

УДК 621.371: 621.372: 621.315.1.052.63

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ
ОРТОГОНАЛЬНИХ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ УЗАГАЛЬНЕНОГО
КЛАСУ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ BPL
RESEARCH OF THE GENERALIZED CLASS ORTHOGONAL HARMONIC SIGNALS
APPLICATION EFFICIENCY IN BPL TRANSMISSION SYSTEMS**

Лашко А.Г. / Lashko A.G.

к.т.н., доц. / c.t.s., as.prof.

Ляховецький Л.М. / Liakhovetskiy L.M.

к.т.н. / c.t.s.

Одеський науково-дослідний інститут зв'язку, Одеса, вул.Буніна 23, 65026

Odessa Scientific-research Institute of Telecommunications, Odessa, Bunina 23, 65026

Орешков В.І. / Oreshkov V.I.

к.т.н. / c.t.s.

Яневич О.К. / Yanevych O.K.

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Одеса, вул. Ковальська 1, 65029

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications, Odessa, Kovalska str. 1, 65029

Анотація. Стаття присвячена дослідженню характеристик систем передачі (СП) Broadband over Power Lines (BPL) при роботі на вітчизняних мережах будинкової електропроводки. Об'єктом дослідження є фрагмент мережі будинкової електропроводки (МБЕ), до складу якого входить відгалуження. Раніше авторами було розглянуто вплив опору навантаження відгалуження на швидкість передавання даних по фрагменту МБЕ у випадку навантажень типу обрив, коротке замикання (ХХ і КЗ), навантаження із реактивним опором (L, C) та навантаження з опором, що дорівнює хвильовому опору ($Z_{xв}$) проводу відгалуження, до якого підключено навантаження. У роботі досліджено ефективність застосування ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою обвідної у СП BPL за різних варіантів опору навантаження на відгалуженні.

Ключові слова: технологія BPL, широкосмуговий доступ по лініях електроживлення, система передачі, передавання даних, мережа будинкової електропроводки.

Вступ.

За даними компанії Cisco [1], до 2021 року 58% населення планети матиме доступ до мережі Інтернет. Проте, швидке зростання кількості так званих «розумних» пристроїв – електронних машин, з'єднаних з іншими пристроями або мережами за допомогою технології Machine-to-Machine (M2M), – та розвиток Інтернету речей (IoT) неминуче призводить до того, що значна доля

глобального IP-трафіку в осяжному майбутньому буде генеруватися «розумними» пристроями (різноманітними датчиками, приладами обліку спожитих ресурсів, камерами відеоспостереження тощо).

Однією з концепцій, яка передбачає застосування «розумних» пристроїв, є концепція «розумний будинок» (Smart Home). Дана концепція включає в себе такі функції, як контроль (у тому числі віддалений) та автоматизація освітлення, опалення, кондиціонування, відеоспостереження, вмикання/вимикання «розумних» побутових приладів, і спрямована на підвищення енергоефективності та рівня комфорту людей [2].

При розгортанні концепції Smart Home застосовується технологія Broadband over Power Lines (BPL) – різновид Power Line Communication (PLC) – що працює по існуючій мережі будинкової електропроводки.

Ця технологія здобула популярність завдяки тому, що дозволяє суттєво знизити витрати і час, необхідні для розгортання мережі, а також легко змінити конфігурацію мережі шляхом додавання нових елементів. Це обумовлено тим, що BPL працює по існуючій мережі будинкової електропроводки (МБЕ). Крім того, суттєвою перевагою BPL є те, що в основі технології лежить метод передавання із застосуванням ортогональних гармонічних сигналів (ОГС), якому притаманна висока ефективність роботи по каналах зв'язку, що характеризуються ненормованими та швидкозмінними у часі характеристиками. До таких каналів належать, зокрема, і канали МБЕ [3].

Одним з основних параметрів системи передачі є швидкість передавання даних. На сьогодні у науково-технічній літературі не досліджено ефект від застосування ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою обвідної у СП BPL за різних типів навантаження відгалуження МБЕ, що побудована за допомогою широко використовуваного в Україні проводу типу ППВ.

Метою даної статті є дослідження ефекту від застосування ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою

обвідної у СП ВРЛ за різних варіантів опору навантаження на відгалуженні, що входить до складу фрагменту МБЕ (рис. 1).

До складу фрагменту МБЕ, наведеного на рис. 1, входять: три відрізки проводу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил $1,5 \text{ мм}^2$ та довжиною $l_1 = l_2 = l_3 = 5 \text{ м}$ (показані у вигляді пронумерованих ліній), три полюси (наведені у вигляді кіл великого діаметра із порядковими номерами полюсів усередині), одна точка відгалуження (ненумероване коло меншого діаметра). До полюса 2 підключене навантаження $Z_{\text{н}}$.

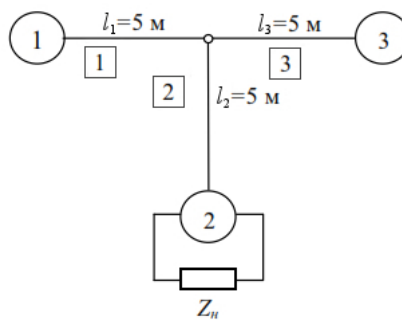


Рисунок 1 – Схема фрагменту МБЕ з одним відгалуженням

Еквівалентну схему фрагмента МБЕ з одним відгалуженням з рис. 1 у напрямку 1 – 3 можна представити у вигляді каскадного з'єднання трьох чотиріполюсників – відрізок лінії довжиною l_1 , шлейф довжиною l_2 з навантаженням $Z_{\text{н}}$, відрізок лінії довжиною l_3 .

Шлейф довжиною l_2 з навантаженням $Z_{\text{н}}$ визначається у вигляді вхідного опору.

Дослідження проводилося шляхом аналітичного моделювання роботи СП ВРЛ по фрагменту МБЕ з одним відгалуженням (рис. 1), утвореному двожильним проводом типу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил $1,5 \text{ мм}^2$ з урахування наступних параметрів:

- тип лінійного сигналу – ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу (ОГС УК) [3, 4];
- кількість інформаційних каналів (n) – 235;
- номер першого інформаційного каналу (m) – 21;

- кількість відліків на інтервалі ортогональності (N) – 512;
- коефіцієнт розширення сигналу (α) = 0,03125; 0,0625; 0,09375; 0,125;
- спектральна густина потужності адитивних завад ($P_{\text{адит}}$) – мінус 140 дБ/Гц;
- маска спектральної густини потужності (СПП) на виході передавача системи VPL [5];
- частотний план 25 MHz-PB [5], що передбачає діапазон частот передавання від 2 до 25 МГц;
- дискретні імпульсні реакції для різних типів навантаження відгалуження фрагменту МБЕ, схема якого наведена на рис. 1, наведені в [6].

Традиційні СП ОГС для протидії інтерференції використовують захисний інтервал, тому тривалість тактового інтервалу визначається як сума тривалості інтервалу ортогональності та захисного інтервалу $T = \tau_0 + \tau_g$ або, у дискретних відліках, $N_T = N + L$ (рис. 2 а). Відмінність СП з ОГС УК полягає у тому, що сигнали є ортогональними на всьому тактовому інтервалі T , а замість терміна «захисний інтервал» використовується термін «коефіцієнт розширення сигналу», який розраховується за виразом $\alpha = L / N$ та визначає відносне зростання тривалості сигналу щодо початкової τ_0 (рис. 2 б) [3, 4]. Структурні схеми l -го каналу СП ОГС надані на рис. 2 в та рис. 2 г.

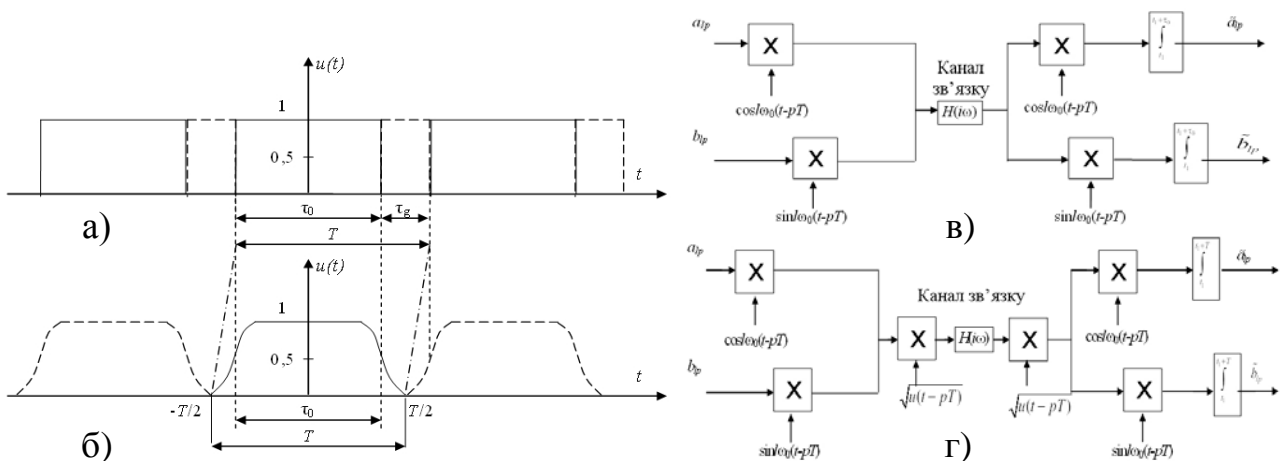


Рисунок 2 – Форма обвідної лінійних сигналів СП ОГС

- (а) традиційних; б) узагальненого класу) та структурна схема l -го каналу
- (в) традиційної СП ОГС г) СП ОГС узагальненого класу)

Проведемо розрахунки швидкості передавання даних для чотирьох значень коефіцієнта розширення сигналу ($\alpha = 0,03125; 0,0625; 0,09375; 0,125$) для кожного типу навантаження ($C, L, Z_{\text{ХВ}}$). Для цього скористуємося методикою, опублікованою в [3], що враховує вплив інтерференційних завад.

Розрахуємо співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ при роботі по фрагменту МБЕ, схему якого наведено на рис. 1 за методикою, наведеною у [3].

Залежності h від l за різних значень α наведено на рис. 4.

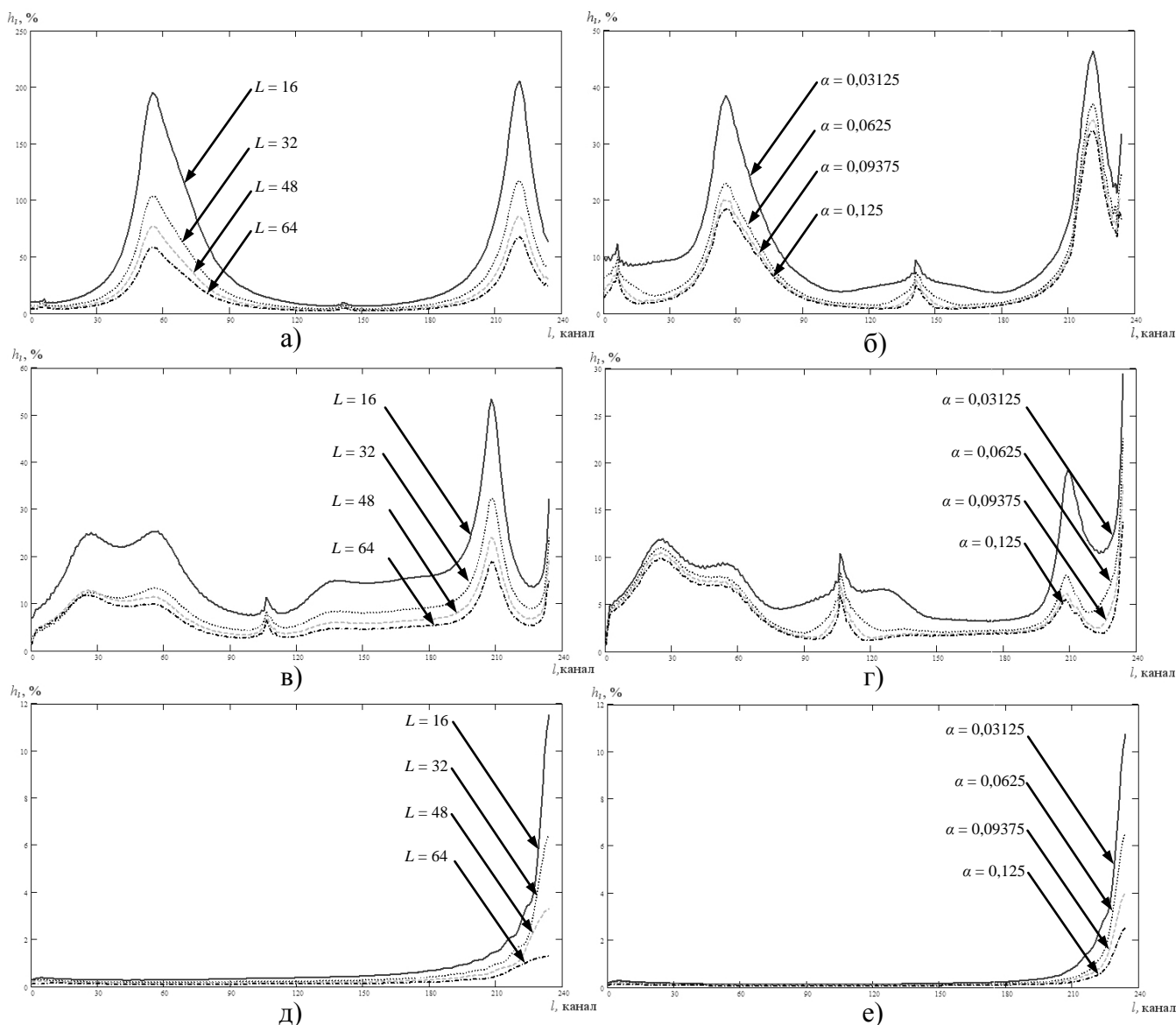


Рисунок 4 – Графічне зображення залежності h від l (навантаження являє собою ємність ($C = 1$ нФ): а) традиційна СП ОГС; б) СП ОГС УК; навантаження являє собою індуктивність ($L = 1$ мкГн): в) традиційна СП ОГС; г) СП ОГС УК; навантаження рівне $Z_{\text{ХВ}}$ д) традиційна СП ОГС; е) СП ОГС УК)

З рис. 4 видно, що застосування ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою обвідної дозволяє досягти суттєвого зниження співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ.

У табл. 1 наведено результати розрахунку швидкості передавання даних за умови застосування у СП ВРЛ ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою обвідної за різних варіантів опору навантаження на відгалуженні, що входить до складу МБЕ (рис. 1).

Таблиця 1

Залежність швидкості передавання даних від коефіцієнта розширення сигналу α за різних типів навантаження відгалуження

Коефіцієнт розширення сигналу, α	Тип навантаження								
	$Z_{\text{хв}}$	С, Ф			L, Гн			R = 0 (КЗ)	R = ∞ (ХХ)
		10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}		
Швидкість передавання даних, Мбіт/с									
0,03125	245,739	64,489	49,716	43,466	57,481	57,197	54,830	83,523	78,693
0,0625	245,680	111,673	92,463	72,426	82,353	80,607	78,676	108,732	124,724
0,09375	242,143	130,982	112,857	84,911	93,393	89,286	89,196	117,500	144,375
0,125	237,674	139,757	122,743	90,278	99,219	95,139	92,535	104,774	155,035

У табл. 2 наведено результати розрахунку швидкості передавання даних із застосуванням у СП ВРЛ традиційних ортогональних гармонічних сигналів за різних варіантів опору навантаження на відгалуженні, що входить до складу МБЕ (рис. 1). Розрахунки виконано за методикою, наведеною в [7].

Таблиця 2

Залежність швидкості передавання даних від довжини захисного інтервалу L за різних типів навантаження відгалуження

Довжина захисного інтервалу, L	Тип навантаження								
	$Z_{\text{хв}}$	С, Ф			L, Гн			R = 0 (КЗ)	R = ∞ (ХХ)
		10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}		
Швидкість передавання даних, Мбіт/с									
16	212,689	17,614	18,466	15,246	22,633	19,792	17,140	32,292	25,663
32	232,442	43,842	35,478	29,779	40,993	39,706	38,419	56,342	48,805
48	234,821	68,750	48,929	40,357	52,589	52,946	47,321	69,911	65,446
64	234,375	77,604	60,503	48,611	61,024	59,028	54,167	77,083	78,125

Висновки

В результаті проведеного дослідження ефекту від застосування ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою обвідної у СП ВРЛ за різних варіантів опору навантаження на відгалуженні було встановлено:

– застосування ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою обвідної у СП ВРЛ є ефективним за умови, коли навантаження на відгалуженні, що входить до складу МБЕ, являє собою ємність або індуктивність;

– застосування ортогональних гармонічних сигналів узагальненого класу з косинус-квадратичною формою обвідної (табл. 1) у СП ВРЛ при роботі по розгалуженій МБЕ призводить до збільшення швидкості передавання даних у порівнянні зі швидкістю передавання даних, досяжною із застосуванням традиційних ортогональних гармонічних сигналів (табл. 2);

– зі збільшенням коефіцієнта розширення сигналу α від 0,03125 до 0,125 швидкість передавання даних зростає для випадку, коли навантаження являє собою ємність або індуктивність в середньому на 123% та 68% відповідно.

Література:

1. Key indicators for digital transformation / [Електронний ресурс] / Cisco. – Access mode: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/vni-network-traffic-forecast/infographic.html?CAMPAIGN=VNI+2017&COUNTRY_SITE=us&POSITION=Press+Release&REFERRING_SITE=Cisco+page&CREATIVE=PR+to+VNIMRM+Infographic. – Дата доступу: 21.05.2018. – Заголовок з екрану.

2. Smart Home / [Електронний ресурс] / Statista. The Statistics Portal. – Access mode: <https://www.statista.com/outlook/279/100/smart-home/worldwide#market-revenue>. – Дата доступу: 21.05.2018. – Заголовок з екрану.

3. Балашов В.О. Ортогональні гармонічні сигнали узагальненого класу / В.О. Балашов, І.Б. Барба, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков – Одеса.: Купрієнко СВ, 2016. – 146 с.

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

5. ITU-T Recommendation G.9964: Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – Power spectral density specification. – Dec. 2011. / [Електронний ресурс] / – Access mode: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.9964-201112-I!!PDF-E&type=items – Дата доступу: 19.04.18. – Заголовок з екрану.

6. Лашко А.Г. Дослідження впливу опору навантаження відгалуження на швидкість передавання даних мережами будинкової електропроводки / А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, О.К. Яневич // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2018. – № 1. – С. 53 – 60.

7. Балашов В.А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / В.А. Балашов, П.П. Воробийенко, Л.М. Ляховецький. – М. : Эко-трендз, 2012. – 228 с.

Abstract. *The work is devoted to research of the characteristics of Broadband over Power Lines (BPL) transmission systems (TS) when working on domestic house electrical wiring networks (HEWN). The object of the research is a fragment of HEWN, which includes the branch. The influence of load impedance of the branch on the data transmission rate over the fragment of HEWN in the cases of the idle, short circuit, reactance load (L , C) and load with impedance equal to the wave impedance (Z_w) of the branch wire to which the load is connected was reviewed by authors previously. The effect of the application of generalized class orthogonal harmonic signals with a cosine-quadratic form of the envelope in the BPL TS for different variants of the load impedance on the branch is researched in the paper.*

Key words: *BPL technology; generalized class orthogonal harmonic signals.*

References:

1. Key indicators for digital transformation / [Electronic resource] / Cisco. – Access mode: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/service-provider/vni-network-traffic-forecast/infographic.html?CAMPAIGN=VNI+2017&COUNTRY_SITE=us&POSITION=Press+Release&REFERRING_SITE=Cisco+page&CREATIVE=PR+to+VNIMRM+Infographic. – Date of access: 21.05.2018. – Title screen.

2. Smart Home / [Electronic resource] / Statista. The Statistics Portal. – Access mode: <https://www.statista.com/outlook/279/100/smart-home/worldwide#market-revenue>. – Date of access: 21.05.2018. – Title screen.

3. V.O. Balashov, I.B. Barba, L.M. Liakhovetskiy, V.I. Oreshkov “Orthogonal Harmonic Signals of Generalized Class”, Odesa, Kupriienko SV, 2016, p.146.

4. V.A. Balashov, L.M. Lyakhovetskiy and I.B. Barba “Interference noise on the generic class harmonic signals transmission system” Scientific papers SWorld, vol. 1, 2014, pp. 79-86.

5. ITU-T Recommendation G.9964: Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – Power spectral density specification. – Dec. 2011. / [Electronic resource] / – Access mode: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.9964-201112-I!!PDF-E&type=items – Date of access: 19.04.18. – Title screen.

6. A.G. Lashko, L.M. Liakhovetskiy, O.K. Yanevych “Research of branch load impedance influence on the data rate over the networks built on the house electrowiring”. Proc. of the O.S. Popov ONAT “Scientific works”, vol. 1, 2018, pp. 53-60

7. Balashov V.A. “Transmission Systems with Orthogonal Harmonic Signals” / V.A. Balashov, P.P. Vorobienko, L.M. Lyakhovetskiy. – М. : Eko-Trendz, 2012. - 228 s.

Стаття відправлена: 23.06.2018 г.

© Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орешков В.І., Яневич О.К.