



УДК 621.391

EVALUATION OF THE INTERFERENCE IMPACT ON THE TRANSMISSION RATE OF VDSL2 SYSTEMS OPERATING OVER TPP AND UTP CAT 5E CABLES

ОЦІНКА ВПЛИВУ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАВАД НА ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАВАННЯ СИСТЕМ VDSL2 ПРИ РОБОТІ ПО КАБЕЛЯХ ТПП І UTP CAT 5E

Oreshkov V.I. / Орешков В.І.*c.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9796-0216

Makarov I.V. / Макаров І.В.*sen. lecturer / ст. викладач*

ORCID: 0000-0002-6751-0086

Stelia D.O. / Стеля Д.О.*lecturer / викладач*

ORCID: 0009-0007-7330-6261

Skrypnyk Y.O. / Скрипник Ю.О.*student / здобувач**State University of Intelligent Technologies and Telecommunications, Odesa, Kuznechna, 1, 65023**Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса, Кузнечна, 1, 65023*

Анотація. В роботі розглядається оцінка впливу інтерференційних завад на швидкість передавання систем передачі за технологією VDSL2. Розглянуто варіанти роботи систем передачі VDSL2 по кабелях типу ТПП 10х2х0,4 та UTP Cat5e 4х2х0,5 при застосуванні класичних ортогональних гармонічних сигналів і ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу, для кожного з цих варіантів розраховано швидкість передавання у низхідному та висхідному напрямках передавання. Для оцінки впливу інтерференційних завад на швидкість передавання визначено потенційно досяжні швидкості у низхідному та висхідному напрямках передавання за відсутності завад – ідеальні умови роботи СП VDSL2. Вплив інтерференційних завад оцінювався по втраті швидкості розглянутих варіантів відносно ідеальних умов. Дослідженням доведено перевагу роботи VDSL2 по кабелю UTP Cat5e 4х2х0,5 при застосуванні ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу.

Ключові слова: широкосмуговий доступ, інтерференція, технологія VDSL2, система передачі, швидкість передавання, довжина лінії, ортогональні гармонічні сигнали

Вступ.

У сучасних умовах широкосмуговий доступ до Інтернету (ШСД) є ключовою інфраструктурою, що визначає темпи розвитку економіки, соціальних сервісів та електронного урядування. Одним із пріоритетів цифрової трансформації України залишається забезпечення рівного доступу населення до високошвидкісних телекомунікаційних послуг незалежно від місця проживання абонента. Розвиток мереж ШСД, зокрема фіксованого широкосмугового доступу (ФШСД) на базі мідних абонентських ліній (xDSL-технології) та оптичних



рішень за концепціями FTTx, відбувається в умовах технічної нерівномірності регіонів, обмежених інвестиційних ресурсів та необхідності ефективної модернізації існуючих мереж [1, 2].

Для України питання розбудови сучасної мережі ФШСД є особливо актуальним. Незважаючи на активну модернізацію інфраструктури електронних комунікацій у містах, значні сільські території досі мають обмежений або повністю відсутній доступ до швидкісного Інтернету [3, 4]. Додаткові виклики створила повномасштабна війна, що триває з 2022 року, оскільки вона вимагає гнучких технічних рішень, державної підтримки та впровадження сучасних технологій, таких як FTTH (Fiber to the Home), xDSL, DOCSIS та FWA (Fixed Wireless Access) [5].

Серед технологій, здатних забезпечити високу пропускну здатність мереж ФШСД без повної заміни кабельного середовища, важливе місце посідає VDSL2 [6]. Ця технологія дає змогу забезпечувати передачу даних на швидкостях до 100 мегабіт за секунду по мідних багатопарних кабелях телефонної мережі, при цьому ефективність роботи залежить від довжини абонентської лінії, стану кабелю та рівня завад [7]. Застосування VDSL2 є доцільним у випадках, коли впровадження повноцінного оптичного підключення до абонента за концепцією FTTH економічно недоцільне, а модернізація за схемою FTTN або FTTC дозволяє зберегти існуючу мідну інфраструктуру та досягати високих швидкостей доступу при порівняно невеликих капіталовкладеннях.

У цьому контексті дослідження характеристик систем передачі (СП) за технологією VDSL2 в умовах існуючої інфраструктури мереж фіксованого ШСД України та оцінка потенційних напрямів модернізації є важливими для визначення реальних можливостей впровадження цієї технології.

Постановка задачі та вихідні дані.

Технологія VDSL2 орієнтована на застосування в мережах ФШСД побудованих за концепціями FTTC та FTTB, які передбачають наявність мідної ділянки мережі від точки закінчення оптичної мережі (ONU – optical network unit) до приміщення користувача (CP – customer premises). Зауважимо, що в



експлуатації все ще залишаються багатопарні телефонні кабелі, в Україні це в основному кабелі типу ТПП (найбільш поширений тип кабелю з діаметром жили 0,4 мм), які можна використовувати для організації ШСД за технологією VDSL2. З іншого боку, в межах багатоповерхових будинків прокладаються кабелі типу «вита пара» категорії не нижче 5, в основному це кабель UTP Cat 5e 4x2x0.5. З урахуванням вище наведеного, представляє інтерес порівняти досяжну швидкість передавання СП за технологією VDSL2 (СП VDSL2) при роботі по кабелях ТПП і UTP Cat 5e.

Оцінимо досяжну швидкість передавання СП VDSL2 при роботі по кабелях ТПП 10x2x0,4 і UTP Cat 5e 4x2x0,5 за відсутності завад, а також з урахуванням інтерференційних завад, що викликані лінійними спотвореннями при передаванні сигналу по лінії передачі.

СП VDSL2 використовує метод передавання множиною ортогональних гармонічних сигналів-носіїв (ОГС) в англomовній літературі відомий як OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – ортогональне частотне мультиплексування) або DMT (Discrete MultiTone – дискретне багатотонове (множинне) мультиплексування), при чому якщо замість класичних (традиційних) ОГС (ОГС-К) застосовувати ОГС узагальненого класу (ОГС-УК) можна зменшити рівень інтерференційних завад [8].

У попередніх роботах [9, 10] визначено рівень інтерференційних завад у СП VDSL2 відповідно при роботі по кабелях ТПП 10x2x0,4 і UTP Cat 5e 4x2x0,5. Використаємо ці дані для дослідження впливу інтерференційних завад на швидкість передавання СП VDSL2.

За результатами вище визначених інтерференційних завад можливо оцінити їх вплив на досяжну швидкість передавання. Оцінку впливу інтерференційних завад на досяжну швидкість передавання СП VDSL2 доцільно проводити у порівнянні з ідеальним варіантом, за умови відсутності будь-яких видів завад:

- без перехідних завад (варіант роботи однієї СП у багатопарному кабелі);
- без зовнішніх завад (у цьому випадку присутні тільки теплові шуми, які задаються як адитивний білий гаусівський шум з рівномірною спектральною



густиною потужності на рівні мінус 140 дБм/Гц).

Для розрахунку швидкості передавання СП VDSL2 використаємо методику описану у [8].

У дослідженні врахуємо наступні вихідні дані:

- СП VDSL2 з частотним планом B8-6 [998-M2x-B] [6];
- лінія передачі – кабелі ТПП 10x2x0,4 та UTP Cat 5e 4x2x0,5;
- довжина лінії – 100...500 м;
- тип ОГС – ОГС-К і ОГС-УК [8];
- основна частота (рознесення між каналами) – $f_0 = 17,25$ кГц;
- кількість відліків інтервала ортогональності (N) – 2048;
- кількість відліків захисного інтервала (L) – 128;
- кількість інформаційних каналів (n) – $n_{DS} = 477$ (із них downstream використовує канали 16...217 і 302...492), $n_{US} = 478$ (із них upstream використовує канали 218...301 и 493...695);
- номер першого інформаційного каналу (m) – $m_{DS} = 16$ (downstream), $m_{US} = 218$ (upstream);
- рівень зовнішніх адитивних завад – рівномірний у всьому робочому діапазоні частот зі спектральною густиною потужності мінус 140 дБм/Гц.

Результати досліджень.

Результати розрахунку швидкості передавання СП VDSL2 у низхідному та висхідному напрямках (Downstream та Upstream) при роботі по кабелю ТПП 10x2x0,4 представлені у табл. 1 при використанні класичних ОГС ($R_{\text{ОГС-К}}$) та у табл. 2 при використанні ОГС узагальненого класу ($R_{\text{ОГС-УК}}$). Аналогічно у табл. 3 і 4 представлені результати при роботі СП VDSL2 по кабелю типу вита пара Cat 5e 4x2x0.5.

Для оцінки ефективності застосування ОГС-К та ОГС-УК також було розраховано швидкості СП VDSL2 за умови відсутності інтерференційних завад (ідеальний варіант роботи, позначено як R_0) та визначено абсолютну (у Мбіт/с) та відносну (у відсотках) втрату швидкості за рахунок інтерференційних завад відносно ідеального варіанту (ΔR).



**Таблиця 1 - Швидкість передавання СП VDSL2 при роботі по кабелю ТПП
10х2х0,4 із застосуванням ОГС-К**

$l_{\text{л}}, \text{м}$	Upstream				Downstream			
	R_0 , Мбіт/с	$R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, %	R_0 , Мбіт/с	$R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, %
100	71,04	71,04	0	0	94,32	94,32	0	0
200	71,04	71,04	0	0	94,32	88,768	5,552	5,9
300	69,792	68,496	1,296	1,9	94,32	71,552	22,768	24,1
400	62,816	53,184	9,632	15,3	92,992	57,952	35,04	37,7
500	55,568	38,752	16,816	30,3	87,968	45,312	42,656	48,5

**Таблиця 2 - Швидкість передавання СП VDSL2 при роботі по кабелю ТПП
10х2х0,4 із застосуванням ОГС-УК**

$l_{\text{л}}, \text{м}$	Upstream				Downstream			
	R_0 , Мбіт/с	$R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, %	R_0 , Мбіт/с	$R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, %
100	71,04	71,04	0	0	94,32	94,32	0	0
200	71,04	71,04	0	0	94,32	92,912	1,408	1,5
300	69,792	68,816	0,976	1,4	94,32	87,088	7,232	7,7
400	62,816	56,528	6,288	10	92,992	74,384	18,608	20
500	55,568	44,208	11,36	20,4	87,968	62,288	25,68	29,2

**Таблиця 3 - Швидкість передавання СП Gfast при роботі по кабелю Cat.5e
4х2х0.5 із застосуванням ОГС-К**

$l_{\text{л}}, \text{м}$	Upstream				Downstream			
	R_0 , Мбіт/с	$R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, %	R_0 , Мбіт/с	$R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, Мбіт/с	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}$, %
100	71,04	71,04	0	0	94,32	94,32	0	0
200	71,04	71,04	0	0	94,32	93,056	1,264	1,34
300	71,04	70,016	1,024	1,441	94,32	83,344	10,976	11,637
400	67,68	64,48	3,2	4,728	94,32	70,032	24,288	25,751
500	61,808	58,688	3,12	5,048	91,776	63,2	28,576	31,137



Таблиця 4 - Швидкість передавання СП Gfast при роботі по кабелю Cat.5e 4x2x0.5 із застосуванням ОГС-УК

$l_{\text{л}}, \text{м}$	Upstream				Downstream			
	$R_0, \text{Мбіт/с}$	$R_{\text{ОГС-К}}, \text{Мбіт/с}$	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}, \text{Мбіт/с}$	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}, \%$	$R_0, \text{Мбіт/с}$	$R_{\text{ОГС-К}}, \text{Мбіт/с}$	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}, \text{Мбіт/с}$	$\Delta R_{\text{ОГС-К}}, \%$
100	71,04	71,04	0	0	94,32	94,32	0	0
200	71,04	71,04	0	0	94,32	94,32	0	0
300	71,04	71,04	0	0	94,32	91,536	2,784	2,952
400	67,68	66,8	0,88	1,3	94,32	85,712	8,608	9,126
500	61,808	61,248	0,56	0,906	91,776	78,176	13,6	14,819

Аналіз впливу інтерференційних завад на швидкість передавання СП VDSL2 при роботі по кабелях ТПП 10x2x0,4 та Cat.5e 4x2x0.5 при використанні ОГС класичних і узагальненого класу з дозволяє зробити наступні висновки:

- для варіанту роботи СП VDSL2 по кабелю ТПП 10x2x0,4 при використанні ОГС-К вплив лінійних спотворень, які є причиною виникнення інтерференційних завад, на швидкість передавання стає відчутним за довжини лінії від 200 метрів і збільшується зі збільшенням довжини лінії. В залежності від довжини лінії наявність інтерференційних завад призводить до втрати швидкості відносно ідеального варіанту до 17 Мбіт/с або 30 % у висхідному напрямку передавання (US) та до 42 Мбіт/с або 48 % у низхідному напрямку передавання (DS);

- за тих же умов при використанні ОГС-УК наявність інтерференційних завад призводить до втрати швидкості відносно ідеального варіанту в залежності від довжини лінії до 11 Мбіт/с або 20 % у висхідному напрямку передавання (US) та до 25 Мбіт/с або 29 % у низхідному напрямку передавання (DS), тобто застосування ОГС-УК дозволяє зменшити втрату швидкості у 1,5 рази;

- для варіанту роботи СП VDSL2 по кабелю Cat.5e 4x2x0.5 вплив лінійних спотворень на швидкість передавання стає відчутним за довжини лінії від 300 метрів і при використанні ОГС-К наявність інтерференційних завад призводить до втрати швидкості відносно ідеального варіанту в залежності від довжини лінії до 3 Мбіт/с або 5 % у висхідному напрямку передавання (US) та до 28,5 Мбіт/с



або 31 % у низхідному напрямку передавання (DS);

- за тих же умов при використанні ОГС-УК наявність інтерференційних завад призводить до втрати швидкості відносно ідеального варіанту в залежності від довжини лінії до 1 Мбіт/с або 1,3 % у висхідному напрямку передавання (US) та до 14 Мбіт/с або 15 % у низхідному напрямку передавання (DS), тобто застосування ОГС-УК дозволяє зменшити втрату швидкості у 3 рази для US і у 2 рази для DS;

- порівняння варіантів роботи СП VDSL2 по кабелях ТПП 10х2х0,4 та Cat5e 4х2х0,5 показує, що при застосуванні ОГС-К втрата швидкості по кабелю Cat5e 4х2х0,5 у 6 разів менша для висхідного напрямку передавання та у 1,5 рази менша для низхідного напрямку передавання, а при застосуванні ОГС-УК – у 10 разів менша для висхідного напрямку передавання та у 2 рази менша для низхідного напрямку передавання.

Висновки.

Проведені в роботі дослідження дозволили оцінити вплив інтерференційних завад на швидкість передавання систем передачі за технологією VDSL2. Визначення швидкості СП VDSL2 проводилося для варіантів роботи по кабелях ТПП 10х2х0,4 та UTP Cat5e 4х2х0,5 при застосуванні класичних ОГС і ОГС узагальненого класу. Результати дослідження довели перевагу застосування ОГС-УК, за яких вплив інтерференційних завад на швидкість передавання менший у 1,5...3 рази у порівнянні з ОГС-К. Порівняння роботи СП VDSL2 по кабелях ТПП 10х2х0,4 та UTP Cat5e 4х2х0,5 показало, що кабель UTP Cat5e 4х2х0,5 за рахунок менших лінійних спотворень забезпечує менший вплив інтерференційних завад на швидкість СП VDSL2 у 1,5...2 рази.

Література:

1. Стратегія розвитку сфери електронних комунікацій України – 2030 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/Аналітичні%20матеріали.pdf>.

2. Світовий банк. Рекомендації для Міністерства цифрової трансформації, Уряду України щодо Національної стратегії розвитку широкосмугового доступу



до Інтернету та Плану впровадження на 2020–2025 рр. [Електронний ресурс]. – Вашингтон, 2020. – Режим доступу: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/718581621848448316/pdf/A-National-Broadband-Development-Strategy-and-Implementation-Plan-Recommendations-to-the-Ministry-of-Digital-Transformation-Government-of-Ukraine.pdf>.

3. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері електронних комунікацій (НКЕК). Рішення від 07.05.2025 № 298 «Про визначення територій (населених пунктів у їх географічних межах) такими, на яких має бути здійснено забезпечення доступу до універсальної електронної комунікаційної послуги (послуги широкопasmового доступу до мережі Інтернет у фіксованому місці)» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://nkek.gov.ua/npas/298-07-05-2025>.

4. Valentín-Sívico J., Canfield C., Low S. A., Gollnick C. Evaluating the impact of broadband access and internet use in a small underserved rural community // Telecommunications Policy. – 2023. – Vol. 47, Issue 4. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2023.102499>.

5. European Commission. Digital Decade 2024: Broadband Coverage in Europe 2023 [Електронний ресурс]. – Brussels, 2024. – Режим доступу: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/library/digital-decade-2024-broadband-coverage-europe-2023>.

6. ITU-T. Recommendation G.993.2: Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). [Text]. Appr. 2015, January. Geneva, 2015. 313 p.

7. Balashov, V.A., Oreshkov, V.I., Barba, I.B. et al. Speed Estimation of Broadband Access to Internet via xDSL Technology. Radioelectron. Commun. Syst. 65, 439–445 (2022). <https://doi.org/10.3103/S0735272722080052>.

8. Балашов В.О., Барба І.Б., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орешков В.І., Педяш В.В., Яневич О.К. (2018), Телекомунікаційні технології мереж широкопasmового доступу: монографія, Одеса, ОНАЗ ім. О.С. Попова, 276 с. ISBN 978-617-582-057-5.

9. Oreshkov V.I., Stelia D.O. Research of interference noise in VDSL2 systems when operating over TPP type telephone cables. Proc. of the O.S. Popov ONAT



"Information Science and Communication". 2019. Issue №1. P. 87 – 96.

10. Балашов В., Орешков В., Стеля Д. Дослідження інтерференційних завад у каналах систем передавання за технологією VDSL2+. Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія. 2021. №1(2). С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.23939/ictee2021.02.062>. ISSN 2786-4553.

Abstract. *The paper presents an evaluation of the impact of interference noise on the transmission rate of VDSL2-based transmission systems. The study considers the operation of VDSL2 transmission systems over TPP 10×2×0,4 and UTP Cat5e 4×2×0,5 cables using both classical orthogonal harmonic signals and orthogonal harmonic signals of a generalized class. For each configuration, the downstream and upstream transmission rates were calculated. To assess the effect of interference on transmission rates, the potentially achievable downstream and upstream rates under interference-free conditions – representing ideal VDSL2 system performance – were determined. The influence of interference noise was evaluated as the transmission rate loss of the examined configurations relative to these ideal conditions. The results demonstrate the advantage of operating VDSL2 over UTP Cat5e 4×2×0,5 cable when using orthogonal harmonic signals of the generalized class.*

Key words: *broadband access, interference, VDSL2 technology, transmission system, transmission rate, line length, orthogonal harmonic signals.*

Статтю надіслано: 20.09.2025 р.

© Орешков В.І.