

**ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАННЯ МІЖ ДВОМА ДОВІЛЬНИМИ ПОЛЮСАМИ
РОЗГАЛУЖЕНОЇ БУДИНКОВОЇ ЕЛЕКТРОПРОВОДКИ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ МЕЖДУ ДВУМЯ ПРОИЗВОЛЬНЫМИ
ПОЛЮСАМИ РАЗВЕТВЛЕННОЙ ДОМОВОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ**

**DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF TRANSMISSION BRANCHED
HOUSE WIRING BETWEEN TWO ARBITRARY POLES**

Анотація. У даній статті сформульовано спосіб визначення параметрів передавання між двома довільними полюсами розгалуженої будинкової електропроводки, що використовується в технології BPL. Наведені результати дослідження частотних характеристик параметрів передавання до 32 МГц однієї конфігурації розгалуженої будинкової електропроводки на відрізках проводів ППВ.

Аннотация. В данной статье сформулирован способ определения параметров передачи между двумя произвольными полюсами разветвленной домовой электропроводки, используемой в технологии BPL. Приведены результаты исследования частотных характеристик параметров передачи до 32 МГц одной конфигурации разветвленной домовой электропроводки на отрезках проводов ППВ.

Summary. A method of determining the parameters of transmission between two arbitrary poles of extensive house-wiring, used in BPL technology, is formulated in this paper. The results of research of frequency characteristics of the transmission parameters of one variant of branched house-wiring on PPV's pieces of wire are listed below.

На сьогодні однією із перспективних технологій широкосмугового доступу до мережі Інтернет є технологія BPL (Broadband over Power Lines), що здатна забезпечити високу швидкість передавання даних, використовуючи для цього існуючі внутрішньобудинкові або внутрішньоквартирні електромережі [1].

В Україні поки що відсутній досвід застосування технології BPL. З іншого боку, очевидно, що існує зацікавленість в оцінці перспектив запровадження даної технології. Проте, той факт, що технологія BPL була розроблена для використання на закордонних мережах електропроводки, характеристики яких суттєво відрізняються від характеристик вітчизняних мереж, унеможливило використання закордонного досвіду запровадження даної технології на території України без проведення додаткових досліджень.

Тому для визначення однієї з найважливіших характеристик BPL-системи – швидкості передавання цифрових сигналів, досяжної по вітчизняній розгалуженій будинковій електропроводці (РБЕ), – необхідні дані щодо параметрів передавання вітчизняної розгалуженої будинкової електропроводки.

Питання про визначення параметрів передавання РБЕ розглядалося в [2], де йшла мова про побудову матриці розсіювання усієї РБЕ. В даній статті пропонується спростити вирішення цього питання, розглядаючи РБЕ у вигляді чотириполюсника між двома довільними полюсами.

До складу структурної схеми РБЕ загального виду (рис. 1) входять такі основні компоненти: відрізки проводів (1), відгалуження (2), 2 відгалуження в одній точці (3), розподільний щит (4) і навантаження (5).

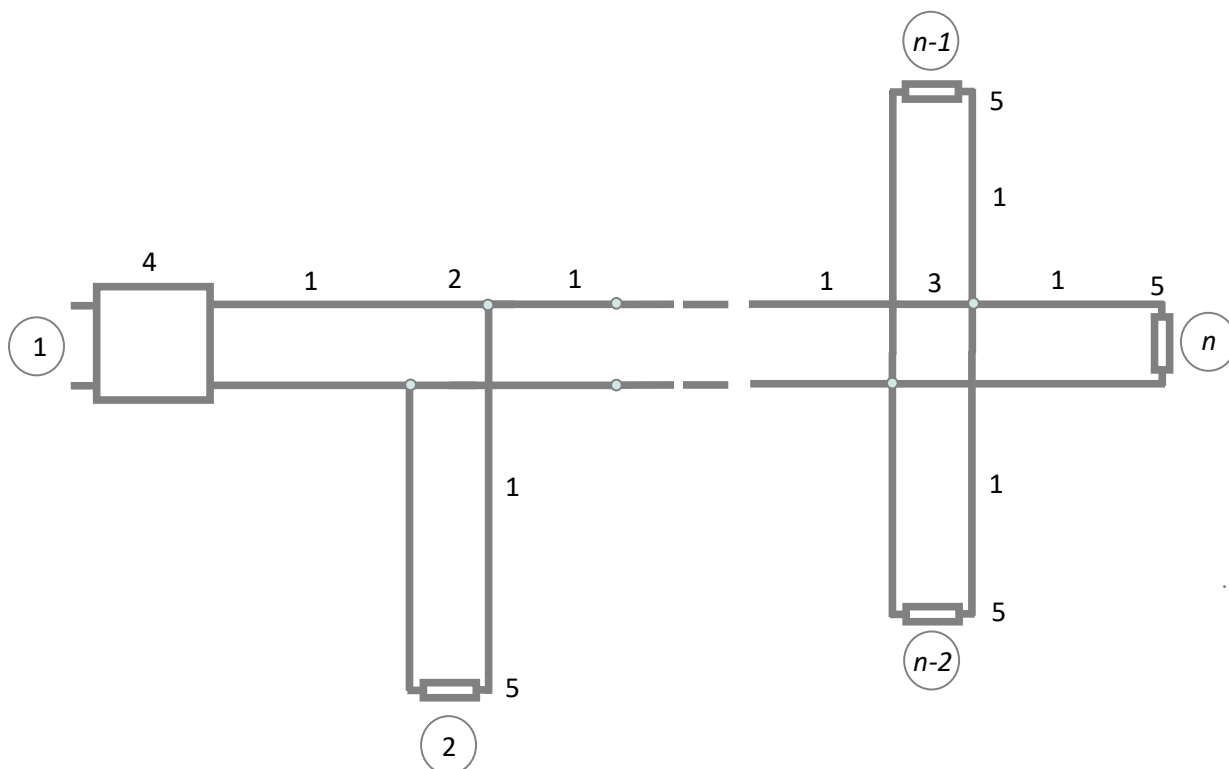


Рисунок 1 – Структурна схема розподільної будинкової електропроводки загального виду

Розглянемо структурну схему РБЕ між полюсами 1 та n . Користуючись принципами декомпозиції [3], складемо еквівалентну схему РБЕ у вигляді каскадного з'єднання окремих чотириполосників.

На рис. 2 представлена еквівалентна схема РБЕ загального виду між полюсами 1 та n . Для її аналізу скористаємося методами теорії кіл [4 ... 6]. Кожен із чотириполосників характеризується своєю матрицею передавання. Матриця передавання між полюсами 1 та n еквівалентної схеми РБЕ дорівнює добутку матриць передавання усіх чотириполосників, що входять до складу еквівалентної схеми [4 ... 6].

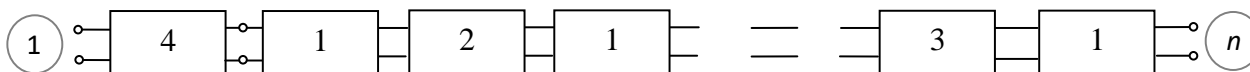


Рисунок 2 – Еквівалентна схема розподільної будинкової електропроводки загального виду

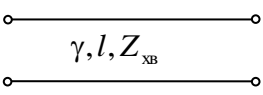
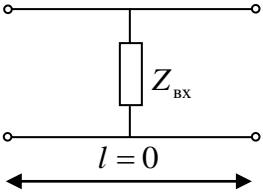
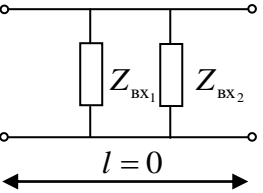
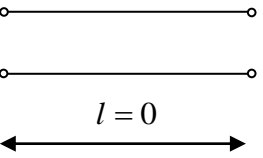
Матриця передавання еквівалентної схеми РБЕ між полюсами 1 та n має наступний вигляд:

$$A_{\text{екв}} = A_4 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_3 \cdot A_1, \quad (1)$$

де A_1, A_2, A_3, A_4 – матриці передавання відповідних чотириполосників.

У табл. 1 наведені матриці передавання деяких компонентів еквівалентної схеми РБЕ [6].

Таблиця 1 – Матриці передавання компонентів еквівалентної схеми розподільної будинкової електропроводки

Номер чотириполюсника	Еквівалентна схема	Матриця передавання [4 ... 6]
1 (відрізок лінії)		$\begin{bmatrix} \operatorname{ch}\gamma l & Z_{\text{xb}} \operatorname{sh}\gamma l \\ \frac{1}{Z_{\text{xb}}} \operatorname{sh}\gamma l & \operatorname{ch}\gamma l \end{bmatrix}$
2 (відгалуження)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{\text{bx}}} & 1 \end{bmatrix}$
3 (2 відгалуження в одній точці)		$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \left(\frac{1}{Z_{\text{bx}_2}} + \frac{1}{Z_{\text{bx}_1}}\right) & 1 \end{bmatrix}$
4 (розподільний щит)	в положенні «ввімкнено» 	$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$

Примітка. $\gamma = \alpha + j\beta$ – постійна розповсюдження двожильного проводу, α – коефіцієнт загасання; β – коефіцієнт фази; l – довжина двожильного проводу; Z_{xb} – хвильовий опір двожильного проводу. Вирази для визначення параметрів передавання проводів типу ППВ і АППВ наведені в [7].

Z_{bx_i} – вхідний опір i -го відрізка лінії, навантаженого на опір R_{H_i} , визначається за формулою [4 ... 6]:

$$Z_{\text{bx}_i} = \frac{R_{\text{H}_i} \cdot A_{11} + A_{12}}{R_{\text{H}_i} \cdot A_{21} + A_{22}} = \frac{R_{\text{H}_i} \cdot \operatorname{ch}\gamma_i l_i + Z_{\text{xb}_2} \operatorname{sh}\gamma_i l_i}{\frac{R_{\text{H}_i}}{Z_{\text{xb}_1}} \cdot \operatorname{sh}\gamma_i l_i + \operatorname{ch}\gamma_i l_i}$$

Після визначення матриці передавання еквівалентної схеми, можна розрахувати параметри передавання РБЕ (робоче загасання $a_{\text{роб}}$ і фаза робочої постійної передавання $\varphi_{\text{роб}}$), скориставшись наступними формулами [4 ... 6]:

$$L_{p_{1-n}} = \sqrt{[\operatorname{Re} L_{p_{1-n}}]^2 + [\operatorname{Im} L_{p_{1-n}}]^2}, \quad (2)$$

де $L_{p_{1-n}}$ – функція робочого загасання; $\operatorname{Re} L_{p_{1-n}}$ – дійсна частина функції робочого загасання; $\operatorname{Im} L_{p_{1-n}}$ – уявна частина функції робочого загасання.

$$\operatorname{Re} L_{p_{1-n}} = 0,5 \cdot (\operatorname{Re} A_{11} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{T}}}} + \frac{\operatorname{Re} A_{12}}{\sqrt{R_{\text{H}} \cdot R_{\text{T}}}} + \operatorname{Re} A_{21} \cdot \sqrt{R_{\text{H}} \cdot R_{\text{T}}} + \operatorname{Re} A_{22} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{T}}}}); \quad (3)$$

$$\operatorname{Im} L_{p_{1-n}} = 0,5 \cdot (\operatorname{Im} A_{11} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{T}}}} + \frac{\operatorname{Im} A_{12}}{\sqrt{R_{\text{H}} \cdot R_{\text{T}}}} + \operatorname{Im} A_{21} \cdot \sqrt{R_{\text{H}} \cdot R_{\text{T}}} + \operatorname{Im} A_{22} \cdot \sqrt{\frac{R_{\text{H}}}{R_{\text{T}}}}), \quad (4)$$

де R_H – опір навантаження, Ом; R_G – опір генератора, Ом; $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ – елементи матриці передавання еквівалентної схеми РБЕ.

Беручи до уваги те, що у нашому випадку опір генератора R_G дорівнює опору навантаження R_H , формули (3) та (4) будуть мати наступний вигляд:

$$\operatorname{Re} L_{p_{1-n}} = 0,5 \cdot (\operatorname{Re} A_{11} + \frac{\operatorname{Re} A_{12}}{R_H} + \operatorname{Re} A_{21} \cdot R_H + \operatorname{Re} A_{22});$$

$$\operatorname{Im} L_{p_{1-n}} = 0,5 \cdot (\operatorname{Im} A_{11} + \frac{\operatorname{Im} A_{12}}{R_H} + \operatorname{Im} A_{21} \cdot R_H + \operatorname{Im} A_{22});$$

$$a_{\text{роб}_{1-n}} = 20 \log |L_{p_{1-n}}|; \quad (5)$$

$$\varphi_{\text{роб}_{1-n}} = \arctg \frac{\operatorname{Im} L_{p_{1-n}}}{\operatorname{Re} L_{p_{1-n}}} \quad (6)$$

Застосування методу декомпозиції і відомих матриць передавання чотириполосників дозволило сформулювати наступний спосіб визначення параметрів передавання між двома довільними полюсами РБЕ, який полягає в:

- 1) складанні структурної схеми РБЕ між вибраними вхідним і вихідним полюсами;
- 2) складанні еквівалентної схеми РБЕ у виді каскадного з'єднання чотириполосників;
- 3) визначенні матриці передавання кожного компонента, що входить до складу РБЕ;
- 4) визначенні матриці передавання еквівалентного чотириполосника РБЕ;
- 5) визначенні параметрів передавання РБЕ (в тому числі робоче загасання і фаза робочої постійної передавання) між вхідним і вихідним полюсами.

Результати досліджень частотних характеристик загасання РБЕ

Нами були проведені розрахунки параметрів передавання кількох конфігурацій РБЕ різної складності і довжин відрізків. Як приклад розглянемо РБЕ, конфігурацію якої наведено на рис. 3. РБЕ складається з одного відрізка двожильного проводу ППВ 2x4 (відрізок 1 на рис. 3), одинадцяти відрізків двожильних проводів ППВ 2x2,5 та чотирьох точок відгалуження. Всі відрізки проводів пронумеровано і показано у вигляді ліній, полюси представлені колами великого діаметра із порядковими номерами полюсів всередині, точки відгалуження – колами меншого діаметра.

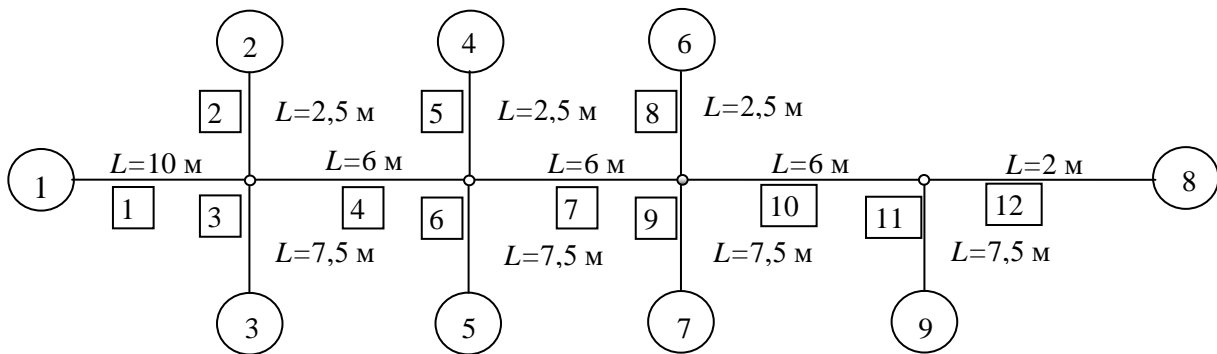


Рисунок 3 – Схема розподільної будинкової електропроводки

У ході проведених розрахунків були визначені робочі загасання і фаза РБЕ. Розрахунки провадилися в діапазоні частот від 1 до 31,25 МГц з шістьма варіантами навантаження полюсів (варіанти навантаження на полюсах схеми наведено в табл. 2).

Таблиця 2 – Варіанти навантаження полюсів схеми розподільної будинкової електропроводки

Номер полюса	Навантаження на полюсах для варіанта					
	1	2	3	4	5	6
1	100 Ом	100 Ом	100 Ом	100 Ом	100 Ом	100 Ом
2	100 Ом	КЗ	XX	XX	100 Ом	100 Ом
3	100 Ом	КЗ	XX	КЗ	КЗ	XX
4	100 Ом	КЗ	XX	XX	100 Ом	100 Ом
5	100 Ом	КЗ	XX	КЗ	КЗ	XX
6	100 Ом	КЗ	XX	XX	100 Ом	100 Ом
7	100 Ом	КЗ	XX	КЗ	КЗ	XX
8	100 Ом	100 Ом	100 Ом	100 Ом	100 Ом	100 Ом
9	100 Ом	КЗ	XX	XX	100 Ом	100 Ом

Примітка. КЗ – навантаження у вигляді короткого замикання; XX – навантаження у вигляді холостого ходу.

На рис. 4, 5 наведено графіки робочого загасання і фази робочої постійної передавання РБЕ відповідно, побудовані за результатами розрахунків.

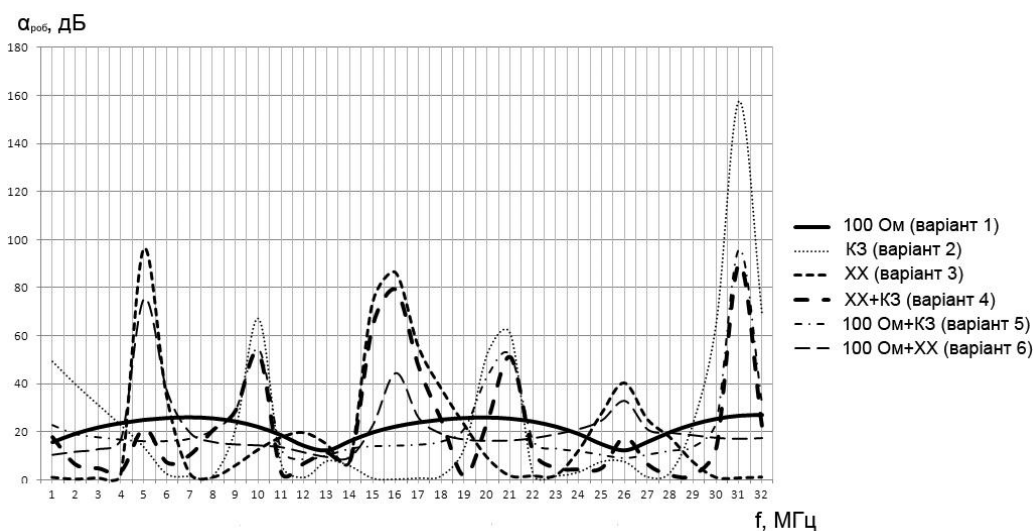


Рисунок 4 – Залежність робочого загасання фрагмента розподільної будинкової електропроводки, наведеного на рис. 3, від частоти та від типу навантаження на відгалуженнях

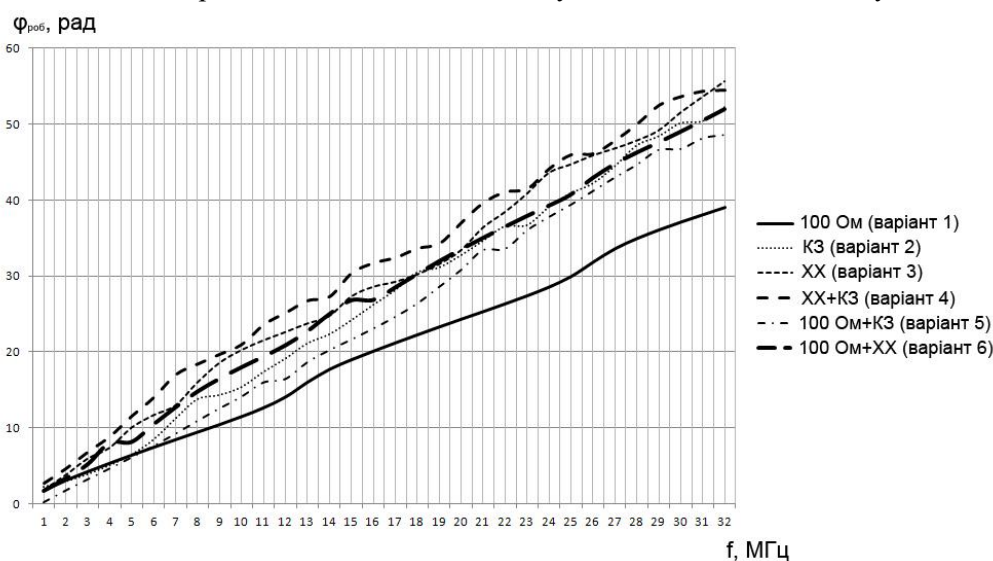


Рисунок 5 – Залежність фази робочої постійної передавання фрагмента розподільної будинкової електропроводки, наведеного на рис. 3, від частоти та від типу навантаження на відгалуженнях

Аналіз результатів розрахунку робочого загасання і робочої фази РБЕ (рис. 3) у діапазоні частот від 1 до 32 МГц показав:

- частотна характеристика загасання носить нерівномірний характер;
- відгалуження призводять до збільшення загасання між вхідним і вихідним полюсами;
- характер поведінки робочого загасання і фази робочої постійної передавання між вхідним і вихідним полюсами суттєво змінюється у разі підключення до полюсів неузгоджених навантажень (коротке замикання (КЗ) і холостий хід (ХХ));
- одне відгалуження, навантажене на узгоджений опір, збільшує загасання РБЕ приблизно на 3 дБ;
- робоче загасання і фаза робочої постійної передавання залежать від конфігурації електропроводки, електричних параметрів відрізків проводів, довжин відрізків проводів, опору навантажень по кінцях відгалужень;
- зміна у часі величин опорів навантажень, які підключені до відгалужень, призводить до появи нестационарних властивостей параметрів передавання РБЕ.

На завершення підсумуємо, що у даній статті наведено спосіб визначення параметрів передавання між двома довільними полюсами РБЕ. З використанням цього способу проведені розрахунки робочого загасання і фази робочої постійної передавання однієї конфігурації РБЕ. Отримані результати можуть бути використані для визначення швидкості цифрових сигналів у VPL-системах.

Література

1. *Моррисі Питер*. Реализация технологии VPL / Питер Моррисі // Сети и системы связи. – 2007. – № 11.
2. *Лашко А.Г.* Определение параметров передачи разветвленной домовой электропроводки / А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий, С.А. Заблоцкий // Зв'язок. – 2013. – № 2. – С. 9 – 12.
3. *Никольский В.В.* Декомпозиционный подход к задачам электродинамики / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, 1983. – 304 с.
4. *Зелях Э.В.* Двухполюсники и четырехполюсники: учеб. пособ. / Зелях Э.В. – Одесса: Изд. ОЭИС им. А.С. Попова, 1976. – 128 с.
5. *Фуско В.* СВЧ цепи. Анализ и автоматизированное проектирование; пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 228 с.: ил.
6. *Фельдштейн А.Л.* Синтез четырехполюсников и восьмиполюсников на СВЧ / А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич. – М.: Связь, 1971. – 388 с.
7. *Лашко А.Г.* Высокочастотные параметры передачи двухжильных проводов, применяемых в технологии VPL / А.Г. Лашко, Л.М. Ляховецкий, С.А. Заблоцкий // Зв'язок. – 2013. – № 1. – С. 27 – 31.