p)^4$	$(1-p)^4 + p(1-p)^3$
$Q[C_2 = 2b]_{\epsilon=2}$	$5p(1-p)^3$	$4p(1-p)^3 + 4p^2(1-p)^2$
$Q[C_2 = b]_{\epsilon=3}$	$8p^2(1-p)^2 + 2p^3(1-p) = 2p^2(1-p)(4-3p)$	$4p^2(1-p)^2 + 4p^3(1-p)$
$Q[C_2 = 0]_{\epsilon=4}$	$2p^2(1-p)^2 + 8p^3(1-p) + 5p^4$	$2p^2(1-p)^2 + 6p^3(1-p) + 5p^4$
$M[C_2]$	$4b(1-p)(1-p/2) \approx 4b(1-1,5p)$	$4b(1-p)$
$D[C_2]$	$\approx 16b^2(1-p)^2 p(1,25-5p) = 20b^2(1-p)^2 p(1-4p)$	$\approx 16b^2(1-p)^2 p(1-3p)$
$M[B_k]$	$4(1-1,5p)(1+\gamma)^{-1}$	$4(1-p)(1+\gamma)^{-1}$
$D[B_k]$	$20(1-p)^2 p(1-4p)(1+\gamma)^{-2}$	$16(1-p)^2 p(1-3p)(1+\gamma)^{-2}$

4. Висновки

Аналіз наведених у табл. 4 результатів дозволяє зробити наступні висновки:

1. План розподілу сегментів за Радемахером (план 2) забезпечує кращу середню пропускну здатність каналу зв'язку $M[C_2]$ і меншу дисперсію $D[C_2]$, ніж план розподілу за Уолшем.
2. Зростання величини p_1 може суттєво зменшувати середню пропускну здатність $M[C_2]$.
3. Значення $[B_k]$ і $D[B_k]$ визначаються тільки значенням p і планом розподілу сегментів за умови $\gamma \ll 1$.
4. Величина $D[B_k]$ залежить не тільки від плану розподілу частотних сегментів, але і від інтенсивності навантаження каналу і його номера.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. – М.: ИГ ЭНТЕР – профи, 1999. – 254 с.
2. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Цифровые сети доступа. – М.: Эко – Трендз, 2005. – 288 с.
3. Харченко В.П., Паук С.М., Нестерова Л.М., Бабак Є.А. Супутникові системи авіаційного зв'язку. – К.: НАУ, 2003. – 188 с.
4. Современные телекоммуникации / Под ред. С.А. Довгого. – М.: Эко – Трендз, 2003. – 320 с.
5. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
6. Антонов В.В., Климчук В.П., Паук С.М., Потапов В.Г. Аналіз доцільності використання технології сегментування у каналах абонентського доступу // Защита информации: Сборник научных трудов НАУ. – 2005. – № 12. – С.200– 205.
7. HABER F. On the Capacity of Randomly Used Shared Channels. – IEEE T-EMC. – 1990. – Vol.12, N4. – P.146–151.