

**Балашов В.О., Барба І.Б.,
Ляховецький Л.М., Орешков В.І.**

**ОРТОГОНАЛЬНІ ГАРМОНІЧНІ
СИГНАЛИ УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ**

МОНОГРАФІЯ

Одеса
КУЛІЄНКО СВ
2016

УДК 621.3
ББК 32.884
Б 202

Автори:

Балашов В.О., Барба І.Б., Ляховецький Л.М., Орешков В.І.

Балашов В.О., Барба І.Б., Ляховецький Л.М., Орешков В.І.

Б 202 Ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу: монографія / В.О. Балашов, І.Б. Барба, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков. – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2016 – 146 с.: 120 рис., 13 табл.
ISBN 978-966-2769-97-5

Проаналізовано стан наукових досліджень і розробки систем передачі сигналів з використанням ортогональних гармонічних сигналів (ОГС). Досліджено основні принципи побудови систем передачі з ортогональними гармонічними сигналами (СП ОГС). Визначено основні властивості та переваги СП ОГС.

Розвинуто теоретичні засади основ перспективних телекомунікаційних технологій передавання сигналів з використанням ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу. Запропоновано критерій ортогональності систем гармонічних сигналів узагальненого класу, методику синтезу систем сигналів узагальненого класу для широкосмугових систем передачі, що узагальнює і сигнали, які використовуються в традиційних технологіях передачі з OFDM. Синтезовано оптимальні за критерієм мінімальної ефективної ширини спектру системи ОГС узагальненого класу.

Розроблено методику розрахунку і досліджено потужності інтерференційних завад, що породжуються частотними спотвореннями ОГС. Оцінено швидкість передавання інформації оптимальними СП з ОГС узагальненого класу.

УДК 621.3

ББК 32.884

DOI: 10.21893/978-966-2769-97-5.0

© Балашов В.О., Барба І.Б., Ляховецький Л.М., Орешков В.І., 2016

ISBN 978-966-2769-97-5

ЗМІСТ

ВСТУП	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	7
1 СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ОРТОГОНАЛЬНИМИ ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ	9
1.1 Переваги багатоканальних систем передачі з вузькосмуговими сигналами.	9
1.2 Моделі робастних систем передачі.	14
1.3. Ортогональні гармонічні сигнали.	18
1.4 Ефективні обчислювальні алгоритми модуляції - демодуляції ОГС.	26
2 ОРТОГОНАЛЬНІ ГАРМОНІЧНІ СИГНАЛИ УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ	29
2.1 Метод синтезу систем ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу.	29
2.2 Синтез обвідних сигналів систем ОГС узагальненого класу.	31
2.3 Оптимізація форми обвідного сигналу.	38
2.4 Синтез систем смугообмежених ортогональних сигналів.	45
2.5 Синтез спектрів з квадратичними фронтами.	53
2.6 Синтез оптимальних ПФ.	56
3 МЕТОД ОЦІНКИ ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАВАД В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ З ОГС УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ	61
3.1 Загальна схема системи передачі з ОГС узагальненого класу.	61
3.2 Дисперсія інтерференційних завад в СП ОГС узагальненого класу.	63
4 ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНІ ЗАВАДИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ З ОГС УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ	71
4.1 Моделі СП з ОГС узагальненого класу.	71
4.2 Потужність інтерференційних завад в традиційній СП ОГС (СП-1). ...	73
4.3 Моделювання варіанту СП-2 побудови СП ОГС.	78

4.4	Моделювання варіанту СП-3 побудови СП ОГС.	82
4.5	Моделювання варіанту СП-4 побудови СП ОГС.	84
4.6	Порівняння варіантів побудови СП з ОГС узагальненого класу.	87
4.7	Розрахунок інтерференційних завад для кабелю ТПП 10 × 2 × 0,64 мм	92
5 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧІ З		
ОРТОГОНАЛЬНИМИ ГАРМОНІЧНИМИ СИГНАЛАМИ		
УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ 101		
5.1	Метод оцінки швидкості передавання СП ОГС з урахуванням перехідних та інтерференційних завад.	101
5.2	Характеристики СП ОГС широкосмугового доступу з урахуванням характеристик вітчизняних телефонних мереж.	109
5.3	Оптимізація параметрів групового сигналу СП з ОГС узагальненого класу.	116
5.3.1.	<i>Оцінка потужності інтерференційних завад в СП ОГС з варійованим захисним інтервалом.</i>	116
5.3.2.	<i>Оцінка швидкості передавання СП ОГС з варійованим захисним інтервалом.</i>	122
5.4	Використання СП ОГС на з'єднувальних лініях сільської телефонної мережі.	126
5.4.1	<i>Характеристики вітчизняних з'єднувальних ліній сільської телефонної мережі.</i>	126
5.4.2	<i>Параметри кабелів вітчизняних з'єднувальних ліній СТМ у смузі частот до 12 МГц.</i>	130
5.4.3	<i>Швидкість передавання СП ОГС з'єднувальними лініями СТМ</i>	134
ЗАКЛЮЧЕННЯ 139		
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 140		

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 ширококутового 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 перетнув відмітку у 1 зетабайт (1000 екзабайт) і склав 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 [1].

Перспективні технології передачі як проводового, так і радіозв'язку базуються на застосуванні ширококутових сигналів. Так, наприклад, системи передачі мобільного зв'язку за технологією CDMA використовують для передавання системи ортогональних сигналів Уолша [2-5]. За останні роки завдяки успіхам застосування цифрової обробки сигналів розроблено ряд систем передачі (СП), що використовують для передавання ширококутові ортогональні гармонічні сигнали (ОГС). За кордоном цей спосіб передавання за різними технологіями називають: Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – OFDM-мультиплексування, Discrete Multi Tone – DMT-модуляція, Coded Orthogonal Frequency-Division Multiplexing – COFDM. У вітчизняній термінології перевагу отримала назва – «спосіб (система, метод) передавання

ортогональними гармонічними сигналами» – СП ОГС [6, 7].

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 електровз'язку (МСЕ-Т) G.991 – G.993 [8 – 17]. Із застосуванням цієї технології передавання побудовано близько 35 % від усієї кількості ліній фіксованого ШД у світі. Технології передавання xDSL використовують різні системи ОГС.

Технологія передавання із 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. Підвищення ефективності телекомунікаційних технологій робить актуальним проведення відповідних наукових досліджень технологій передавання із застосуванням ОГС і розроблення нових технічних рішень побудови СП ОГС.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АЗРСГП	– адитивна завада з рівномірною спектральною густиною потужності
АІМ	– амплітудно-імпульсна модуляція
АЛ	– абонентська лінія
АРП	– автоматичне регулювання підсилення
АРР	– автоматичне регулювання рівня
АЧХ	– амплітудно-частотна характеристика
ДПФ	– дискретне перетворення Фур'є
ЗДПФ	– зворотне дискретне перетворення Фур'є
ІР	– імпульсна реакція
КАМ	– квадратурна амплітудна модуляція
МСЕ-Т	– Міжнародний союз електрозв'язку – сектор телекомунікацій
ОГС	– ортогональні гармонічні сигнали
ПЗ БК	– перехідна завада на ближньому кінці
ПЗ ДК	– перехідна завада на дальньому кінці
ПФ	– передатна функція
РСП	– робастна система передачі
СГП	– спектральна густина потужності
СП	– система передачі
СП ОГС	– система передачі ортогональними гармонічними сигналами
СТС	– система тактової синхронізації
ТПП	– міський телефонний кабель з поліетиленовою ізоляцією
ФЧХ	– фазо - частотна характеристика
ЦАЛ	– цифрова абонентська лінія

ШД	– широкосмуговий доступ
ШПФ	– швидке перетворення Фур'є
ADSL	– Asymmetric Digital Subscriber Line (асиметрична цифрова абонентська лінія)
DMT	– Discrete MultiTone (дискретна модуляція з множиною несучих)
ETSI	– European Telecommunication Standardization Institute (Європейський інститут стандартизації по зв'язку)
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки)
OFDM	– Orthogonal Frequency Division Multiplexing (мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів)
PLC	– Power Line Communication (зв'язок через лінії електропередачі)
VDSL	– Very-high-speed Digital Subscriber Line (надшвидкісна цифрова абонентська лінія)
xDSL	– x-technologies Digital Subscriber Lines (група технологій цифрових абонентських ліній)
CDMA	– Code Division Multiple Access (множинний доступ з кодовим поділом)

ЗАКЛЮЧЕННЯ

У монографії розвинуто теоретичні засади основ перспективних телекомунікаційних технологій передавання сигналів з використанням ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу. Запропоновано критерій ортогональності систем гармонічних сигналів узагальненого класу, методика синтезу систем сигналів узагальненого класу для широкосмугових систем передачі, що узагальнює і сигнали, які використовуються в традиційних технологіях передачі з OFDM. Синтезовано оптимальні за критерієм мінімальної ефективної ширини спектру системи ОГС узагальненого класу.

Розроблено методику розрахунку і досліджено потужності інтерференційних завад, що породжуються частотними спотвореннями ОГС. Оцінено швидкість передавання інформації оптимальними СП з ОГС узагальненого класу.

Основні результати.

1. Запропоновано аналітичні моделі варіантів побудови СП з ОГС узагальненого класу.

2. Здійснено розрахунки інтерференційних завад для СП з ОГС узагальненого класу при роботі по телефонних кабелях.

3. На основі аналізу обґрунтовано переваги побудови СП з ОГС узагальненого класу за схемою СП-2.

4. Запропоновано алгоритм демодуляції сигналів СП ОГС узагальненого класу за алгоритмом обчислення швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Дослідження різних варіантів побудови СП ОГС, які використовують оптимальні ОГС узагальненого класу, виявило, що найменші інтерференційні завади, викликані лінійними спотвореннями сигналів каналами зв'язку, породжуються в СП - 2, що використовують на передачі та прийомі ОГС з обвідною $\sqrt{u(t-pT)}$. СП - 2 і СП - 3 також найменш вимогливі до точності тактової синхронізації.

Застосування алгоритмів ШПФ для демодуляції сигналів узагальненого класу ОГС дозволяє досягти високої обчислювальної ефективності алгоритмів модуляції-демодуляції сигналів СП ОГС.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2013–2018 / [электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.cisco.com/>.
2. Возенкрафт Дж. Теоретические основы техники связи / Дж. Возенкрафт, И. Джекобс. – М.: Мир. – 1969. – 640 с.
3. Хармут Х.Ф. Передача информации ортогональными функциями / Х.Ф. Хармут. – М.: Связь. – 1975. – 272 с.
4. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов / В.П. Ипатов – М.: Техносфера. – 2007. – 488 с.
5. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи / М.И. Мазурков. – О.: Наука и техника. – 2010. – 340 с.
6. Балашов В.А. Технологии широкополосного доступа xDSL. Инженерно-технический справочник / В.А. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий, под общей редакцией В.А. Балашова. – М.: Эко-Трендз, 2009. – 256 с.
7. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / В. А. Балашов, П.П. Воробиенко, Л.М. Ляховецкий. – М.: Эко-Трендз. – 2012. – 228 с.
8. ITU-T. Recommendation G.991.1: High bit rate Digital Subscriber Line. (HDSL) transceivers.– Apr. 1998, October. – Geneva, 1998. – 171 p.
9. ITU-T. Recommendation G.991.2 : Single-pair high-speed digital subscriber line (SHDSL) transceivers. – Apr. 2001, February. – Geneva, 2001. – 174 p.
10. ITU-T. Recommendation G.992.1 : Asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers. – Apr. 1999, June. – Geneva, 1999. – 256 p.
11. МСЭ-Т. Рекомендация G.992.1: Приемопередатчики асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL) Изменение 1: Пересмотренное Приложение С, новое Приложение I и новое Добавление V. – Утв. 2003, Март. – Женева, 2003. – 112 p.
12. ITU-T Recommendation G.992.2: Splitterless asymmetric digital subscriber line (ADSL) transceivers. – Apr. 1999, June. – Geneva, 1999. – 179 p.

13. ITU-T Recommendation G.992.3: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2). – Appr. 2009, April. – Geneva, 2009. – 404 p.
14. ITU-T Recommendation G.992.4: Splitterless asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (splitterless ADSL2). – Appr. 2002, July. – Geneva, 2002. – 24 p. 152.
15. ITU-T Recommendation G.992.5: Asymmetric digital subscriber line transceivers 2 (ADSL2) – Extended bandwidth (ADSL2plus). – Appr. 2009, January. – Geneva, 2009. – 110 p.
16. ITU-T Recommendation G.993.1: Very high speed digital subscriber line transceivers. – Appr. 2004, June. – Geneva, 2004. – 228 p.
17. ITU-T Recommendation G.993.2: Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2). – Appr. 2006, February. – Geneva, 2006. – 252 p.
18. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. – М.: Высшая школа, 1988. – 536 с.
19. Гуцалюк А.К. Оптимизация приемных и передающих фильтров в системе передачи дискретной информации: сб. “Теоретическая электротехника и устройства электроники”. А.К. Гуцалюк, П.Я Нудельман. – К.: Наукова думка, 1977. – С.37 – 47.
20. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи / А. Н. Берлин. – М.: Эко-Трендз. – 2007. – 296 с.
21. Бондарчук А.П. Порівняльний аналіз технологій CDMA і OFDM / А.П. Бондарчук // Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв’язок» – 2011. – № 3. – С. 31 – 32.
22. Мозье Р.Р., Клабо Р.Г. “Кинеплекс” – двоичная система передачи информации с эффективным использованием полосы частот / Р.Р. Мозье, Р.Г. Клабо // Передача цифровой информации / Под ред. С.И. Самойленко. – М.: – 1963. – 480 с.
23. Гинзбург В.В. и др.] Аппаратура передачи дискретной информации МС-5 / В.В. [Гинзбург и др.]. – М.: Связь, 1970. – 152 с.
24. Окунев Ю.Б. Системы связи с инвариантными характеристиками

помехоустойчивости / Ю.Б. Окунев. – М.: Связь. – 1973. – 80с.

25. Окунев Ю.Б., Рахович Л.М. Фазоразностная модуляция и ее применение для передачи дискретной информации / Ю.Б. Окунев, Л.М. Рахович – М.: Связь. – 1967. – 304 с.

26. Saltsberg V.R. Performance of Efficient Parallel Data Transmission System / V.R. Saltsberg// IEEE Trans. on Communication. – 1967. – Vol. Com-15.– № 6. – P. 805 – 811.

27. Окунев Ю.Б. Системы связи, инвариантные к помехам / Ю.Б. Окунев. – М.: Радиотехника. – 1971. – Ч. 1, № 8. – С. 1–7; – Ч. 2, № 9. – С. 1 – 6.

28. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции / Ю.Б. Окунев. – М.: Связь. – 1979. – 216 с.

29. Хармут Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи / Х.Ф. Хармут. – М.: Радио и связь. – 1985. – 376 с.

30. Chang R.W. Synthesis of Band-Limited Orthogonal Signals for Multichannel Data Transmission / R.W. Chang. – BSTJ, Vol. 45. – 1966 December № 10 – P. 1775–1797.

31. Schnidman D.A. A generalized Nyquist criterion and optimum linear receiver for a pulse modulation system / D.A. Schnidman. – BSTY, Vol. 46, № 9. – 1967. – P. 2163-2177.

32. Скляр Б. Цифровая связь / Бернард Скляр; [пер. с англ.]. – Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с. – (Второе издание). – (Теоретические основы и практическое применение).

33. Балашов В.О. Системы передавання широкопasmовими сигналами. Навч. посібник / В.О. Балашов, П.П. Воробієнко, Л.М. Ляховецький, В.В. Педяш. – Одеса: Вид. центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. – 336 с.

34. Гуцалюк А.К. Оценка мощности интерференционной помехи в многоканальном модеме / А.К. Гуцалюк, П.Я. Нудельман // Труды учебных институтов связи. – Л.: ЛЭИС. Вып. 81. – 1976. – С. 54 – 60.

35. Балашов В.О. Мережі та обладнання широкопasmового доступу за технологією xDSL. Навч. посібник / В.О.Балашов, П.П. Воробієнко, А.Г.

Лашко, Л.М. Ляховецький. – Одеса. – 2009. – 225 с.

36. А.с. 860276 СССР, МКИЗ Н 04 L 27/22. Способ детектирования Фазомодулированных сигналов / В.А. Балашов, П.Я. Нудельман, Ю.А. Павличенко, А.М. Темесов. – № 2653053; заявлено. 31.07.78; опубл. 04.05.81, Бюл. № 32.

37. Балашов В.А. Цифровая реализация алгоритмов многочастотных модемов / В.А. Балашов, П.Я. Нудельман, А.М. Темесов // Электросвязь. – 1982. – № 1. – С. 32–34.

38. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов: пер. с англ / Л. Рабинер, Б.Гоулд. – М.: Мир. – 1978.

39. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. Пособие / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Питер. – 2003.– 608 с.

40. Панфилов И.П. Теория электрической связи / И.П. Панфилов, В.Е. Дырда. – М.: Радио и связь. – 1991. – 344 с.

41. Размахнин М.К., Функции с двойной ортогональностью в радиоэлектронике и оптике: Перевод и научная обработка / М.К. Размахнин, В.П. Яковлев. – М.: Сов. Радио, 1971. – 256 с.

42. Курант Р. Методы математической физики / Р. Курант, Д. Гильберт. – М. – Л.: ГИТ – ТЛ. – 1951. – 476 с.

43. Захарченко Н.В. Основы передачи дискретных сообщений: Учеб. Пособие для вузов / Н.В.Захарченко, П.Я. Нудельман, В.Г. Кононович. – М.: Радио и связь. – 1990. – 240с.: ил.

44. Захарченко Н.В. Выбор узлов аппаратуры передачи данных: Учеб. пособие / Н.В. Захарченко, П.Я. Нудельман – Одесса: ОЭИС им. А.С. Попова. – 1985. – ч.1. – 88с.

45. Балашов В.А. Дисперсия интерференционных помех в многоканальных системах с Найквистовой скоростью передачи: Сб. научн. трудов “Информатика и связь” / В.А. Балашов. – К.: Техника, 1997. – С. 104 – 111.

46. Балашов В.А. Моделирование характеристик цифровых абонентских линий / В.А. Балашов, Л.М. Ляховецький // Зв’язок. – 2003. – №2. – С. 19 – 23.

47. Ляховецький Л.М. Дослідження інтерференційних завад у системах передавання за технологією ADSL2+ / Л.М. Ляховецький, І.Б. Барба, С.А. Заблоцький // Зв'язок. – 2012. – № 4. – С. 6 – 9.

48. Балашов В.А. Интерференционные помехи в системах передачи гармоническими сигналами обобщенного класса / В.А. Балашов, Л.М. Ляховецкий, И.Б. Барба // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Выпуск 1. Том 9. – С. 79 – 86.

49. Лашко А.Г. Моделирование характеристик цифровых абонентских линий, построенных по ADSL-технологии / А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий, В.В. Радуга // Наук. праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2005. – №1. – С. 67 – 74.

50. Балашов В.А. VDSL – ближайшее будущее цифрового абонентского доступа / В.А. Балашов, О.В. Копейка, Л.М. Ляховецкий // Зв'язок. – 2005. – №4. – С. 10 – 16.

51. Ляховецький Л.М. Характеристики широкополосного доступа за технологією VDSL2 / Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков // Наук. праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2012. – № 2. – С. 93 – 98.

52. Орешков В.І. Оцінка швидкості передавання, досяжної системами передачі ортогональними гармонічними сигналами узагальненого класу / В.І. Орешков, Л.М. Ляховецький, І.Б. Барба // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2015. – № 1. – С. 105 – 111.

53. Орешков В.І. Підвищення ефективності використання цифрових абонентських ліній в мережах широкополосного доступу : дис. канд. техн. наук: 05.12.02 / Орешков Василь Іванович; Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. – Одеса, 2013. – 206 с.

54. Состояние и развитие связи в Украине за 2006 год. [Електронний ресурс] // Статистичний бюлетень. – К. – 2007. Режим доступу: <http://marketingbase.com.ua/report.php?issue=573>. – Дата доступу: 12.10.2011. – Заголовок з екрана.

55. Парфенов Ю.А. Кабели электросвязи / Ю.А. Парфенов. – М.: Эко-Трендз. – 2003 – 256 с.

56. Парфенов Ю.А. Новые возможности кабелей сельской связи / Ю.А. Парфенов, Л.Г. Рысин // Электросвязь. – 2000. – №9 – С. 41 – 43.

57. Гроднев И.И. Линии связи / И.И. Гроднев, С.М. Верник. – М.: Радио и связь. – 1988. – 544 с.

МОНОГРАФІЯ

**ОРТОГОНАЛЬНІ ГАРМОНІЧНІ СИГНАЛИ
УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ**

Авторський колектив:

Балашов В.О., Барба І.Б., Ляховецький Л.М., Орешков В.І.

Монографія включена в РИНЦ SCIENCE INDEX

Формат 60x84/16. Ум.друк.арк. 8,5
Тираж 500 пр Зам. №16-10.

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*

ФОП Москвін А.А. Цифрова друкарня "Сору-Арт"
М. Запоріжжя