

УДК 621.391

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SEGMENT WIRES LENGTH ON THE FREQUENCY CHARACTERISTICS OF A BRANCHED HOME ELECTRICAL WIRING NETWORK

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОВЖИНИ ВІДРІЗКІВ ПРОВІДІВ НА ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОЗГАЛУЖЕНОЇ МЕРЕЖІ БУДИНКОВОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДКИ

Oreshkov V.I. / Орешков В.І.*s.t.s., as. prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-9796-0216

Yanevych O.K. / Яневич О.К.*s.t.s., sen. lec. / к.т.н., ст. викл.*

ORCID: 0009-0000-2593-3569

Mishanchuk D.V. / Мішанчук Д.В.*student / здобувач**State University of Intelligent Technologies and Telecommunications,
Odesa, Kuznechna, 1, 65023**Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку,
Одеса, Кузнечна, 1, 65023*

Анотація. В роботі розглядається вплив довжини відрізків проводів на амплітудно-частотно та фазо-частотну характеристики розгалуженої мережі будинкової електропроводки на прикладі застосування двожильного проводу ШВВП з мідними струмопровідними жилами з площею перетину $1,5 \text{ мм}^2$. У дослідженні розраховано частотні характеристики фрагмента МБЕ з одним відгалуженням у діапазоні частот до 50 МГц за довжини відрізків проводу основної лінії та відгалуження від 1 до 5 метрів. Показано, що збільшення довжини основної лінії пропорційно збільшує загасання і фазу, не змінюючи характеру спотворень, а довжина відгалуження суттєво впливає на форму частотних характеристик.

Ключові слова: інтернет речей, технологія PLC, амплітудно-частотна характеристика, фазо-частотна характеристика, відгалуження, довжина проводу.

Abstract. The paper investigates the influence of wire segment length on the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of a branched home electrical wiring network, using a two-core ShVVP wire with copper conductors of a 1.5 mm^2 cross-sectional area as an example. The study calculates the frequency characteristics of a fragment of the branched electrical network with a single branch in the frequency range up to 50 MHz, with the main line and branch segment lengths varying from 1 to 5 meters. It is shown that an increase in the main line length proportionally increases attenuation and phase without altering the nature of distortions, while the branch length significantly affects the shape of the frequency characteristics.

Key words: Internet of Things, Power Line Communication technology, amplitude-frequency characteristic, phase-frequency characteristic, branch, wire length.

Вступ.

З огляду на швидке зростання попиту на автоматизацію побутових процесів і поступове здешевлення «розумних» пристроїв, дедалі більшої актуальності набувають питання, що стосуються розвитку та впровадження технологій

Інтернету речей (Internet of Things, IoT) і концепції «розумного будинку» (Smart Home).

Аналітичні прогнози, наведені у звіті компанії IoT Analytics [1], свідчать, що до 2030 року загальна кількість підключених «розумних» пристроїв збільшиться більш ніж удвічі й досягне приблизно 41,1 млрд одиниць, тоді як на початку 2024 року їхня кількість становила близько 18,8 млрд.

Зважаючи на те, що більшість інтелектуальних пристроїв підключаються до мережі змінного електроживлення, перспективним засобом комунікації виступає організація широкосмугового доступу на базі технології Power Line Communications (PLC), зокрема її різновиду Broadband over Power Lines (BPL). Згідно з дослідженнями [2, 3], використання існуючої електромережі для передавання даних забезпечує унікальне поєднання економічності, надійності та високої швидкодії, дозволяючи уникнути прокладання додаткових кабельних ліній.

Впровадження рішень на основі PLC значно скорочує обсяги початкових інвестицій і зменшує терміни розгортання мережі, оскільки відпадає потреба у створенні розгалуженої кабельної інфраструктури. Додатковою перевагою є можливість застосування методу передавання сигналів з використанням ортогональних гармонічних сигналів (ОГС), що підвищує стійкість PLC-каналів до завад і забезпечує стабільну швидкість обміну даними навіть за умов роботи в середовищі з непередбачуваними та/або швидкозмінними характеристиками. Такий підхід дозволяє задовольнити вимоги більшості «розумних» пристроїв до якості зв'язку та пропускної здатності [4].

Постановка задачі та вихідні дані.

Одними із ключових параметрів системи передачі (СП) BPL є амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики мережі будинкової електропроводки (МБЕ) (далі – АЧХ і ФЧХ МБЕ). Величина цих параметрів безпосередньо впливає на досяжну швидкість передавання СП BPL. На даний час в Україні найбільшого поширення набули кабелі вітчизняного виробництва типу ШВВП з площею перетину мідних жил від 0,5 до 6 мм² та кількістю жил 2 і 3 [5].

Метою роботи є дослідження залежності АЧХ і ФЧХ від довжини відрізків проводів розгалуженої МБЕ, побудованого з використанням кабелю типу ШВВП.

У дослідженні використовувалися наступні вихідні дані: фрагмент мережі будинкової електропроводки з одним відгалуженням, побудований з використанням відрізків двожильного проводу ШВВП з мідними струмопровідними жилами з площею перетину $1,5 \text{ мм}^2$. На рис. 1 наведена структурна схема досліджуваного фрагменту МБЕ, яка містить наступні елементи: полюси (зображені у вигляді великих кіл із порядковими номерами в середині), відрізки проводів змінної довжини (показані у вигляді пронумерованих ліній) та точка відгалуження (показана як нумероване коло). До полюсу 3 підключено навантаження Z_H . Відрізки 1 і 2 складають основну лінію передачі між полюсами 1 і 2 для якої визначаються частотні характеристики. Відрізок 3 є відгалуженням від основної лінії.

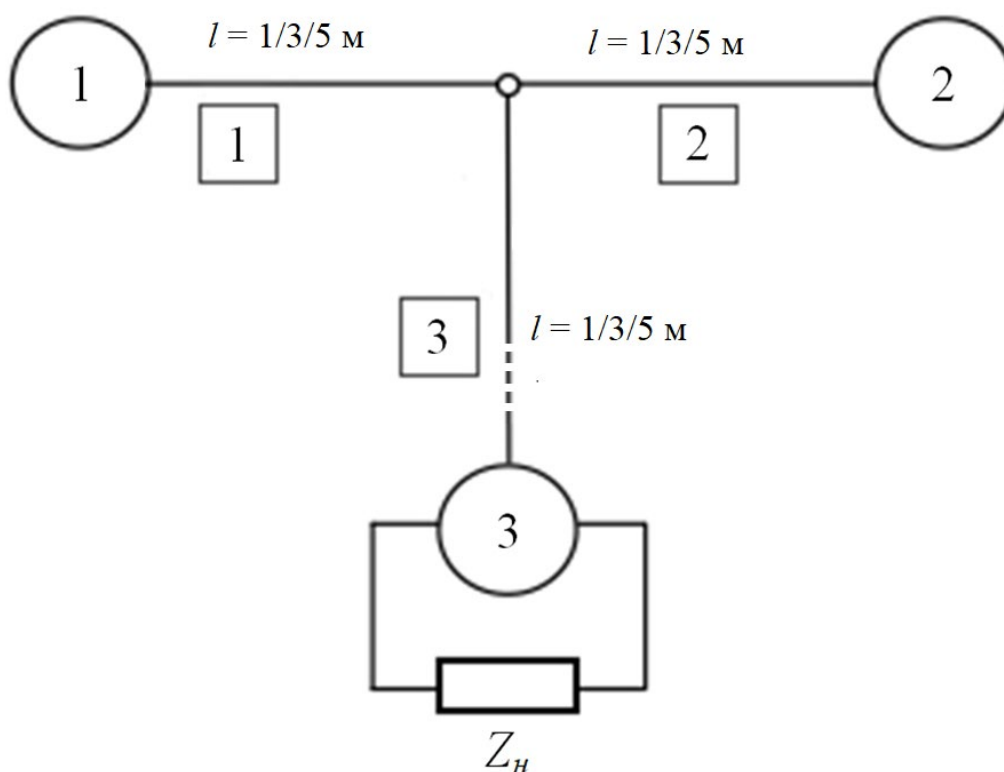


Рисунок 1 – Структурна схема МБЕ з одним відгалуженням

У дослідженні розглянуто варіант з опором навантаження на відгалуженні ∞ , що відповідає розімкнутим на кінці відгалуження проводам (умовно позначається, як холостий хід – ХХ) за довжини відрізків проводів: 1, 3 і 5 метрів. Частотні характеристики розглядаються у діапазоні до 50 МГц.

Результати досліджень.

Розрахунок частотних характеристик досліджуваного фрагменту МБЕ проводився з використанням методики описаної у [6].

На рис. 2 показано отримані результати розрахунку АЧХ і ФЧХ фрагменту МБЕ за умови незмінної довжини відрізків основної лінії (відрізки 1 і 2) – 5 метрів, а довжина відгалуження (відрізок 3) складала: 1, 3 і 5 метрів.

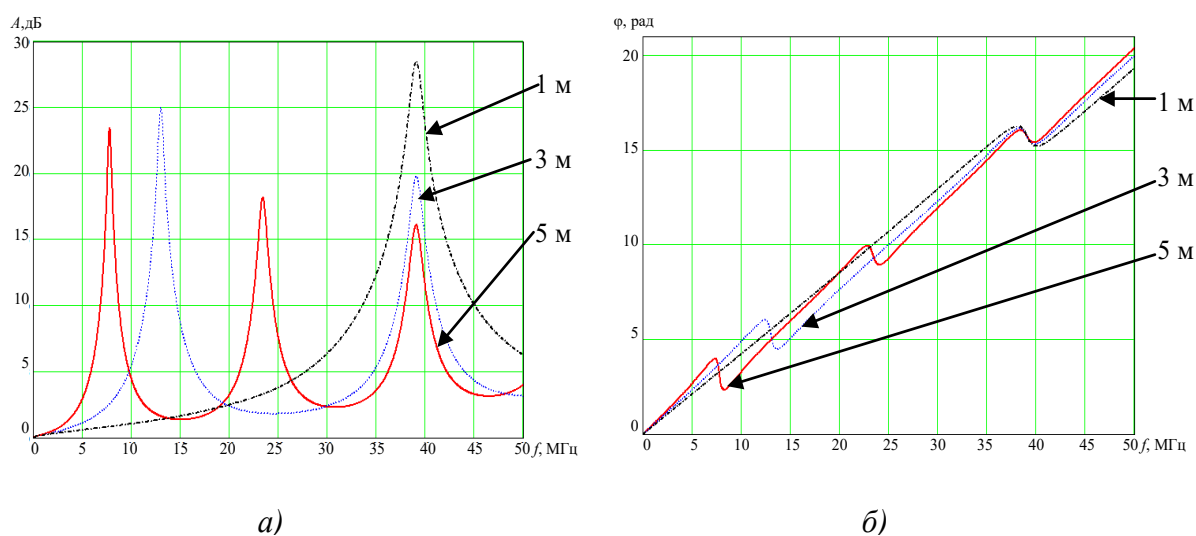


Рисунок 2 – Порівняння АЧХ (а) та ФЧХ (б) фрагменту МБЕ за довжини відгалуження (відрізок 3): 1, 3 і 5 метрів (довжина відрізків 1 і 2 – 5 метрів)

Аналіз результатів (рис. 2) показує, що довжина відгалуження суттєво впливає на характер ЧХ фрагменту МБЕ. Наявність відгалуження призводить до спотворення ЧХ, так АЧХ має чітко виражені піки загасання, величина яких може досягати 28 дБ і кількість яких збільшується зі збільшенням довжини відгалуження, відповідно ФЧХ також спотворюється, при чому діапазони спотворення ФЧХ співпадають з піками загасання АЧХ.

На рис. 3 показано отримані результати розрахунку АЧХ і ФЧХ фрагменту МБЕ за умови незмінної довжини відгалуження (відрізок 3) – 1 метр, а довжина відрізків основної лінії (відрізки 1 і 2) складала: 1, 3 і 5 метрів.

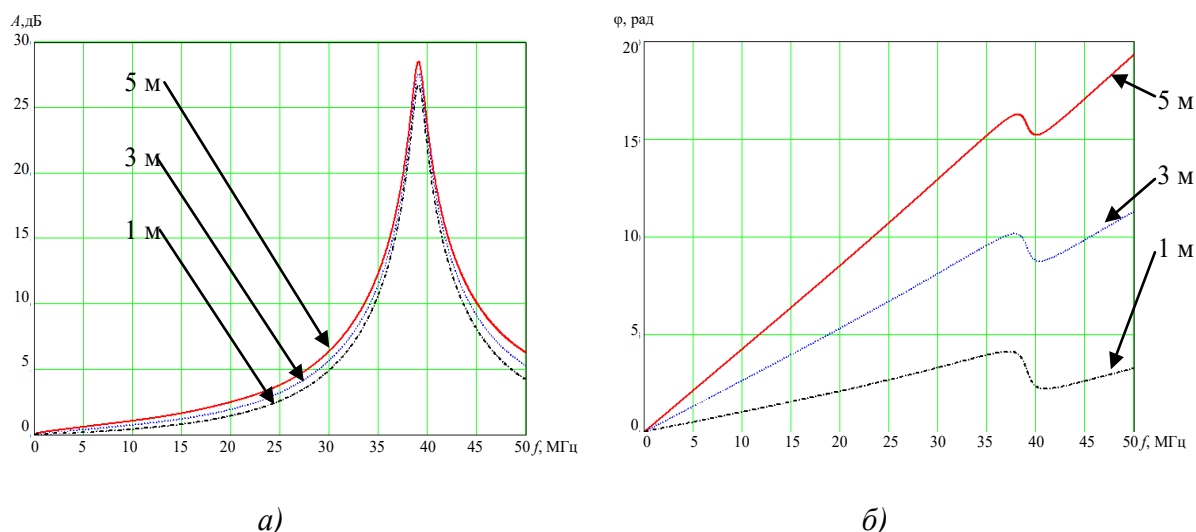


Рисунок 3 – Порівняння АЧХ (а) та ФЧХ (б) фрагменту МБЕ за довжини основної лінії (відрізки 1 і 2): 1, 3 і 5 метрів (довжина відгалуження – 1 метр)

Аналіз результатів (рис. 3) показує, що збільшення довжини відрізків основної лінії призводить до пропорційного збільшення загасання і фази та не впливає на характер частотних характеристик фрагменту МБЕ.

Висновки.

Проведені в роботі дослідження дозволили оцінити вплив довжини відрізків проводів на частотні характеристики розгалуженої МБЕ на прикладі застосування двожильного проводу ШВВП з мідними струмопровідними жилами з площею перетину $1,5 \text{ мм}^2$. Результати показали, що довжина відрізків основної лінії впливає тільки на величину загасання та фази і збільшується пропорційно збільшенню довжини цих відрізків і не впливає на характер частотних спотворень. Довжина відрізка проводу на відгалуженні суттєво впливає на характер спотворень частотних характеристик. Збільшення довжини відгалуження збільшує спотворення ЧХ, так у діапазоні частот до 50 МГц за довжини відгалуження 1 метр спостерігається один пік загасання, за довжини 3

метри – два піки, а за довжини 5 метрів – три піки загасання. Величина піків може досягати 28 дБ.

Література:

1. State of IoT 2024: Number of connected IoT devices growing 13% to 18.8 billion globally. URL: <https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices/> (дата звернення: 18.11.2024)
2. What Is Power Line Communication (PLC). URL: <https://nessum.org/media/technology-blog/what-is-power-line-communication> (дата звернення: 21.11.2024)
3. Power Line Communications: Theory and Applications for Narrowband and Broadband Communications over Power Lines. Hendrik C. Ferreira, Lutz Lampe, John Newbury, Theo G. Swart. John Wiley & Sons, Ltd., 2010. 507 p.
4. Power Line Communications: Principles, Standards and Applications from Multimedia to Smart Grid. Lutz Lampe, Andrea M. Tonello, Theo G. Swart. John Wiley & Sons, Ltd., 2016. 624 p.
5. ШВВП. Технічні та експлуатаційні характеристики. https://www.zzcm.com.ua/wp-content/uploads/2023/09/zzkm_new24_shvvp.pdf
6. Яневич О.К. Моделі та методи розрахунку характеристик систем передачі мережами електропроводки : дис. канд. тех. наук. 05.12.02 / Одеська державна академія зв'язку ім. О.С. Попова. Одеса, 2019. 195 с.

Статтю надіслано: 25.09.2025 р.

© Орешков В.І.