

УДК 621.391

**ЗАСТОСУВАННЯ ОРТОГОНАЛЬНИХ ГАРМОНІЧНИХ СИГНАЛІВ
УЗАГАЛЬНЕНОГО КЛАСУ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ PLC**

ОРЕШКОВ В.І.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
вул. Кузнечна, 1, Одеса, 65029, Україна
Oreshkov_VI@ukr.net*

**ПРИМЕНЕНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
ОБОБЩЁННОГО КЛАССА В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ПО ТЕХНОЛОГИИ PLC**

ОРЕШКОВ В.И.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
ул.Кузнечная, 1, Одесса, 65029, Украина
Oreshkov_VI@ukr.net*

**APPLICATION GENERALIZED CLASS ORTHOGONAL HARMONIC SIGNALS
FOR PLC TECHNOLOGY TRANSMISSION SYSTEMS**

ORESHKOV V.I.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kuznechna St., Odessa, 65029, Ukraine.
Oreshkov_VI@ukr.net*

Анотація. Робота присвячена дослідженню ефективності застосування ортогональних гармонічних сигналів (ОГС) узагальненого класу у системах передачі за технологіями PLC/BPL (PowerLineCommunication / BroadbandPowerLine), що використовують у якості середовища поширення сигналів вітчизняні проводи домашньої електропроводки. Розраховано розподіл інтерференційних завад по каналах систем передачі за технологією PLC/BPL з частотним планом 25 МГц-РВ, що використовують у якості середовища поширення сигналів провід домашньої електропроводки типу ППВ. У роботі визначено залежність інтерференційних завад від форми обвідної посилки сигналу (розглянуто застосування традиційних ОГС та ОГС узагальненого класу) та довжини провід ППВ при фіксованому значенні захисного інтервалу. Оцінено вплив інтерференційних завад на досяжні швидкості передавання систем PLC/BPL з урахуванням характеристик вітчизняних проводів домашньої електропроводки ППВ та рівня зовнішніх завад.

Ключові слова: ортогональні гармонічні сигнали, система передачі, технології PLC/BPL, домашня електропроводка довжина лінії, швидкість передавання, інтерференційні завади.

Аннотация. Работа посвящена исследованию эффективности применения ортогональных гармонических сигналов (ОГС) обобщённого класса в системах передачи по технологиям PLC/BPL (PowerLineCommunication / BroadbandPowerLine), использующих в качестве среды распространения сигналов отечественные провода домашней электропроводки. Рассчитано распределение интерференционных помех по каналам систем передачи по технологии PLC/BPL с частотным планом 25 МГц-РВ, использующих в качестве среды распространения сигналов провoda домашней электропроводки типа ППВ. В работе определена зависимость интерференционных помех от формы огибающей посылки сигнала (рассмотрено применение традиционных ОГС и ОГС обобщённого класса) и длины провoda ППВ при фиксированном значении защитного интервала. Оценено влияние интерференционных помех на достижимые скорости передачи систем PLC/BPL с учётом характеристик отечественных проводов домашней электропроводки ППВ и уровня внешних помех.

Ключевые слова: ортогональные гармонические сигналы, система передачи, технологии PLC/BPL, домашняя электропроводка, длина линии, скорость передачи, интерференционные помехи.

Abstract. The work is devoted to the research of the effectiveness of the generalized class orthogonal harmonic signals (OHS) application in the transmission systems using PLC/BPL (Power Line Communication / Broadband Power Line) technologies, which use the domestic wires of the home electricalwiring as the signal propagation medium. The interference noises distribution for the channels of the PLC/BPL technology transmission systems with a frequency plan of 25 МГц-РВ is calculated, using the ППВ typewires of the home electrical wiring as the signal propagation medi-

um. The variant of work on the homogeneous lines is considered, the branched network of the house electrical wiring is not considered. The dependence of the interference noise from the shape of the signal envelope is determined (the traditional OHS and the generalized class OHS application is considered) and from the length of the ППВ type wires for the fixed value of the guard interval. The analysis of the efficiency increasing of the PLS/BPL systems using the generalized class OHS with the optimal envelope shape (with the cosine quadratic fronts) compared to traditional OHS with the «P-pulse» envelope shape is performed. The effect of the interference noises on the achievable transmission rate of the PLS/BPL systems taking into account the characteristics of the ППВ type domestic wires of the house electrical wiring and the external additive noise level of is estimated. The significant influence of the interference on the transmission rate of the PLC/BPL systems is proved. The possibility of the increasing of the PLS/BPL systems transmission rate when working on the domestic wires of the house electrical wiring, ППВ type wires for example, due to the generalized class OHS application with the optimal envelope shape is demonstrated.

Key words: orthogonal harmonic signals, transmission system, PLC/BPL technology, house electrical wiring, line length, transmission rate, interference.

У наш час продовжується бурхливий розвиток інфокомунікаційних технологій із все більшою інтеграцією їх у суспільне життя людини, у тому числі через впровадження концепцій «Інтернет речей» (Internet of Things), «розумне місто» (SmartCity) та «розумний будинок» (SmartHome). Успіх чого у значній мірі визначається розвитком технологій та мереж широкопasmового доступу (ШД).

Для побудови мереж ШД можуть використовуватися телефонні кабелі ТМЗК, коаксіальні кабелі мереж кабельного телебачення, волоконно-оптичні кабелі мереж FTTx, мережі операторів супутникового та мобільного зв'язку. Доцільність застосування того чи іншого варіанту побудови мережі ШД визначається для кожного випадку окремо, виходячи з сукупності вихідних даних (серед головних можна виділити наступні: телекомунікаційні сервіси, які планується надавати, та наявність існуючої телекомунікаційної інфраструктури). Так, при реалізації концепції «розумного будинку» доцільним є застосування технології PLC (Power-Line Communications), яка для побудови мереж доступу використовує мережі електропостачання. Різновидом PLC є технологія BPL (Broadband over Power Lines) – широкопasmова передача через лінії електропостачання, що забезпечує передачу даних зі швидкістю більше 1 Мбіт/с.

В основі даної технології лежить метод передавання із застосуванням ортогональних гармонічних сигналів (ОГС) – OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing). OFDM – це метод передавання, який характеризується високою ефективністю при роботі по каналах зв'язку з ненормованими і швидко змінними характеристиками [1]. До таких каналів належать, зокрема, і канали організовані по мережі електропостачання.

Інтерес представляють характеристики (параметри) системи передачі (СП) BPL при роботі по вітчизняних проводах будинкової мережі електропостачання.

Одним з основних факторів, що обмежують швидкість передавання в системі передачі ортогональними гармонічними сигналами (СП ОГС), а, отже, і в СП BPL, є інтерференційні завади, що виникають внаслідок лінійних спотворень групового сигналу СП ОГС у каналі зв'язку [2]. У [3], на прикладі СП за технологією ADSL2+, доведено ефективність застосування ОГС узагальненого класу (УК) для зменшення потужності інтерференційних завад.

Метою даної статті є дослідження ефективності застосування ОГС УК у СП за технологією PLC/BPL, що використовують у якості середовища поширення сигналів вітчизняні проводи домашньої електропроводки.

Розрахунки інтерференційних завад виконувалися за методикою наданою у [4]. Швидкість передачі визначалася за методикою наданою у [1, 2].

У дослідженнях враховано наступні вихідні дані:

- частотний план 25 MHz-PB;
- СПП сигналу на виході передавача $PSD(f) = PSD_{\text{MASK}}(f) - 3,5$;
- рознос частот 24,4140625 кГц;
- кількість носійних частот – 1024;

- кількість інформаційних каналів $n = 950$;
- номер першого інформаційного каналу $m = 74$;
- кількість відліків на інтервалі ортогональності $N = 2048$;
- кількість відліків на захисному інтервалі $L = 64$;
- припустима ймовірність помилки $p = 10^{-7}$;
- СПП завад на вході приймача $n(i) = -140, -120, -100$ дБм/Гц;
- запас по захищеності $\Delta SNR = 6$ дБ;
- частота надходження тактів (символів) $f_c = 23,67424$ кГц (для тривалості захисного інтервалу 64 відліки);
- параметри мережі електропостачання на базі двожильних проводів типу ППВ 2x1,5 визначено з [6];
- довжина лінії, $l_{\text{л}}$ – від 25 до 100 м.

Інтерференційні завади в СП ВРЛ досліджувалися за умови застосування як традиційних ОГС, так і ОГС УК, при роботі однорідними (без розгалужень) проводами домашньої мережі електропостачання. СП ВРЛ, що використовує традиційні ОГС позначимо як СП-1, а СП ВРЛ з ОГСУК – СП-2.

Результати розрахунків інтерференції при використанні традиційних ОГС та ОГС узагальненого класу наведено на тривимірних графіках відповідно на рис. 1 і 2. Ці графіки ілюструють залежність відсоткового відношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу h від номера l інформаційного каналу СП PLC/ВРЛ і номера відліку початку інтегрування k_T у приймачі СП PLC/ВРЛ.

Як видно з рис. 1 та 2, значення h суттєво залежить від номера відліку початку інтегрування k_T . Значення k_T , за якого досягається мінімум співвідношення h є оптимальним і подальші дослідження характеристик СП ВРЛ повинні проводитися саме при $k_{\text{Топт}}$.

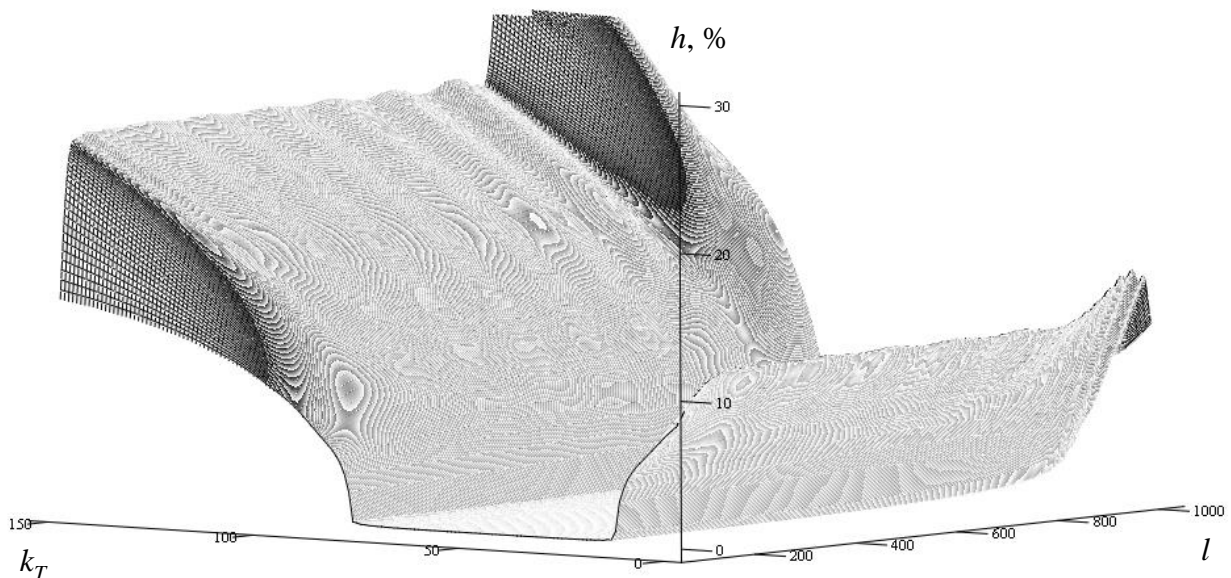


Рисунок 1 – Тривимірний графік залежності співвідношення h від l і k_T у для СП-1 та роботі по проводу типу ППВ 2x1,5 довжиною 50 м

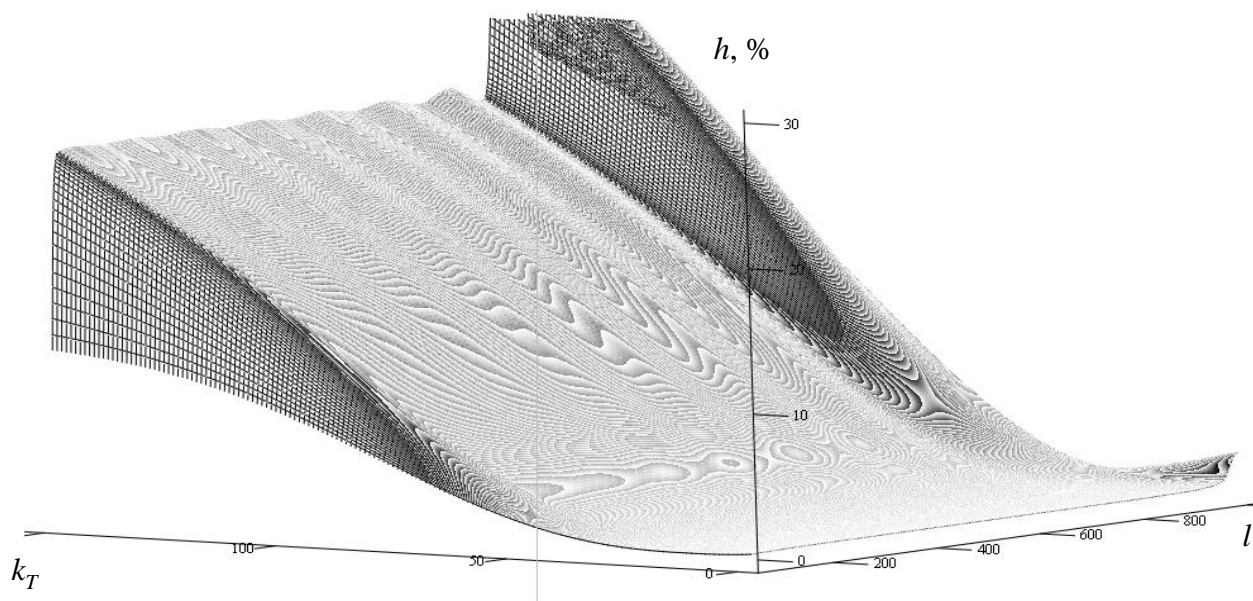


Рисунок 2 – Тривимірний графік залежності співвідношення h від l і k_T для СП-2 та роботи по проводу типу ППВ 2х1,5 довжиною 50 м

Для оцінки ефективності застосування у СП за технологіями PLC/VPL сигналів ОГС узагальненого класу у порівнянні з традиційними ОГС порівняємо залежності середньоарифметичних значень відсоткового відношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу від номера відліку початку інтегрування $h_{\text{сеп}}(k_T)$ та розподіл інтерференції h по інформаційних каналах при оптимальному значенні відліку початку інтегрування $h(l, k_T = k_{T_{\text{опт}}})$.

У табл. 1 наведено значення оптимального номера відліку початку інтегрування $k_{T_{\text{опт}}}$ у приймачі СП PLC/VPL та середньоарифметичні значення $h_{\text{сеп}}$ по всіх каналах системи передачі при $k_{T_{\text{опт}}}$, які розраховувалися за формулою:

$$h_{\text{сеп}}(k_T) = \frac{\sum_{l=1}^n h_{l, k_T}}{n},$$

де n – загальна кількість каналів, що використовувалося для передавання інформації.

На рис. 3 та 4 показані залежності $h_{\text{сеп}}(k_T)$ при різній довжині лінії для СП-1 і СП-2 відповідно. На рис. 5 надане порівняння розподілу інтерференції h по каналах l при $k_{T_{\text{опт}}}$ для СП-1 і СП-2 при однаковій довжині лінії.

Таблиця 1 – Результати визначення значень оптимального номера відліку початку інтегрування $k_{T_{\text{опт}}}$ у приймачі СП PLC/VPL та середньоарифметичних значень відсоткового відношення інтерференційної завади і сигналу h

Довжина лінії, м	СП-1		СП-2	
	$k_{T_{\text{опт}}}$, номер відліку	$h_{\text{сеп}}$, %	$k_{T_{\text{опт}}}$, номер відліку	$h_{\text{сеп}}$, %
50	64	0,114	17	0,064
75	65	0,201	25	0,102
100	68	0,255	33	0,113

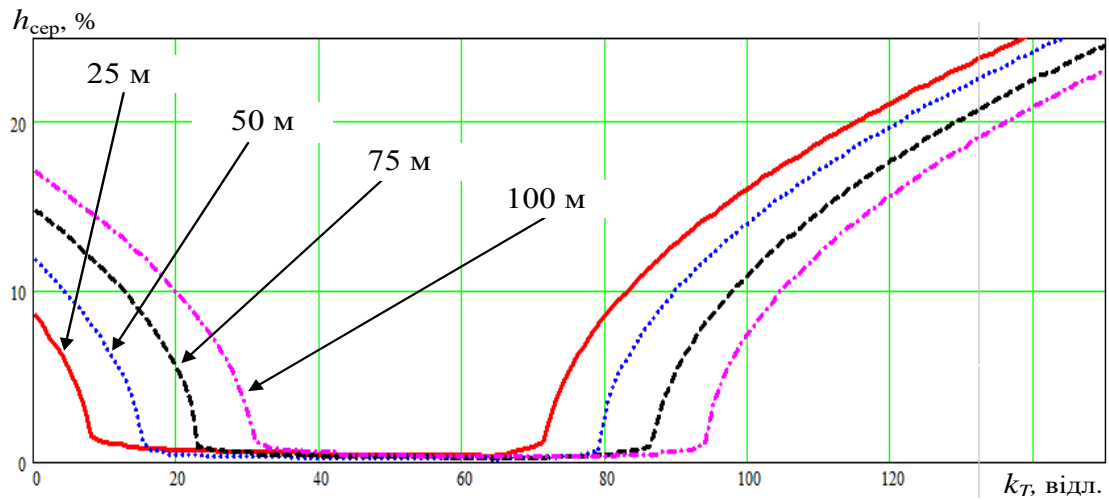


Рисунок 3 – Залежність $h_{сер}$ від номера k_T та довжини лінії l_L для СП-1 (ППВ 2x1,5; $L = 64$)

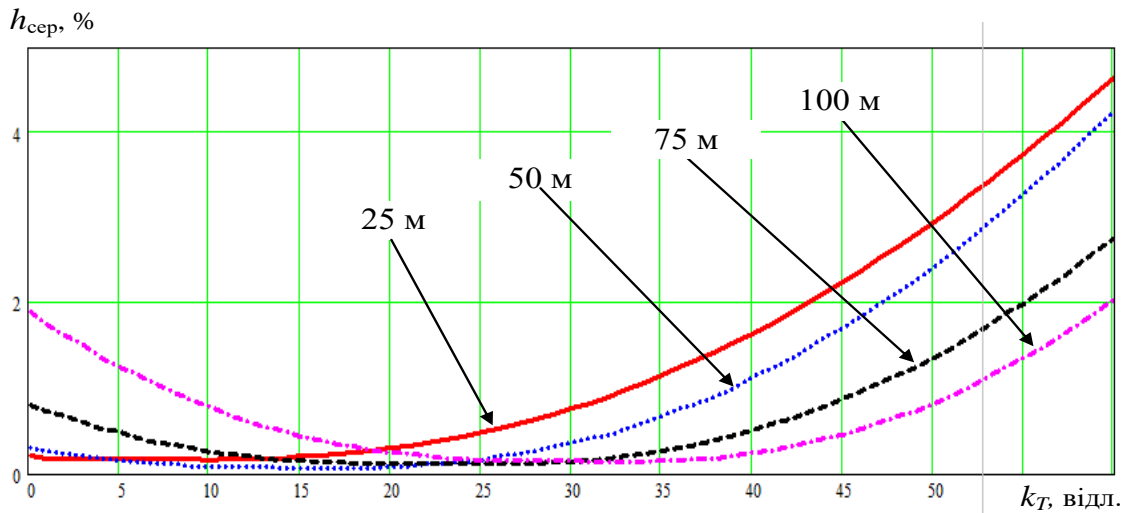


Рисунок 4 – Залежність $h_{сер}$ від номера k_T та довжини лінії l_L для СП-2 (ППВ 2x1,5; $L = 64$)

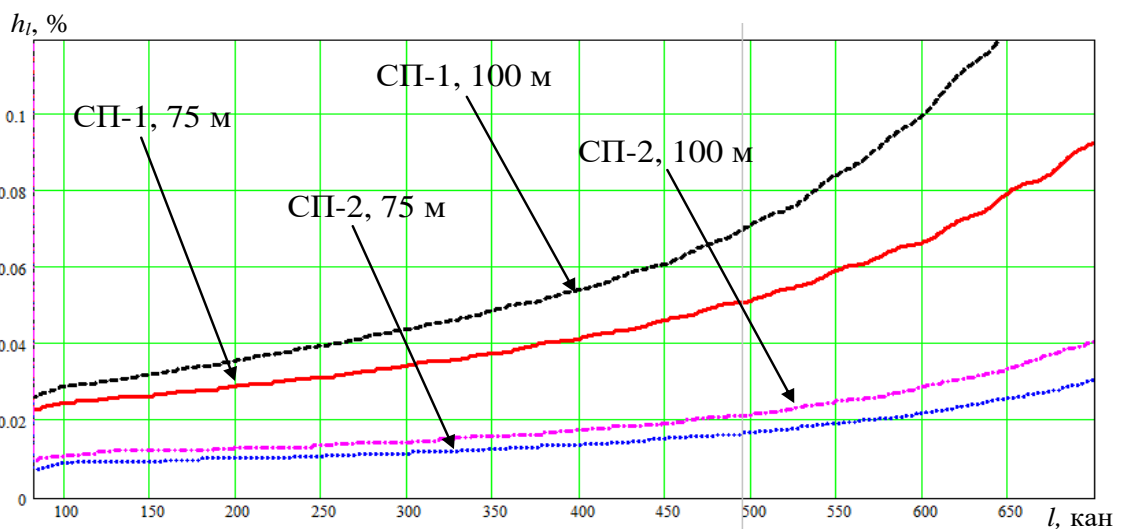


Рисунок 5 – Порівняння залежності $h(l)$ при $k_{Топт}$ для СП-1 і СП-2 ($l_L = 75$ та 100 м; ППВ 2x1,5; $L = 64$)

За результатами дослідження інтерференційних завад, що виникають у СП PLC/BPL при роботі по двохжильному проводу типу ППВ з площею поперечного перетину струмоп-

ровідних жил $1,5 \text{ мм}^2$ можна зазначити наступне:

– оптимальні моменти початку обробки сигналу у приймачі $k_{\text{ТОПТ}}$ при всіх інших однакових параметрах суттєво відрізняються для СП-1 і СП-2, що пояснюється різницею способів обробки сигналу у приймачі цих СП. Для СП-1 $k_{\text{ТОПТ}}$ не менша за тривалість захисного інтервалу (≥ 64 відлік), для СП-2 значення $k_{\text{ТОПТ}}$ не перевищує 33, тобто у 2 рази менша ніж для СП-1;

– співвідношення ефективних значень інтерференційної завади і сигналу h для СП-1 і СП-2 також суттєво відрізняються – застосування ОГС УК дозволяє при всіх інших однакових параметрах зменшити інтерференцію в середньому у 3 рази, що свідчить про доцільність застосування ОГС УК у СП PLC/BPL.

Дослідимо як зменшення потужності інтерференційних при застосуванні ОГС УК у порівнянні з традиційними ОГС впливає на досягну СП PLC/BPL швидкість передавання. Для цього було розраховано залежності швидкості передавання від довжини лінії без урахування інтерференції (на рисунках позначено як СП-0) та з урахуванням інтерференції у традиційних СП ОГС (позначено як СП-1) та СП з ОГС УК (позначено як СП-2), також враховано вплив зовнішніх адитивних завад (заданих як білий Гаусів шум AWGN з рівнем спектральної густини потужності (СПП) мінус 140, 120 та 100 дБм/Гц). Відповідні результати надані у табл. 2.

Таблиця 1 – Результати визначення швидкості передавання RСП PLC/BPL в залежності від довжини лінії $l_{\text{д}}$ та рівня СПП адитивних завад AWGN (ППВ $2 \times 1,5$; AWGN = -140 дБм/Гц)

Довжина лінії $l_{\text{д}}$, м	AWGN, дБм/Гц								
	-140			-120			-100		
	СП-0	СП-1	СП-2	СП-0	СП-1	СП-2	СП-0	СП-1	СП-2
25	334,5	321,2	327,6	314	299,4	307	165,3	164,5	164,6
50	334,5	316,4	325	298,8	286,4	292,3	150,9	150,2	150,5
75	334,5	305,4	321	284	269,4	277,6	136,4	135,6	135,9
100	334,5	290,9	316,9	269,2	252,9	263,2	122	121	121,4

За результатами розрахунку швидкості передавання можна зробити наступні висновки:

– за високого рівня СПП зовнішніх завад (AWGN = -100 дБм/Гц) інтерференційні завади не впливають на швидкість передавання, тому що їх рівень потужності значно менший, при цьому досяжна швидкість передавання (незалежно від типу СП) становить 120...165 Мбіт/с в залежності від довжини лінії електропостачання;

– якщо рівень СПП зовнішніх завад не перевищує мінус 120 дБм/Гц, то при визначенні швидкості передавання необхідно враховувати й інтерференційні завади, при цьому видно, що застосування ОГС УК дозволяє зменшити втрату швидкості відносно варіанту без врахування інтерференції у порівнянні з традиційними ОГС не менш ніж удвічі;

– за рівня AWGN = -120 дБм/Гц швидкість СП-0 становить 270...315 Мбіт/с в залежності від довжини лінії електропостачання, при цьому швидкість СП-1 менша за СП-0 в середньому на 14 Мбіт/с, а швидкість СП-1 – лише на 7 Мбіт/с;

– за рівня AWGN = -140 дБм/Гц (за відсутності зовнішніх завад, враховується лише тепловий шум) швидкість СП-0 незалежно від довжини лінії електропостачання складає максимум 334,5 Мбіт/с, при цьому інтерференційні завади здійснюють значний вплив на швидкість передавання. Для СП-1 швидкість зменшується на 13...44 Мбіт/с в залежності від довжини лінії електропостачання, а для СП-2 – на 7...18 Мбіт/с.

ВИСНОВОК

Згідно з проведеними дослідженнями визначено, що застосування ОГС узагальненого класу у порівнянні з традиційними ОГС дозволяють значно зменшити інтерференцію у СП PLC/BPL – на однорідних лініях в середньому у 3 рази, відповідно підвищити швидкість передавання. Отримані результати свідчать про доцільність застосування ОГС узагальненого класу для підвищення ефективності роботи СП за технологіями PLC/BPL вітчизняними мережами електропостачання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Балашов В. А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / Балашов В. А, Воробийенко П.П, Ляховецкий Л.М. – М.:Эко-Трендз, 2012. – 228 с.: ил.
2. Балашов В.А. Сети и оборудование широкополосного доступа по технологиям xDSL/ Балашов В. А, Воробийенко П.П, Лашко А.Г., Ляховецкий Л.М. – Одесса – 2010.
3. Орешков В.И. Исследование интерференции в системах передачи ортогональными гармоническими сигналами при вариации параметров сигнала и характеристик канала / В.И. Орешков, И.Б. Барба, Е.П. Егупова // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2016. – № 2. – С. 123 – 130.
4. 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.
5. ITU-T. Recommendation G.9960: Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification. [Text]. – Jul. 2015. – Geneva, 2016. – 153 p.
6. Перспективні телекомунікаційні технології мереж широкосмугового доступу: монографія / В.О. Балашов, А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецький, В.І. Орешков, В.В. Педяш, О.С. Решетнікова, А.В. Солдаткіна – Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2016 – 200 с.: 118 рис., 35 табл. ISBN 978-966-2769-98-2

REFERENCES:

1. Balashov V. A. Sistemy peredachi ortogonal'nimi garmonicheskimi signalami / Balashov V. A, Vorobiyenko P.P, Lyakhovetskiy L.M. – М.:Эко-Трендз, 2012. – 228 s.: il.
2. Balashov V.A. Seti i oborudovaniye shirokopolosnogo dostupa potekhnologiyam xDSL/ Balashov V. A, Vorobiyenko P.P, Lashko A.G., Lyakhovetskiy L.M. – Odessa – 2010.
3. Oreshkov V.I. Issledovaniye interferentsii v sistemakh peredachi ortogonal'nimi garmonicheskimi signalami pri variatsii parametrov signala i kharakteristik kanala / V.I. Oreshkov, I.B. Barba, Ye.P. Yegupova // Naukovі pratsі ONAZ ім. O.S. Popova. – 2016. – № 2. – S. 123 – 130.
4. Balashov V.A. Interferentsionnyye pomekhi v sistemakh peredachi garmonicheskimi signalami obobshchennogo klassa / V.A. Balashov, L.M. Lyakhovetskiy, I.B. Barba // Sbornik nauchnykh trudov SWorld. – 2014. – Vypusk 1. – Tom 9. – S. 79 – 86.
5. ITU-T. Recommendation G.9960: Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification. [Text]. – Jul. 2015. – Geneva, 2016. – 153 p.
6. Perspektivni telekomunikatsiyni tekhnolohiyi merezh shyrokosmuhovoho dostupu: monohrafiya / V.O. Balashov, A.H. Lashko, L.M. Lyakhovets'kyi, V.I. Oryeshkov, V.V. Pedyash, O.S. Reshetnikova, A.V. Soldatkina – Odesa: KUPRIYENKO SV, 2016 – 200 s.: 118 rys., 35 tabl. ISBN 978-966-2769-98-2