

## ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ ФАЗОВОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ ДО ПОШКОДЖЕНЬ В ПРОВІДНИКОВИХ ЛІНІЯХ

*Застосування фазових методів вимірювання відстаней є точним методом. Але застосування його в провідникових лініях має певні обмеження. Наявність невизначеного за параметрами пошкодження або зміни параметрів лінії призводить до появи додаткового кута зсуву фази. Застосування фазочастотного підходу до аналізу сигналів відбиття дозволяє зменшити вплив цих факторів на точність визначення відстаней.*

*Ключові слова: пошкодження, додатковий кут зсуву.*

K.L. HORIASHCHENKO

Khmelnytsky national university, Ukraine

### USING COMPLEXITY OF PHASE METHOD FOR DETERMINING DISTANCES TO THE DAMAGES IN WIRING LINES

*Phase distance measurement technique is an accurate method. But its use in wiring lines has certain limitations: dependence of the signal velocity from signal frequency, the presence of two or more damages in line at once, multiply reflections from damages. As a result of damages changes of parameters occurs. Also unknown parameters of line's load can be. This leads to an additional phase shift angle. The use of phase-frequency theory for signal analysis can reduce the reflection of the impact of these factors on the accuracy of the distance.*

*Keywords: damage, additional angle.*

#### Вступ

Застосування фазового методу для визначення стану провідникових ліній є зручним інструментом для аналізу стану лінії. Простота аналізу отриманих даних шляхом вимірювання кута зсуву відбитого сигналу широко застосовується в задачах радіонавігації, в задачах вимірювання відстаней до будь-якого об'єкту. В роботах [1, 2] показано застосування фазових вимірювань, а у [3] – принципи побудови ноніусних фазометричних вимірювачів. Проте слід звернути увагу на той факт, що типове застосування фазового методу вимірювання відстаней до пошкоджень ґрунтується на ряді принципових позицій, а саме:

1) Існування повного відбиття сигналу від об'єкту або пошкодження. Проте повне відбиття є лише одним з випадків проходження сигналу. Зазвичай поняття "повного відбиття" може бути застосовано лише за умов існування короткого замикання або обриву стосовно провідникового середовища розповсюдження електричного сигналу [8]. На практиці, провідникова лінія може містити пошкодження [10], а тому сигнал може проходити через таке пошкодження з частковим поверненням енергії.

2) Кут відбиття сигналу від пошкодження є  $180^\circ$  (або  $\pi$  радіан), а знак кута відбиття "+" або "-" визначається тільки типом об'єкту та відповідним знаком коефіцієнту відбиття  $\Gamma$  [12]. Як було розглянуто у роботах [12, 13] коефіцієнт відбиття не завжди є тільки "+1" (обрив) або "-1" (коротке замикання). Таке значення коефіцієнта відбиття є лише крайнім випадком. На практиці, коефіцієнт відбиття в межах від -1 до +1 для так званих "часткових пошкоджень". Зміни внутрішнього стану кабелю (осердя або оболонки), як це показано у [8], значно частіше призводять до часткових пошкоджень і лише з часом ведуть до повного руйнування.

3) Сталість швидкості розповсюдження сигналу в діапазоні робочих частот проведення вимірювання. Швидкість розповсюдження визначається як  $v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ . Для високих частот, швидкість розповсюдження може бути прийнята як достатньо стала величина, проте в роботі [8] показано, що величини  $L$  та  $C$  є частото залежними, а отже і швидкість  $v$  є також залежною від частоти сигналу.

Наявність таких умов призводить до проблеми застосування фазових методів в оцінюванні та вимірюванні відстаней до пошкодження, особливо якщо таких пошкоджень є два або більше.

#### Постановка задачі дослідження

Відомий фазовий метод визначення відстаней у провідникових лініях ґрунтується на визначенні відстані до пошкодження  $l$  шляхом визначення кута зсуву фази  $\varphi$  при відомій частоті  $f_s$  зондуючого сигналу. В відомому виразі:

$$\varphi = \frac{2\pi \cdot 2l}{v_{\text{wave}}} \cdot f_s = 2\pi \frac{2l}{\lambda_{\text{wave}}} \quad (1)$$

швидкість розповсюдження електромагнітної хвилі  $v_{\text{wave}}$  приймається постійною в робочому діапазоні  $f_{s \min} \dots f_{s \max}$ . Особливістю даного виразу є те, що приймається повне відбиття сигналу від поверхні відбиття. Тобто, сигнал відбиття не змінює свою фазу після відбиття.

#### Постановка питання

Наявність пошкодження в лінії призводить до відбиття енергії падаючого сигналу та утворенні

відбиття [10]. Але, як відомо, пошкодженням у провідниковій лінії може виступати не тільки коротке замикання та обрив. Також, у якості пошкодження може бути і часткове пошкодження провідникової лінії, в наслідок чого виникає зміна хвильового опору на певній ділянці лінії.

На рис. 1 показана відома еквівалентна схема проходження хвилі в провідниковій лінії з хвильовим опором  $Z_0$  та опором навантаження  $Z_n$ .

Для випадку повністю або частково омичного навантаження на виході лінії, амплітуда відбиття завжди є не більшою за амплітуду падаючого сигналу. Зменшення амплітуду відбиття обумовлено частковим поглинанням на омичному опорі енергії.

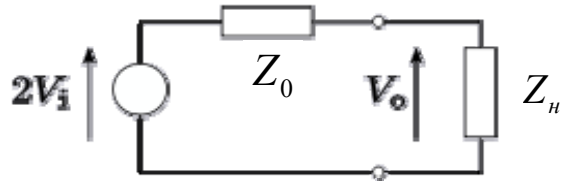


Рис. 1. Еквівалентна лінія проходження падаючої хвилі в лінії передачі на виході із включенням вихідного навантаження  $Z_n$  [4]  
Напруга на виході лінії передачі  $V_0$  визначається з відповідного рівняння за рис. 1, шляхом заміни виходу лінії на відповідний еквівалентний генератор [6]:

$$V_0 = 2V_i \frac{Z_n}{Z_0 + Z_n} \quad (2)$$

З виразу зрозуміло, що відбиття буде визначатись з рівності  $V_i + V_r = V_o$ , а тому отримаємо рівняння виду:

$$V_r = V_o - V_i = V_0 = 2V_i \frac{Z_n}{Z_0 + Z_n} - V_i = V_i \frac{Z_n - Z_0}{Z_0 + Z_n}, \quad (3)$$

звідки відомий вираз коефіцієнту відбиття

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_{i_o}} = \frac{Z_n - Z_0}{Z_0 + Z_n}. \quad (4)$$

Опір навантаження визначається як  $Z_n = R + jX_n$ . Якщо прийняти, що опори  $Z_0$  та  $Z_n$  є тільки омичними, то і коефіцієнт відбиття також буде складатись з реальної частини без уявної ( $Z_n = R$ ). Іншим крайнім випадком буде ситуація роботи лінії з тільки реальною складовою опору лінії ( $Z_0 = R_0$ ) з тільки уявною складовою опору навантаження [5]:

$$Z_n = jX_n = j(X_L + X_C) = j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right). \quad (4)$$

В такому випадку буде мати місце

$$\Gamma = \frac{jX_n - R_0}{jX_n + R_0}. \quad (5)$$

Враховуючи, що  $|jX_n - R_0| = |jX_n + R_0|$ , то коефіцієнт відбиття буде  $|\Gamma| = 1$ . Енергія сигналу, що попадає на навантаження відбивається повністю. Якщо ж буде присутня складова із уявною частиною опору, то і загальний коефіцієнт відбиття буде складатись з уявної та реальної частин.

В свою чергу, це буде вказувати на те, що коефіцієнт відбиття буде не тільки давати інформацію щодо амплітуди відбитого сигналу, а також і давати інформацію щодо зсуву фаз між зондуємим сигналом та відбиттям [7]. В такому випадку можна констатувати, що зсув фази буде не тільки +180 або -180 як для випадків обриву або короткого замикання. За наявності реактивної складової можливим стає довільне значення кута зсуву фази. Виникає зміна кута сигналу відбиття  $\theta$ . З виразу (5) та (6) слідує, що додаткова зміна кута сигналу відбиття буде визначатись як:

$$\theta_n = \begin{cases} \pi - 2 \arctan \frac{X_n}{R_0}, & \text{при } X_n > 0; \\ -\pi - 2 \arctan \frac{X_n}{R_0}, & \text{при } X_n < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Таким чином, визначення відстані згідно виразу (1) стає ускладненим. В загальному, відстань можна визначити як:

$$l = \frac{(\varphi + \theta_n) \cdot \lambda}{2 \cdot 2\pi}. \quad (7)$$

На рис. 2. показано зміна кута сигналу відбиття при зміні  $X_L$  від -250 до +250 Ом згідно виразу (4). Як видно з рисунку, при  $X_L = R_0$ , додатковий зсув фази  $\theta_n = \pi/2$  радіан. А за виразом (7) це буде еквівалентно додатковій відстані до місця пошкодження:

$$\Delta l = \frac{\pi}{2} \cdot \lambda \cdot \frac{1}{2 \cdot 2\pi} = \frac{\lambda}{8}. \quad (7)$$

Отже з рисунку 2 можна зробити висновок про те, що при невідомому характері навантаження

визначення відстані навіть до одного пошкодження є апіорі неможливим при застосуванні класичного фазового методу вимірювання відстаней.

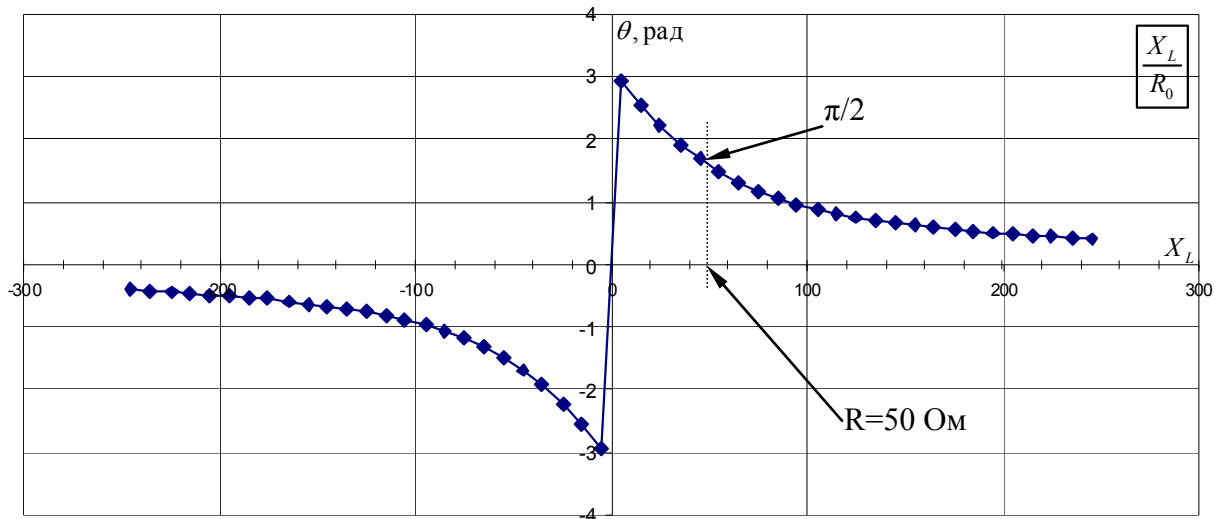


Рис. 2. Зміна кута сигналу відбиття  $\theta$  при зміні відношення  $X_L/R_0$ .  $R_0=50 \text{ Ом}$ .

Інша ситуація що має місце – це зміна опору лінії. В роботі [10] показано різні моделі пошкоджень. Встановлено, що окрім простого варіанту – точкового пошкодження, в лінії може виникнути і розподілені пошкодження. Розподілені пошкодження призводять до зміни опору лінії на ненульовій ділянці лінії. В свою чергу, при відомому значення опору навантаження  $X_n$  та не відомому опорі лінії  $R_0$  також виникає додатковий кут зсув фази  $\theta$ . Причому, чим менша реактивна складова опору навантаження  $X_n$ , тим швидше додатковий кут зсув фази  $\theta$  прямує до  $\pi$  радіан.

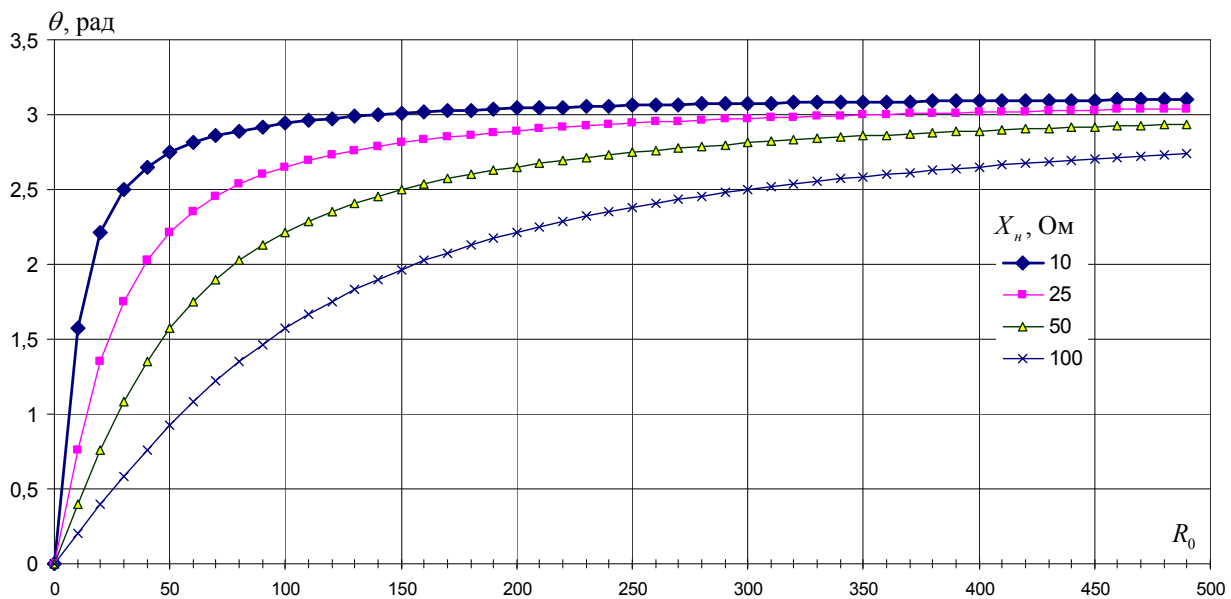


Рис. 3. Зміна кута сигналу відбиття  $\theta$  при зміні відношення  $X_L/R_0$ .  $X_n=10, 25, 50$  та  $100 \text{ Ом}$ .

### Висновки

Фазові методи вимірювання залишаються достатньо точним інструментом для визначення відстаней до об'єктів як в просторі, так і до пошкоджень в лінії. Фазові методи вимірювання в класичному представленні за наявності обмежуючих факторів як: наявності декількох пошкоджень в лінії; залежність кута відбиття не тільки від відстані, а також і від співвідношення опорів лінії та опору навантаження; залежність швидкості розповсюдження від частоти сигналу (частотна дисперсія) призводять до принципового спотворення отриманого результату вимірювання.

Для усунення визначених складнощів потрібно використовувати інформацію щодо відстані до об'єкту виходячи з розуміння саме фазочастотного принципу перетворення приросту кута зсуву фази від частоти зонduючого сигналу, що запропоновано у роботі [13] із застосуванням принципів спектрального аналізу [14, 15].

## Література

1. Чмых М.К. Цифровая фазометрия / М.К. Чмых. – М.: Радио и Связь, 1993. – 184 с.
2. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории) / В.Б. Пестряков. – М.: Советское радио, 1968. – 468 с.
3. Богородицкий А.А. Нониусные аналого-цифровые преобразователи / А.А. Богородицкий, А.Г. Рыжевский. – Библиотека по автоматике, выпуск 533. – М.: Энергия, 1975. – 120 с.
4. Reflections of signals on conducting lines. [електронний ресурс] [http://en.wikipedia.org/wiki/Reflections\\_of\\_signals\\_on\\_conducting\\_lines](http://en.wikipedia.org/wiki/Reflections_of_signals_on_conducting_lines)
5. Electrical reactance [електронний ресурс] [http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_reactance](http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_reactance)
6. Matthaei, G.; Young, L.; Jones, E. M. T., Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures McGraw-Hill 1964.
7. Connor, F.R., Wave Transmission. Edward Arnold Ltd. London, 1972. ISBN 0-7131-3278-7.
8. Горященко К.Л. Класичні моделі провідникових ліній передач / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №3. – С. 98-101
9. Горященко К.Л. Діагностика технічного стану провідникових кабельних ліній / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №2. – С. 61-64.
10. Горященко К.Л. Пошкодження провідникових ліній та їх моделі / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №5. – С. 185-188
11. Горященко К.Л. Імпульсно-фазові вимірювання для лінії із двома неоднорідностями / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький. – 2003. – № 1. – С. 80-82.
12. Горященко К.Л. Дослідження перевідбиттів гармонійних сигналів у провідникових лініях зв'язку для випадку двох пошкоджень / К.Л. Горященко, О.І. Полікарівських, В.Є. Гавронський // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – №2. – С. 138-140
13. Горященко К.Л. Обертання часових складових сумарного сигналу в фазовій дальнометрії / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 1. – С. 144-147.
14. Горященко К.Л. Аналіз спектральних складових сумарного сигналу для багатошкального фазового методу аналізу стану лінії зв'язку. Повідомлення 1 / К.Л. Горященко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 6, Т. 1. – С. 115-120.
15. Горященко К.Л. Аналіз спектральних складових сумарного сигналу для багатошкального фазового методу аналізу стану лінії зв'язку. Повідомлення 2 / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – №4. – С. 58-62.

## References

1. Chmyh M.K. Cifrovaja fazometrija. M.: Radio i Svjaz', 1993. 184 p.
2. Pestriakov V.B. Fazovye radiotekhnicheskie sistemy (osnovy statisticheskoy teorii). M.: Sovetskoe radio, 1968. 468 p.
3. Bogorodickij A.A., Ryzhevskij A.G. Noniusnye analogo-cifrovye preobrazovateli. Biblioteka po avtomatike, vypusk 533. M.: Jenergiya, 1975. 120 p.
4. Reflections of signals on conducting lines. [http://en.wikipedia.org/wiki/Reflections\\_of\\_signals\\_on\\_conducting\\_lines](http://en.wikipedia.org/wiki/Reflections_of_signals_on_conducting_lines)
5. Electrical reactance. [http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical\\_reactance](http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_reactance)
6. Matthaei, G.; Young, L.; Jones, E. M. T., Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures McGraw-Hill 1964.
7. Connor, F.R., Wave Transmission. Edward Arnold Ltd. London, 1972. ISBN 0-7131-3278-7.
8. Horiashchenko K.L. Klashchni modeli providnykovykh liniy peredach. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. 2014. Issue 3. P. 98-101
9. Horiashchenko K.L. Diahnostyka tekhnichnoho stanu providnykovykh kabelnykh liniy. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2012. Issue 2. P. 61-64.
10. Horiashchenko K.L. Poshkodzhennia providnykovykh liniy ta yikh modeli. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. 2014. Issue 5. P. 185-188
11. Horiashchenko K.L. Impulsno-fazovi vymiriuvannia dlia liniy iz dvoma neodnorodnostiamy. Vymiriuvalna Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2003. Issue 1. P. 80-82.
12. Horiashchenko K.L., Polikarovskiyh O.I., Havronskiy V.Ye. Doslidzhennia perevidbyttiv harmoniinykh syhnaliv u providnykovykh liniakh zviazku dlia vypadku dvokh poshkodzhenn. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. 2008. Issue 2. P. 138-140
13. Horiashchenko K.L. Obertannia chasovykh skladovykh sumarnoho syhnalu v fazovii dalnometrii. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. 2007. Issue 1. P. 144-147.
14. Horiashchenko K.L. Analiz spektralnykh skladovykh sumarnoho syhnalu dlia bahatoshkalnoho fazovoho metodu analizu stanu liniy zviazku. Povidomlennia 1. Khmelnytskyi. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Technical sciences. 2007. Issue 6, Part 1. P. 115-120.
15. Horiashchenko K.L. Analiz spektralnykh skladovykh sumarnoho syhnalu dlia bahatoshkalnoho fazovoho metodu analizu stanu liniy zviazku. Povidomlennia 2. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2013. Issue 4. P. 58-62.

Рецензія/Peer review : 5.1.2015 р. Надрукована/Printed : 25.1.2015 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.