

# МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПО ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ В РАДІОДІАПАЗОНІ

Березянський Б.М., Маслюк А.В.

Науковий керівник: д-р техн. наук, проф. Яненко О.П.

Національний технічний університет України «КПІ», Україна

E-mail: bereziansky@gmail.com

**Анотація** — Модель частотної характеристики каналу передачі по лініях електропередач на основі теорії багатошляхового розповсюдження сигналів.

## 1. Вступ

Технологія PLC (Power Line Communication) — інноваційна телекомунікаційна технологія, заснована на використанні силових електромереж для інформаційного обміну. Для створення закінченої системи зв'язку PLC, необхідно створити модель каналів, а також модель шуму і моделі передавача та приймача. Таким чином, будуть визначені кращі параметри передачі даних у зазначених системах, що необхідно для створення моделі каналу.

## 2. Основна частина

Розглянемо лінію, що має лише одну гілку і складається з сегментів довжиною  $l_1$  і  $l_2$  з хвильовими опорами  $Z_{L1}$  та  $Z_{L2}$ , в точці з'єднання яких є відгалуження довжиною  $l_3$  з хвильовим опором  $Z_{L3}$  відповідно. Для неї час затримки шляху  $\tau_i$  можна розрахувати знаючи діелектричну проникність ізоляції  $\epsilon$ , швидкість світла  $c_0$  та довжини шляхів розповсюдження сигналів  $d_i$  за відомою формулою

$$\tau_i = \frac{d_i \sqrt{\epsilon}}{c_0} = \frac{d_i}{v_r} \quad (1)$$

Втрати в кабелях спричиняють загасання  $A(f, d)$ , що збільшується зі зростанням довжини й частоти. Складові сигналу окремих шляхів комбінуються суперпозицією. Формула багатошляхового ( $N$ ) розповсюдження сигналів по радіоканалу має вигляд [1]

$$H(f) = \sum_{i=1}^N g_i \cdot A(f, d_i) \cdot e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (2)$$

Частотна характеристика узгодженої лінії передачі довжиною  $l$  може бути виражена через комплексний коефіцієнт поширення хвиль

$$\gamma = \sqrt{(R' + j\omega L')(G' + j\omega C')} = \alpha + j\beta, \quad (3)$$

що залежить від параметрів кабелю  $R'$ ,  $L'$ ,  $G'$  і  $C'$ , та напруги  $U(x)$ . Тоді з урахуванням (3) отримуємо

$$H(f) = \frac{U(x=l)}{U(x=0)} = e^{-\gamma l} = e^{-\alpha(f)l} \cdot e^{-j\beta(f)l} \quad (4)$$

Параметри кабелю  $C'$  та  $L'$  можна приблизно оцінити за геометричними розмірами та деякими характеристиками матеріалу. Комплексний коефіцієнт поширення хвиль може бути виражений спрощеним виразом

$$\gamma = k_1 \sqrt{f} + k_2 f + jk_3 f, \quad (5)$$

в якому константи  $k_1$ ,  $k_2$  та  $k_3$  узагальнюють геометричні параметри кабелю і характеристики матеріалу. Базуючись на даних викладках апроксимуюча формула коефіцієнту загасання  $\alpha$  може бути виражена у вигляді [2]

$$\alpha(f) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot f^k, \quad (6)$$

що дозволяє оцінити загасання типових силових ліній лише трьома параметрами, що легко визначаються з

вимірних передаточних характеристик. З (2) та (6) загасання в кабелі можна записати як

$$A(f, d) = e^{-\alpha(f) \cdot d} = e^{-(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot f^k) \cdot d} \quad (7)$$

Поеднання вищевказаної залежності загасання в каналі від частоти та довжини (7) з рівнянням багатошляхового розповсюдження (2) приводить до:

$$H(f) = \sum_{i=1}^N |g_i(f)| e^{\phi_{g_i}(f)} e^{-(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot f^k) d_i} e^{-j2\pi f \tau_i} \quad (8)$$

Рівняння (8) описує розповсюдження сигналу вздовж шляху складовими фазовою затримкою та низькочастотною характеристикою, наприклад загасання, що збільшується з частотою та довжиною шляху. Багатократні вимірювання показали, що є можливість в подальшому спростити вираз вагових коефіцієнтів до комплексних, але частотонезалежних. Тому, використовуючи (1), можна записати кінцевий вираз частотної характеристики каналу як:

$$H(f) = \sum g_i \cdot e^{-(\alpha_0 + \alpha_1 \cdot f^k) d_i} e^{-j2\pi f \left( \frac{d_i}{v_r} \right)}, \quad (9)$$

де  $i$  — номер шляху, в порядку збільшення часу затримки,  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  — параметри загасання,  $k$  — ступінь коефіцієнту загасання,  $g_i$  — ваговий коефіцієнт шляху  $i$ , в загальному випадку комплексний, може розглядатися як комбінація коефіцієнтів відбиття та передачі,  $d_i$  — довжина шляху  $i$ ,  $t_i$  — затримка шляху  $i$ .

## 3. Висновки

Рівняння (9) представляє параметричну модель, що описує комплексну частотну характеристику типового каналу зв'язку по мережі електроживлення. Модель покриває усі істотні ефекти передаточних характеристик в діапазоні частот від 500 кГц до 20 МГц малою кількістю параметрів, що можуть бути визначені з вимірних частотних характеристик. Більш того, число шляхів  $N$  дозволяє контролювати точність моделі, що є особливо важливим при визначенні опорних каналів для аналізу продуктивності систем зв'язку.

## 4. Список літератури

- [1] Склар Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Склар. — К.: Вильямс, 2003. — 1104 с.
- [2] Zimmermann M. A multi-path signal propagation model for the power line channel in the high frequency range / M. Zimmermann, K. Dostert. // Proc. 3rd Int. Symp. Powerline Communications and its Applications. — Lancaster, 1999. — P. 45 — 51.

## PLC CHANNEL MODELING IN A RADIOFREQUENCY BAND

Bereziyanskyj B.M., Maslyuk A.V.

Scientific adviser: Yanenko O.P.

National Technical University of Ukraine  
"Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

**Abstract** — Model of PLC channel frequency response using a multi-path signal propagation theory is considered.