

Балашов В.О., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., та ін.

**ПЕРСПЕКТИВНІ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
МЕРЕЖ ШИРОКОСМУГОВОГО
ДОСТУПУ**

МОНОГРАФІЯ

Одеса
КУЛПІСЬКО СВ
2016

УДК 621.3
ББК 32.884
П 26

Автори:

Балашов В.О., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орешков В.І., Педяш В.В.,
Решетнікова О.С., Солдаткіна А.В.

П 26 Перспективні телекомунікаційні технології мереж широкосмугового доступу: монографія / [авт.кол. : Балашов В.О., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М. та ін.]. – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2016 – 200 с.: 118 рис., 35 табл.

ISBN 978-966-2769-98-2

Наведені теоретичні основи перспективних телекомунікаційних технологій передавання сигналів мережами широкосмугового доступу.

Розроблено методику і програмне забезпечення моделювання і оцінки швидкості передавання систем передачі за технологією xDSL з ортогональними гармонічними сигналами узагальненого класу (СП ОГС) з урахуванням характеристик телефонних кабелів, адитивних шумів і інтерференційних завад.

Розроблено математичну модель технології передавання G.fast і методу компенсації перехідних завад «векторинг». Досліджено принципи побудови, технології передавання і характеристики широкосмугового доступу PLC мережами електроживлення.

Розроблено з використанням теорії рядів Вольтерра метод оцінки впливу нелінійних спотворень сигналу в оптичному волокні на якісні параметри когерентної ВОСП.

УДК 621.3

ББК 32.884

DOI: 10.21893/978-966-2769-98-2.0

© Балашов В.О., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орешков В.І.,
Педяш В.В., Решетнікова О.С., Солдаткіна А.В., 2016

ISBN 978-966-2769-98-2

ЗМІСТ

ВСТУП	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	8
1 МІСЦЕ І РОЛЬ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ В СУЧАСНІЙ ЕКОНОМІЦІ ..	10
1.1 Аналіз розвитку інформаційної економіки України.	10
1.2 Тенденції розвитку широкосмугового доступу у світі та в Україні і його вплив на економіку.	20
1.3 Світовий досвід державного стимулювання розвитку ШД.	29
1.4 Необхідні заходи для стимулювання розвитку ШД в Україні.	30
1.5 Висновки.	30
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГІЙ МЕРЕЖ ШИРОКОСМУГОВОГО ДОСТУПУ	33
2.1 Загальна характеристика телекомунікаційної мережі.	33
2.2 Архітектура мережі широкосмугового доступу.	35
2.3 Технології доступу xDSL телефонною мережею загального користування.	37
2.3.1 Рекомендації MCE-T, що стандартизують системи передачі xDSL.	37
2.3.2 Структура та елементи мережі абонентського xDSL-доступу. ...	44
2.4 Технології оптичних мереж доступу.	50
2.4.1 Варіанти побудови оптичних мереж доступу FTTx.	50
2.4.2 Рекомендації MCE-T, що стандартизують системи передачі ОМД.	53
2.4.3 Структура та елементи оптичної мережі абонентського доступу.	70
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
3 ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ ШД, ПОБУДОВАНИХ НА БАЗІ БАГАТОПАРНИХ ТЕЛЕФОННИХ КАБЕЛІВ	79
3.1 Розвиток технологій мереж ШД, побудованих на базі багатопарних телефонних кабелів	79
3.2 Технологія «векторинг» компенсації перехідних завад в багатопарних телефонних кабелях.	81
3.2.1 Алгоритм функціонування та аналітична модель системи «векторинг»	81

3.2.2 Оцінка ефективності придушення перехідних завад у багатопарних телефонних кабелях.	84
3.2.3 Оцінка швидкості передавання СП G.fast із застосуванням системи «векторинг»	91
3.3 Оптимізація параметрів групового сигналу СП G.fast.	98
3.3.1 Моделювання СП G.fast з варійованим захисним інтервалом. Оцінка потужності інтерференційних завад.	98
3.3.2 Моделювання СП G.fast з варійованим захисним інтервалом. Оцінка швидкості передавання.	104
3.4 Висновки.	106
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	107
4 ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕРЕЖАМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ.	108
4.1 Технології широкосмугового доступу PLC мережами електроживлення.	108
4.1.1 Загальні характеристики технології PLC побудови мереж доступу.	108
4.1.2 Специфікації низькошвидкісних PLC-систем.	112
4.1.3 Специфікації високошвидкісних PLC-систем.	113
4.1.3.1 Специфікація HomePlug AV.	113
4.1.3.2 Стандарт IEEE 1901.	114
4.1.3.3 Рекомендація MCE-T G.9960.	115
4.1.4 Архітектура мереж PLC.	116
4.2 Модель однорідних ліній мереж широкосмугового доступу на базі проводів домашньої електропроводки.	118
4.2.1 Характеристика вітчизняних проводів домашньої електропроводки.	118
4.2.2 Методика розрахунку параметрів передачі двожильних проводів ППВ і АППВ.	119
4.2.3 Високочастотні параметри передачі двожильних проводів ППВ.	121
4.2.4 Результати вимірювання високочастотних параметрів двожильного проводу ППВ 2x2,5.	125
4.2.5 Моделі частотних характеристик параметрів передачі двожильних проводів.	127
4.2.6 Математична модель відрізка двожильного проводу домашньої	

електропроводки.	130
4.3 Характеристики розгалуженої мережі широкосмугового доступу.	131
4.3.1 Конфігурація розгалуженої мережі широкосмугового доступу.	131
4.3.2 Модель розгалуженої МШДДЕ.	132
4.3.3 Матриці розсіювання компонентів розгалуженої МШДДЕ.	134
4.3.4 Параметри передачі розгалуженої МШДДЕ.	140
4.3.5 Розрахунок параметрів передачі розгалуженої МШДДЕ.	141
4.3.6 Результати дослідження впливу комплексного опору навантаження на параметри передачі розгалуженої МШДДЕ, що складається з трьох відрізків проводів.	145
4.3.7 Вимірювання загасання розгалуженої МШДДЕ.	151
4.4. Методика моделювання СП PLC різних стандартів.	154
4.5 Висновки.	168
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	170
5 СУЧАСНІ І ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДАЧІ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ.	172
5.1 Вступ та постановка завдання.	172
5.2 Пропускна здатність каналів і трактів ВОСП DWDM.	173
5.3 Розробка математичної моделі середовища розповсюдження ВОСП.	178
5.4 Удосконалення моделі розповсюдження оптичного сигналу на базі рядів Вольтерра.	185
5.5 Оцінка впливу нелінійних спотворень оптичного сигналу на якісні показники когерентної ВОСП.	191
5.6 Висновки.	197
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.	198

ВСТУП

Зростаючі потреби людської цивілізації в збільшенні інформаційного обміну викликають стрімке зростання обсягів передаваної телекомунікаційними каналами інформації та необхідність збільшення пропускну здатності телекомунікаційних мереж.

Зростання обсягів трафіку зумовлене темпами розповсюдження широкосмужового доступу (ШД), постійно зростаючою кількістю користувачів і підключених пристроїв, а також великою кількістю різноманітного і здебільшого безкоштовного онлайн-контенту, що вимагає все більшої швидкості передачі. Згідно з прогнозами компанії Cisco, за період з 2013 по 2018 р. очікується трикратне збільшення глобального IP-трафіка. У 2016 р. глобальний IP-трафік перетне відмітку у 1 зетабайт (1000 екзабайт) і складе 1,1 зетабайт за рік, а у 2018 р. досягне близько 1,6 зетабайт за рік. Загальна кількість інтернет-користувачів до кінця 2017 р. має збільшитися до 3,6 млрд, що складатиме близько 48 % від прогнозованої кількості населення земної кулі (7,6 млрд), тоді як у 2012 р. у світі налічувалося 2,3 млрд. інтернет-користувачів, що складало приблизно 32 % від тогочасної кількості населення Землі.

Розвиток широкосмужового доступу обумовлює темпи поширення надання широкосмужових послуг і стає головним трендом розвитку економіки країн.

На сьогодні найпоширенішим у світі видом ШД є доступ з використанням добре розвиненої мережі абонентських ліній (АЛ) телефонної мережі загального користування (ТМЗК) за технологіями передавання xDSL (DSL - Digital Subscriber Line) згідно з рекомендаціями Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т) G.991 – G.993 [8 - 17]. З застосуванням цієї технології передавання побудовано близько 57 % від усієї кількості ліній фіксованого ШД у світі. Технології передавання xDSL використовують різні системи ортогональних гармонічних сигналів (ОГС).

Технологія передавання з застосуванням ОГС також широко використовується в системах безпроводового зв'язку [18, 19]. Сучасними СП безпроводового зв'язку, що використовують ОГС, є:

– система високоякісного стереофонічного радіомовлення в УКХ діапазоні з якістю компакт-диска - T-DAB ;

– система цифрового телевізійного мовлення високої чіткості – DVB,

використовує COFDM;

– новітні технології радіодоступу Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11), Wi-MAX (стандарт IEEE 802.16), LTE.

Широке розповсюдження СП ОГС на мережах зв'язку пов'язано з тим, що ці системи забезпечують високу ефективність передавання інформації каналами зв'язку з ненормованими і нестабільними в часі частотними характеристиками, з адитивними і мультиплікативними завадами.

Таким чином, впровадження СП ОГС є перспективним напрямком розвитку сучасних телекомунікацій і підвищення ефективності телекомунікаційних технологій ШД є актуальним напрямком проведення наукових досліджень перспективних технологій передавання з застосуванням ОГС і розробки нових технічних рішень побудови СП ОГС.

Одним з таких напрямків досліджень є розроблення теоретичних основ перспективних телекомунікаційних технологій передавання сигналів з використанням ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу.

Перспективним напрямком досліджень і розвитку СП ОГС є впровадження технології компенсації перехідних завад «векторинг» і технології G.fast, яка забезпечує швидкість передавання по телефонним кабелям до 1 Гбіт/с.

Знаходять поширення технології широкосмугового доступу мережами електроживлення (технології PLC).

Поряд з кабельними телекомунікаційними технологіями передавання на мережах ШД стрімко впроваджуються оптичні технології доступу, як самостійно так і сумісно з кабельними. Переліковані перспективні технології передавання телекомунікаційними мережами і відповідні наукові завдання є предметом розгляду цієї монографії.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АЗРСГП	– адитивна завада з рівномірною спектральною густиною потужності
ВОСП	– волоконно-оптичних систем передачі
МШДДЕ	– мережа широкосмугового доступу, побудована на базі домашньої електропроводки
ОМД	– оптична мережа доступу
ПЗ ДК	– перехідні завади на дальньому кінці
ППФ	– перехідна передатна функція
СГП	– спектральна густина потужності
СП	– система передачі
СП ОГС	– система передачі ортогональними гармонічними сигналами
СРК	– спектральний розподіл каналів
ТМЗК	– телефонна мережа загального користування
ТПП	– міський телефонний кабель з поліетиленовою ізоляцією
ШД	– широкосмуговий доступ
ADSL	– Asymmetric Digital Subscriber Line (асиметрична цифрова абонентська лінія)
AON	– Active Optical Network
BRAS	– Broadband Remote Access Server
DSLAM	– Digital Subscriber Line Access Multiplexer
FEXT	– Far End Cross Talk
FTTB	– Fiber To The Building
FTTC	– Fiber To The Curb
FTTH	– Fiber To The Home
FTTN	– Fiber To The Node

FTTx	– Fiber to the x – оптичне волокно до точки x
GEAPON	– Gigabit Ethernet PON
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки)
MPCP	– Multi-Point Control Protocol
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing (мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів)
PLC	– Power Line Communication (зв'язок через лінії електропередачі)
PON	– Passive Optical Network
TDMA	– Time Division Multiple Access
VCE	– Vectoring Control Entity
VDSL	– Very-high-speed Digital Subscriber Line (надшвидкісна цифрова абонентська лінія)
xDSL	– x-technologies Digital Subscriber Lines (група технологій цифрових абонентських ліній)

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Proakis J. Digital Communications / J. Proakis, M. Salehi. – New York: McGraw-Hill Education, 2007. – 1150 P.
2. Kahn J. Spectral Efficiency Limits and Modulation/Detection Techniques for DWDM Systems / J.M. Kahn, Keang-Po Ho // IEEE Journal Of Selected Topics In Quantum Electronics. – 2004. – Vol. 10. – № 2. – P. 259-272.
3. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication / C. E. Shannon // The Bell System Technical Journal. – 1948. – Vol. 27. – № 3. – P. 379–423.
4. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communication Systems / Agrawal G.P. - New York: Wiley-Interscience, 2002. - 580 p.
5. Педяш В.В. Влияние фазовой самомодуляции оптического сигнала на качество каналов ВОСП СРК / В.В. Педяш, О.С. Решетникова // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 109-114.
6. K.V. Peddanarappagari and M. Brandt-Pearce, "Volterra Series Transfer Function of Single-Mode Fibers", Journal Of Lightwave Technology, , VOL. 15, № 12, DECEMBER 1997.
7. B. Xu and M. Brandt-Pearce, "Modified Volterra Series Transfer Function Method", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 14, NO. 1, JANUARY 2002. -P. 47-49.
8. Seimetz M. High-Order Modulation for Optical Fiber Transmission / Seimetz M. - Berlin: Springer, 2009. – 252 p.
9. Hoffman D. Integrated optics eight-port 90 degrees hybrid on LiNbO3 / D. Hoffman; H. Heidrich; G. Wenke; R. Langenhorst; E. Dietrich // Journal of Lightwave Technology. – 1989. – Vol. 7, No 5. - P. 794-798.

МОНОГРАФІЯ

**ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ МЕРЕЖ ШИРОКОСМУГОВОГО
ДОСТУПУ**

Авторський колектив:

Балашов В.О., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М.,
Орешков В.І., Педяш В.В., Решетнікова О.С.,
Солдаткіна А.В.

Монографія включена в РИНЦ SCIENCE INDEX

Формат 60x84/16. Ум.друк.арк. 11,51
Тираж 500 пр Зам. №16-12.

Видано:

КУПРІЄНКО СЕРГІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

А/С 38, Одеса, 65001

e-mail: orgcom@sworld.education

www.sworld.education

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК-4298

*Видавець не несе відповідальності за достовірність
інформації та наукові результати, які надані у монографії*

Цифрова друкарня "Сору-Арт"
М. Запоріжжя