

УДК 621.371: 621.372: 621.315.1.052.63

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОПОРУ НАВАНТАЖЕННЯ ВІДГАЛУЖЕННЯ НА ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ МЕРЕЖАМИ БУДИНКОВОЇ ЕЛЕКТРОПРОВОДКИ

Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Яневич О.К.

*ДП «Одеський науково-дослідний інститут зв'язку»,
65026, Україна, м. Одеса, вул. Буніна, 23.
lashko@oniis.org.ua, lm@oniis.org.ua, toledo@oniis.org.ua*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ НАГРУЗКИ ОТВЕТВЛЕНИЯ НА СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО СЕТЯМ ДОМОВОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Яневич А.К.

*ГП «Одесский научно-исследовательский институт связи»,
65026, Украина, г. Одесса, ул. Бунина, 23.
lashko@oniis.org.ua, lm@oniis.org.ua, toledo@oniis.org.ua*

RESEARCH OF BRANCH LOAD IMPEDANCE INFLUENCE ON THE DATA RATE OVER THE NETWORKS BUILT ON THE HOUSE ELECTROWIRING

Lashko A.G., Liakhovetskyi L.M., Yanevych O.K.

*SE "Odessa scientific research institute of communication",
23 Bunina str., Odessa, 65026, Ukraine.
lashko@oniis.org.ua, lm@oniis.org.ua, toledo@oniis.org.ua*

Анотація. Стаття присвячена дослідженню характеристик систем передачі (СП) Broadband over Power Lines (BPL) при роботі на вітчизняних мережах будинкової електропроводки. Об'єктом дослідження є компонент мережі будинкової електропроводки (МБЕ) – відгалуження. Раніше було розглянуто вплив опору навантаження відгалуження на загасання фрагменту МБЕ у випадку навантажень типу обрив, коротке замикання (ХХ і КЗ), активне навантаження (R) та навантаження із реактивним опором (L, C). У статті досліджено вплив опору навантаження відгалуження на швидкість передавання даних на фрагменті МБЕ. Зроблено розрахунки та надано результати дослідження інтерференційних завад та швидкості передавання даних, досяжної за різних варіантів опору навантаження відгалуження у фрагменті МБЕ, утвореному двожильними проводами типу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил 1,5 мм². Здійснено порівняння швидкості передавання даних, досяжної за різних варіантів опору навантаження відгалуження.

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

Аннотация. Статья посвящена исследованию характеристик систем передачи (СП) Broadband over Power Lines (BPL) при работе на отечественных сетях домовой электропроводки. Объектом исследования является компонент сети домовой электропроводки (СДЭ) – ответвление. Ранее было рассмотрено влияние сопротивления нагрузки ответвления на затухание фрагмента СДЭ в случае нагрузки типа обрыв, короткое замыкание (ХХ и КЗ), активное сопротивление (R) и нагрузки с реактивным сопротивлением (L, C). В статье исследовано влияние сопротивления нагрузки ответвления на скорость передачи данных на фрагменте СДЭ. Выполнены расчеты и приведены результаты исследования интерференционных помех и скорости передачи данных, достижимой при различных вариантах сопротивления нагрузки ответвления в фрагменте СДЭ, образованном двужилными проводами типа ППВ с площадью поперечного сечения токопроводящих жил 1,5 мм². Выполнено сравнение скорости передачи данных, достижимой при различных вариантах сопротивления нагрузки ответвления.

Ключевые слова: технология BPL, широкополосный доступ по линиям электропередачи, система передачи, передача данных, сеть домовой электропроводки.

Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Яневич О.К.

53

Abstract. This article is dedicated to research of Broadband over Power Lines (BPL) transmission systems (TS) when working on domestic electrical wiring networks built with PPV type wire. The object of research is the component of domestic electrical wiring network (DEWN) – branch. The influence of load impedance of the branch on attenuation of fragment of DEWN in the cases of the idle, short circuit, resistance and reactance load was reviewed previously. The influence of load impedance of the branch on data transmission rate is investigated in the article. Calculations are carried out and the results of research of harmful interference and data transmission rate, achievable with different types of load impedance on the branch on fragment of DEWN, built with PPV type wire (the cross-sectional area of the conductor is 1,5 mm) in the case of various levels of additive noise are given. The dependences between the harmful interference and values of capacitance or inductance when the capacitance or inductance is a load on the branch on fragment of DEWN are analyzed. The comparison of data transmission rate, achievable with different types of load impedance on the branch is carried out. The character of dependence between the data transmission rate and load impedance of the branch of the fragment of DEWN and conditions for achieving the maximum data transmission rate over the fragment of DEWN is defined. The dependences of data transmission rate from the level of additive noise on the fragment of DEWN with different types of load impedance on the branch on fragment of DEWN, built with PPV type wire (the cross-sectional area of the conductor is 1,5 mm) are discovered.

Key words: BPL technology, broadband access over power lines, transmission system, data transmission rate, domestic electrical wiring network.

На сьогодні, за умов постійного розвитку Інтернету речей (IoT), широкого розповсюдження набувають так звані «розумні» пристрої – електронні машини, з'єднані з іншими пристроями або мережами за допомогою технології Machine-to-Machine (M2M). «Розумні» пристрої можуть застосовуватись як окремо, так і утворюючи певну систему взаємодії. Якщо говорити про місце «розумних» пристроїв у житті пересічної людини, варто відзначити такі взаємопов'язані концепції, як «розумний будинок» (Smart Home), «розумне місто» (Smart City), а також, в цілому, «Інтернет речей» (IoT), який об'єднує ці поняття. Концепція «розумного будинку», спрямована на підвищення енергоефективності, а також рівня комфорту людей, включає себе такі функції, як контроль та автоматизація освітлення, опалення (наприклад, інтелектуальні теплі підлоги), кондиціонування повітря, вентиляція, відеоспостереження, сигналізація, вмикання/вимикання «розумних» побутових приладів тощо. «Розумні» пристрої, якими є різноманітні датчики, прилади обліку спожитих ресурсів (газ, вода, електрика, тепло), відеокамери, за умови дистанційного моніторингу і керування через Інтернет, є важливою складовою IoT [1, 2].

За прогнозами компанії Strategy Analytics [3], обсяг ринку систем «розумний будинок» у світі в 2022 році складе близько 139 млрд. доларів, що на 70% більше, ніж у 2017 році (приблизно 82 млрд. доларів). Компанія Statista прогнозує [4] зростання кількості підключених до мережі «розумних» пристроїв IoT з 20,35 млрд. у 2017 році до 62,12 млрд. у 2024 році.

Необхідною умовою для повномасштабного використання потенціалу перелічених концепцій та зростання кількості пристроїв, підключених до IP-мереж, є розвиток мереж широкосмугового доступу (ШД).

Однією з технологій, які застосовуються при розгортанні концепції «розумного будинку», є Broadband over Power Lines (BPL) – різновид Power Line Communication (PLC). Ця технологія здобула популярність завдяки тому, що дозволяє суттєво знизити витрати і час, необхідні для розгортання мережі ШД, 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 [5].

Одним з основних параметрів системи передачі (СП) є швидкість передавання даних. На сьогоднішній день у науково-технічній літературі не висвітлено питання залежності

швидкості передавання даних у СП ВРЛ від типу навантаження відгалуження МБЕ, що побудована за допомогою широко використовуваного в Україні проводу типу ППВ.

Метою даної статті є дослідження впливу опору навантаження на відгалуженні, що входить до складу МБЕ (рис. 1), на швидкість передавання даних у СП ВРЛ.

До складу схеми фрагмента МБЕ, показаної 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 (надані у вигляді кіл великого діаметра із порядковими номерами полюсів усередині); одна точка відгалуження (ненумероване коло меншого діаметра). До полюса 2 підключене навантаження Z_n .

Еквівалентну схему фрагмента МБЕ з одним відгалуженням (рис. 1) у напрямку 1...3 можна представити у вигляді каскадного з'єднання трьох чотириполюсників – відрізок лінії довжиною l_1 , шлейф довжиною l_2 з навантаженням Z_n , відрізок лінії довжиною l_3 .

Шлейф довжиною l_2 з навантаженням Z_n визначається у вигляді відрізка лінії малої довжини, між проводами якого включено вхідний опір.

Для розрахунку швидкості передавання даних скористуємося методикою, опублікованою в [5], та проведемо розрахунки при роботі за фрагментом МБЕ з одним відгалуженням, утвореній двожильним проводом типу ППВ з площею поперечного перерізу струмопровідних жил $1,5 \text{ мм}^2$, схему якої показано на рис. 1.

Розрахунки проведено для наступних вихідних даних:

- кількість інформаційних каналів $n = 235$;
- номер першого інформаційного каналу $m = 21$;
- кількість відліків на інтервалі ортогональності $N = 512$;
- кількість відліків на захисному інтервалі $L = 32$;
- маска спектральної густини потужності (СГП) на виході передавача системи ВРЛ [6];
- частотний план 25 МГц-РВ [6], що передбачає діапазон частот передавання від 2 до 25 МГц;
- дискретні імпульсні реакції для різних типів навантаження відгалуження фрагмента МБЕ (рис. 2...4), схема якого показана на рис. 1.

Проведемо розрахунки інтерференційних завад. Для цього, за наведеною у [5] методикою, розрахуємо співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ при роботі за фрагментом МБЕ, схему якого показано на рис. 1.

Залежність співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ від номера каналу l і номера відліку групового сигналу, з якого починається його оброблення в приймачі, k_T показано на рис. 5...7.

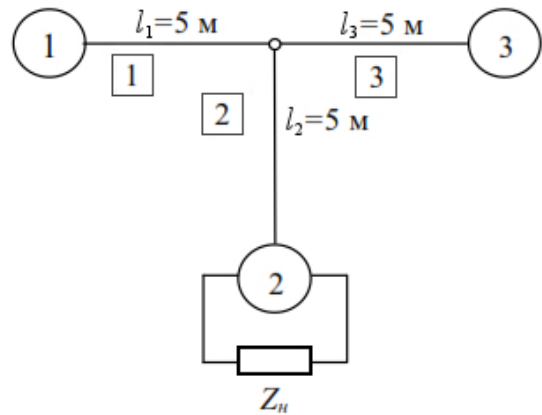
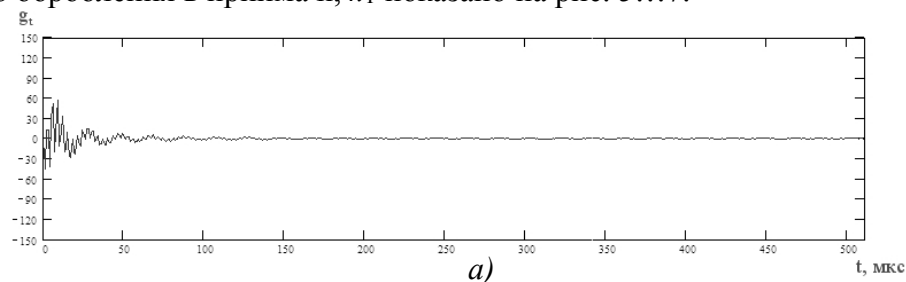


Рисунок 1 – Схема фрагмента МБЕ з одним відгалуженням



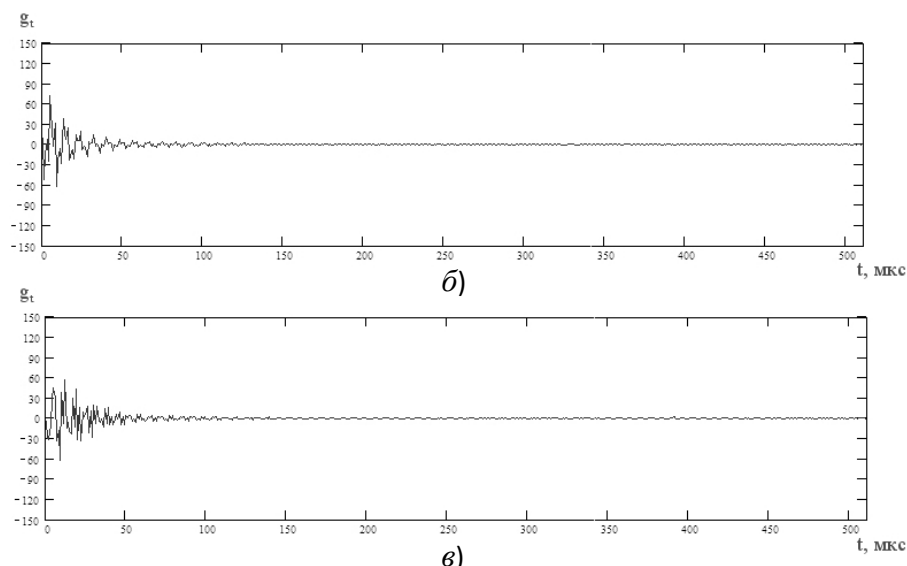


Рисунок 2 – Графічні зображення дискретної імпульсної реакції $g(t)$ (навантаження являє собою ємність: а) $C = 10^{-9}$ Ф; б) $C = 10^{-10}$ Ф; в) $C = 10^{-11}$ Ф)

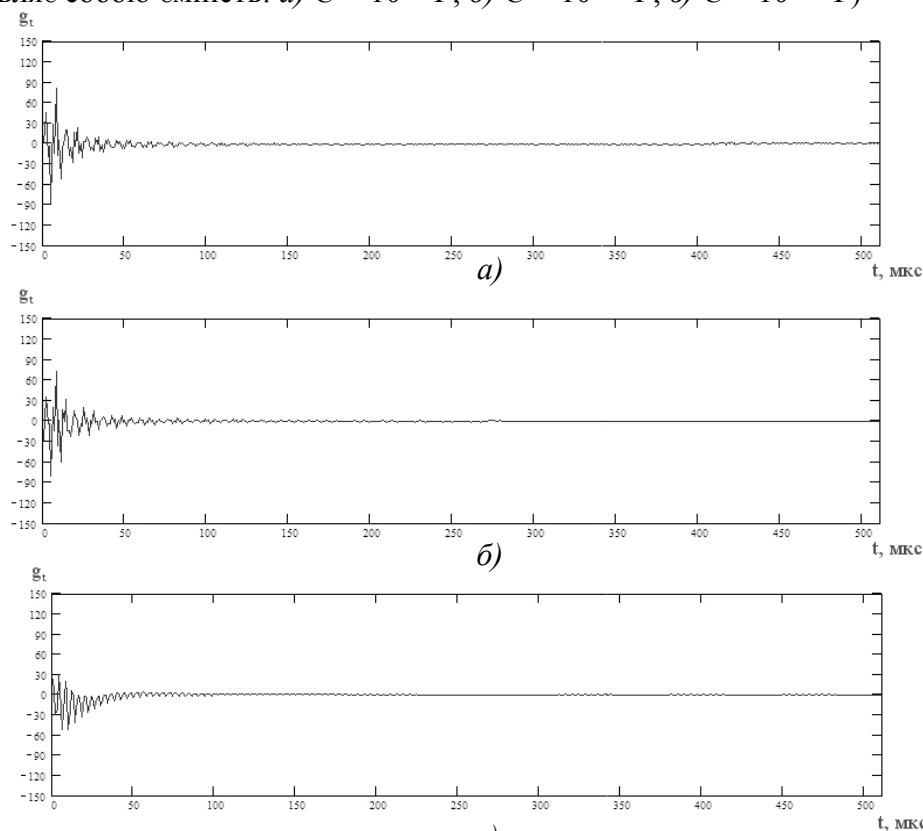


Рисунок 3 – Графічні зображення дискретної імпульсної реакції $g(t)$ (навантаження являє собою індуктивність: а) $L = 10^{-4}$ Гн; б) $L = 10^{-5}$ Гн; в) $L = 10^{-6}$ Гн)

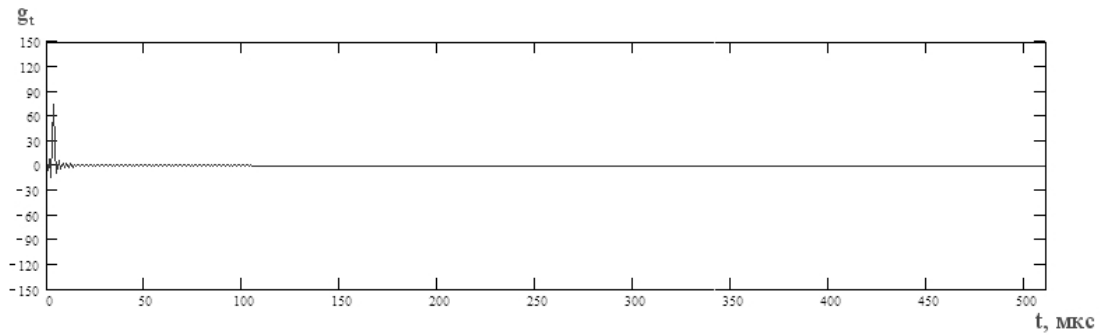


Рисунок 4 – Графічні зображення дискретної імпульсної реакції $g(t)$ (узгоджене навантаження: Z_{XB})

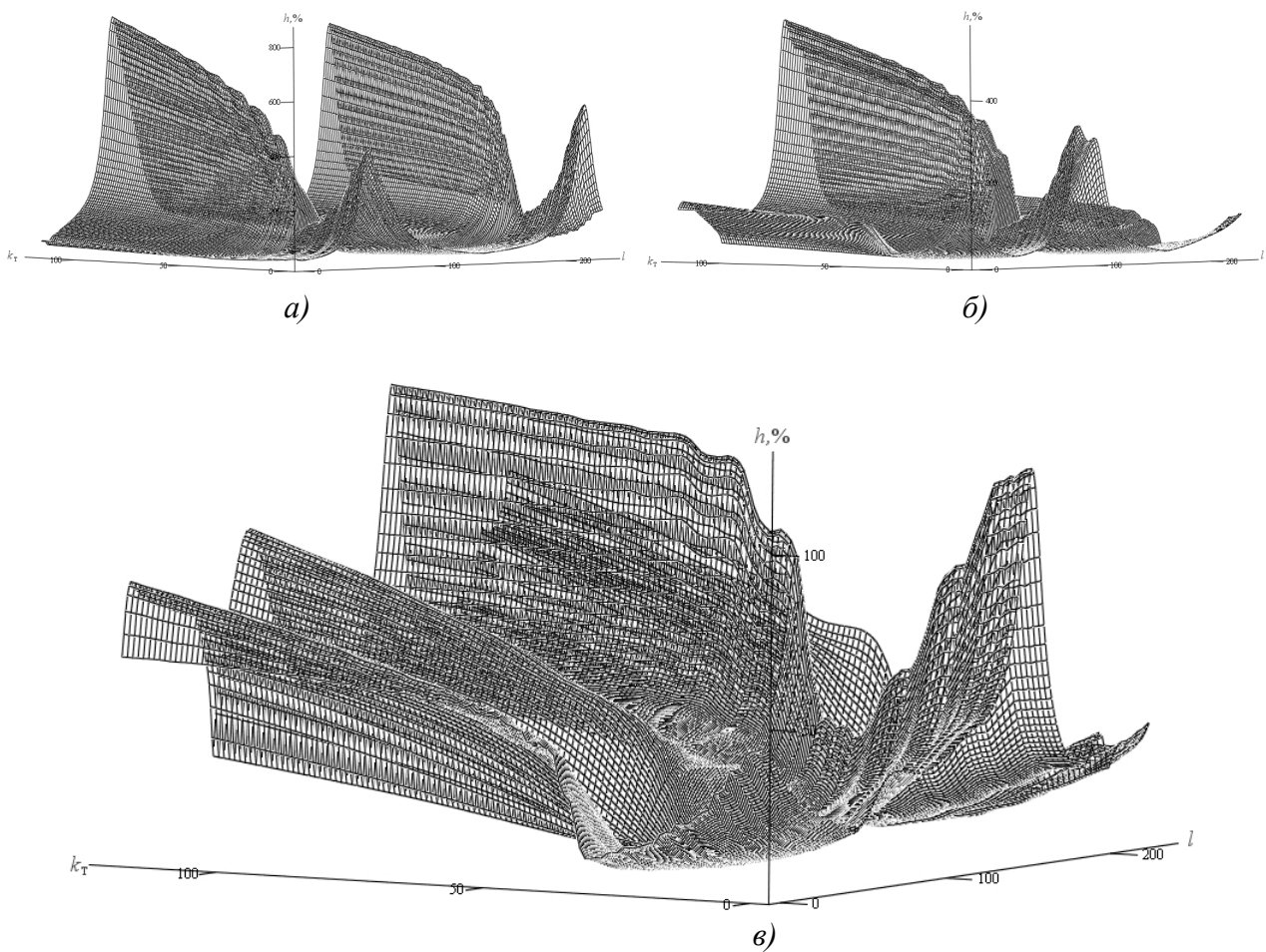


Рисунок 5 – Графічні зображення залежності співвідношення h від l і k_T (навантаження являє собою ємність: а) $C = 10^{-9}$ Ф; б) $C = 10^{-10}$ Ф; в) $C = 10^{-11}$ Ф)

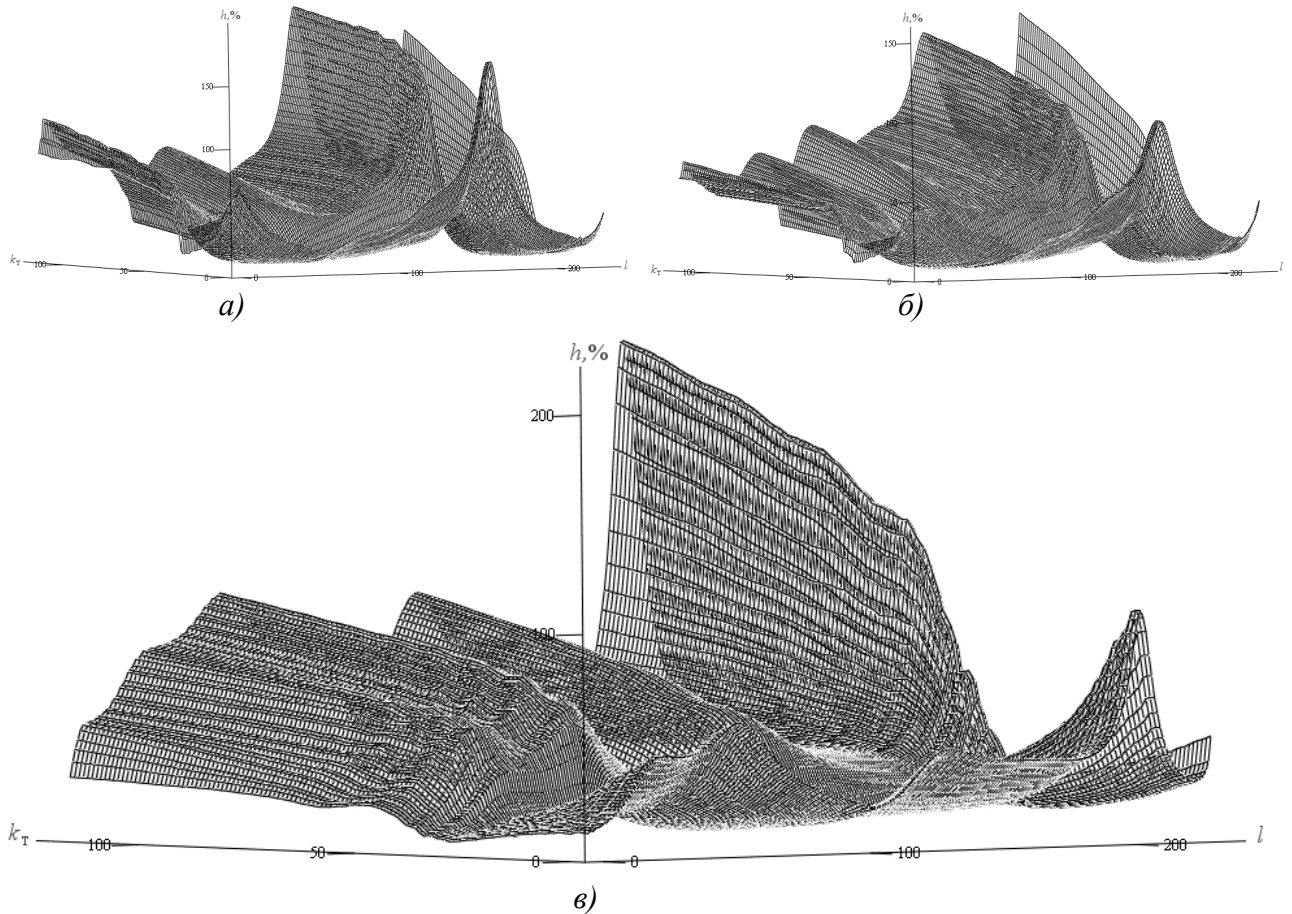


Рисунок 6 – Графічні зображення залежності співвідношення h від l і k_T (навантаження являє собою ємність: а) $L = 10^{-4}$ Гн; б) $L = 10^{-5}$ Гн; в) $L = 10^{-6}$ Гн)

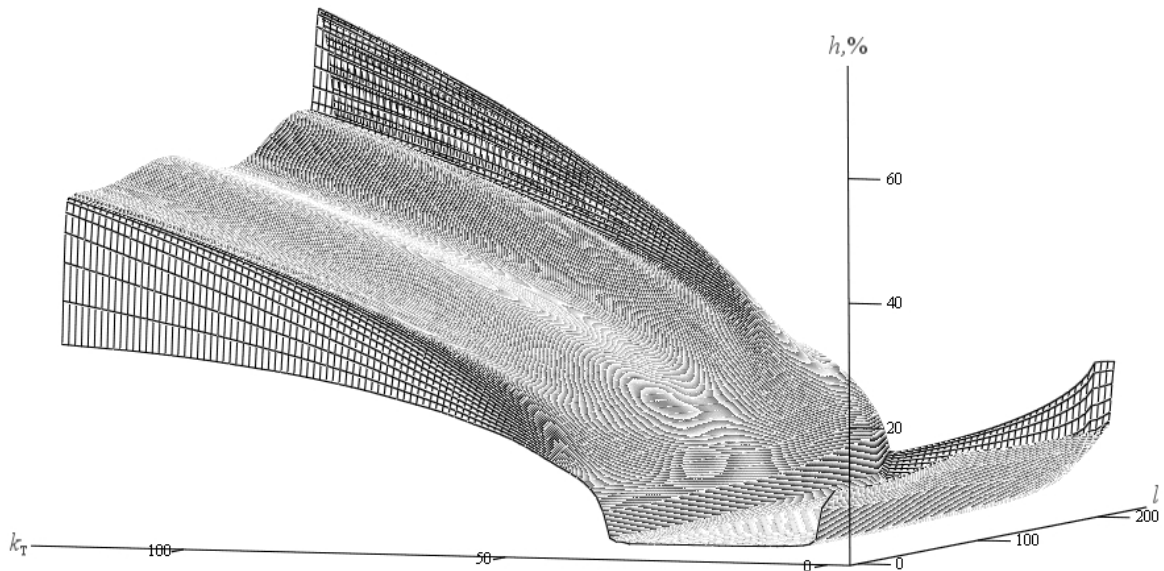


Рисунок 7 – Графічні зображення залежності співвідношення h від l і k_T (узгоджене навантаження Z_{XB})

З рис. 5...7 випливає, що найменше співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ досягається за умови підключення до полюса 2 схеми МБЕ (рис. 1) узгодженого навантаження Z_{XB} . Для випадку,

коли навантаження являє собою ємність, співвідношення h зменшується із зменшенням значення ємності C . Для навантаження у вигляді індуктивності співвідношення h зменшується із зростанням значення індуктивності L .

На рис. 5...6, які відображають залежності співвідношення h від l і k_T у випадку, коли навантаження являє собою ємність або індуктивність, простежується значна кількість сплесків, що пояснюється спотвореннями частотних характеристик каналів зв'язку, обумовленими відмінністю значень реактивних навантажень від хвильового опору проводу відгалуження.

У табл. 1 надано результати розрахунку швидкості передавання даних для різних варіантів опору навантаження на відгалуженні та величини адитивних завад.

Таблиця 1 – Залежність швидкості передавання даних від опору навантаження відгалуження та величини адитивних завад

		Рівень адитивних завад, дБм/Гц		
		-140	-120	-100
		Швидкість передавання даних, Мбіт/с		
Z_{XB}		232,442	230,882	165,074
$R = 0$ (КЗ)		56,342	56,250	54,687
$R = \infty$ (ХХ)		48,805	48,713	45,404
C, Φ	10^{-11}	43,842	43,75	41,452
	10^{-10}	35,478	35,478	33,364
	10^{-9}	29,779	29,687	27,574
$L, \text{Гн}$	10^{-4}	40,993	40,901	37,868
	10^{-5}	39,706	39,614	37,776
	10^{-6}	38,419	38,419	37,592

В результаті проведеного дослідження впливу опору навантаження на відгалуженні фрагмента МБЕ на швидкість передавання даних було встановлено:

- активний або реактивний опір навантаження відгалуження МБЕ призводить до зменшення швидкості передавання даних;
- максимальна швидкість передавання даних має місце за умови рівності опору навантаження та хвильового опору проводу відгалуження, до якого підключено навантаження;
- зі збільшенням величини ємності від 10^{-11} Ф до 10^{-9} Ф спостерігається зростання співвідношення h ефективних значень інтерференційних завад і сигналу на вході приймача СП ВРЛ і, відповідно, зменшення швидкості передавання даних у середньому на 32,6%;
- зі збільшенням величини індуктивності від 10^{-6} Гн до 10^{-4} Гн співвідношення h зменшується, що призводить до зростання швидкості передавання даних у середньому на 4,4%;
- збільшення рівня адитивних завад на фрагменті МБЕ від мінус 140 дБм/Гц до мінус 100 дБм/Гц призводить до зменшення швидкості передавання даних у середньому на 29,0% (навантаження – хвильовий опір); 6,3% (навантаження – ємність); 4,9% (навантаження – індуктивність).

ЛІТЕРАТУРА:

1. Best home automation system [Електронний ресурс] Consumer Reports. – Режим доступу: <https://www.consumerreports.org/cro/magazine/2014/06/run-your-home-from-your-phone/index.htm>. – Дата доступу: 11.04.2018. – Заголовок з екрана.
2. Machine-to-Machine [Електронний ресурс] Gemalto. – Режим доступу: <https://www.gemalto.com/m2m>. – Дата доступу: 12.04.2018. – Заголовок з екрана.
3. Smart Homes Why Now [Електронний ресурс] Strategy Analytics. – Режим доступу: https://www.strategyanalytics.com/access-services/devices/connected-home/smart-home/reports/report-detail/smart-homes-why-now-?slid=327265&spg=1#.WIS_03Rc62w – Дата доступу: 18.04.18. – Заголовок з екрана.
4. Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide> – Дата доступу: 19.04.18. – Заголовок з екрана.
5. Балашов В.А. Системы передачи ортогональными гармоническими сигналами / В.А. Балашов, П.П. Воробьенко, Л.М. Ляховецкий. – М.: Эко-трендз, 2012. – 228 с.
6. ITU-T Recommendation G.9964: Unified high-speed wireline-based home networking transceivers – Power spectral density specification. – Dec. 2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.9964-201112-1!!!PDF-E&type=items – Дата доступу: 20.04.18. – Заголовок з екрана.

REFERENCES:

1. Best home automation system [Electronic resource] Consumer Reports. – Access mode: <https://www.consumerreports.org/cro/magazine/2014/06/run-your-home-from-your-phone/index.htm>. – Date of access: 11.04.2018. – Title screen.
2. Machine-to-Machine [Electronic resource] Gemalto. – Access mode: <https://www.gemalto.com/m2m>. – Date of access: 12.04.2018. – Title screen.
3. Smart Homes Why Now [Electronic resource] Strategy Analytics. – Access mode: https://www.strategyanalytics.com/access-services/devices/connected-home/smart-home/reports/report-detail/smart-homes-why-now-?slid=327265&spg=1#.WIS_03Rc62w – Date of access: 18.04.18. – Title screen.
4. Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions) [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide>. – Date of access: 19.04.18. – Title screen.
5. Balashov V.A. Sistemy peredachi ortogonal'nymi garmonicheskimi signalami / V.A. Balashov, P.P. Vorobienko, L.M. Liakhovetskiy. – M.: Jeko-trendz, 2012. – 228 s.
6. 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.9964-201112-1!!!PDF-E&type=items – Date of access: 19.04.18. – Title screen.