

О.С. ПИВОВАР, Я.В. ВЕРЖБИЦЬКИЙ  
Хмельницький національний університет

## МЕТОД НЕЛІНІЙНОЇ РЕАКЦІЇ У СЕГМЕНТОВАНИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЯХ ДІАГНОСТИЧНИХ ТА ОХОРОННИХ СИСТЕМ

*Розглянута можливість застосування нелінійних елементів для контролю ушкоджень сегментованих слабострумових кабельних ліній в охоронних системах. Запропоновано метод нелінійної реакції на основі використання стабілітронів встановлених між сегментами контрольованої лінії передачі та вимірювання напруги на вході лінії.*

*Ключові слова: кабельна система, лінія передачі, нелінійний елемент, стабілітрон, вольтметр.*

OLEG SERGHIJOVYCH PYVOVAR, JAROSLAV VIKTOROVYCH VERZHBYCJKYJ  
Khmelnitskyi National University

## NONLINEAR REACTION METHOD IN SEGMENTED CABLE LINES OF DIAGNOSTIC AND SECURITY SYSTEMS

*The use of cable systems is not limited to application within the fields of energy and telecommunications. Wired transmission lines are successfully used in various fields: fire alarm systems, security systems aimed to safeguard objects against unauthorized access, military systems, technological systems, etc. In 80% of cases, the cause of unstable operation or emergency situations of transmission of signals is damage to the cable network. In the context of a global terrorist threat and local military action, the development of new methods of automated technical protection of objects against unauthorized access remains an urgent task. Line control systems can also be used as alarm systems. To lower the cost of the system, the line itself often serves as both a sensor and as an environment for delivering secured information. It is expedient to use the wired perimeter security systems to protect especially important objects by installing the systems in front of the main fence to prevent possible unauthorized entry into the site. Requirements for methods of localization of damage within a cable systems have been developed for application in such systems. According to the requirements, the classification of methods for automatic measurement of damage distances in low-voltage homogeneous transmission lines and promising methods for application in security systems according to criteria of minimization of hardware costs and costs are specified. The method of nonlinear reaction is developed, consisting in measuring the voltage at the inlet of a segmented cable line, which is powered by a direct current with nonlinear elements with a voltage-type characteristic of the limiter installed at the segment junctions. The structural scheme and diagram of the control system for breakage and short circuit breakdowns based on the use of stabilizers as nonlinear elements have been developed. The advantages and disadvantages of using the method of nonlinear reaction in perimeter security systems are indicated, the possibility of simple implementation of the method and variants of its improvement are indicated.*

*Key words: cable system, transmission line, nonlinear element, Zener diode, voltmeter.*

### Постановка проблеми

Без використання кабельних мереж неможливо уявити собі існування сучасної цивілізації. Базовим елементом будь-якої кабельної телекомунікаційної мережі є середовище поширення сигналів. У 80 % випадків причиною нестабільної роботи або аварійних ситуацій передачі сигналів є проблеми, що виникають у кабельній системі (КС). Сучасна КС має забезпечувати роботу будь-яких типів телекомунікаційних й інформаційних систем і мереж протягом десятків років. Використання КС не обмежується тільки застосуванням у галузі енергетики та телекомунікацій, кабельні системи із успіхом застосовуються в охоронних та сенсорних системах, системах контролю та керування, технологічних та телеметричних системах тощо [1].

Лінії передачі КС можуть виконувати декілька додаткових функцій щодо основного призначення. Наприклад, в охоронних системах кабель може бути використано як сповіщувач і середовище передачі телеметричних повідомлень та сигналів керування. Найчастіше КС використовують в системах охорони периметрів. Системи охоронної сигналізації периметрів доцільно використовувати для охорони особливо важливих об'єктів шляхом встановлення їх перед основною огорожею для попередження можливого несанкціонованого територію об'єкту. В умовах глобальної терористичної загрози та локальних військових дій розробка нових методів та способів автоматизованого технічного захисту об'єктів від несанкціонованого доступу є і залишається актуальним завданням.

**Метою статті** розробка та оптимізація методу нелінійної реакції для застосування в системі контролю критичних ушкоджень сегментованих кабельних ліній та охоронних систем мінімізованої вартості та простоти.

### Аналіз останніх джерел

Системи контролю лінії та стану оточуючого середовища можуть використовуватись як комплексна система сигналізації [1]. Сама лінія для забезпечення низької вартості часто виступає і в якості сенсора, і в якості середовища доставки охоронної інформації. На даний час розроблена велика кількість типів сповіщувачів: радіопроменеві та радіохвильові, вібраційні та віброрейсмічні, індуктивні та ємнісні, оптичні та оптико-електронні тощо. Тактика оснащення об'єктів системами охоронної кабельної сигналізації периметрів часто застосовується для охорони важливих об'єктів як приватної так і державної власності. Вибір конкретних типів периметральних систем та методів охоронної сигналізації проводиться залежно від наявності механічного огороження, смуги відчуження та її ширини, довжини периметра охорони, рельєфу місцевості тощо [2]. Система сигналізації ушкодження апаратури охорони має передбачати індикаторну систему виявлення місця несанкціонованого пошкодження зі світловою та звуковою індикацією точки

однозначного впливу [2].

Найбільш простими, дешевими та історично першими системами охорони на основі КС є проводово-обривчасті системи. Хоча проводово-обривчасті системи охорони мають слабку захищеність від саботажу і як правило є системами одноразової дії, за умов певного вдосконалення методів використання можуть посісти гідне місце в охоронних структурах, особливо під час застосування у комплексі з іншими типами охоронних засобів, в першу чергу радіоохорони.

Під час застосування КС як базового елементу охоронної системи, в першу чергу, постає завдання локалізації місця ушкодження, що напряму пов'язано із вимірюванням дальності. Як відомо, для визначення дальності до ушкодження може використовуватись група енергетичних і неенергетичних методів. Найчастіше під час вимірювання відстані, в тому числі відстані до пошкодження, використовують неенергетичні методи: імпульсний, частотний та фазовий. Для покращення тактичних характеристик можливі також і комбінації цих методів, а також введення надлишкових вимірювань [3]. Найчастіше робота апаратури вимірювання відстані автоматизована або навіть автоматична, а розвиток нейронних мереж обробки сигналів та штучного інтелекту дозволяє застосувати системи прийняття рішень про подальші дії під час аварійної ситуації.

Системні принципи, що покладено в основу даної розробки використовуються тільки для слабкострумних телекомунікаційних та інформаційних однорідних ліній передачі, тому в представленій надалі класифікації не розглядається велика група методів на основі потужних зондуючих сигналів, що викликають, наприклад, іскрові розряди у лінії. Використання неоднорідних ліній, наприклад, лінія типу однопровідний дріт – поверхня, через непередбачуваність умов у ґрунті обумовлює надто великий обсяг робіт з виявлення усіх градієнтів однорідності та їх кореляції з погодними умовами [18]. Найчастіше пристрої, що працюють в таких умовах, проводять вимірювання із наступним контролем, або використовують тільки методи контролю зі специфікою для поставлених завдань.

#### **Виклад основного матеріалу**

Перед розробкою методу визначення відстані до ушкодження в лінії передачі зазначимо основні вимоги та обмеження, якими користуватимемося в подальшому:

1. Слід дотримуватись максимальної простоти та мінімальної вартості охоронної апаратури для забезпечення коротких строків впровадження.

2. Лінія передачі являє собою тонкий двопровідний симетричний кабель довжиною 1-2 км, що під час вимірювання не може бути відключений від джерел сигналів або енергопостачання. Одночасно із системою вимірювання слід забезпечити можливість передавання телеметричних сигналів, а також сигналів керування сповіщувачами або іншими виконавчими елементами.

3. Точність та розрізнявальна спроможність вимірювання має складати не більше 100 метрів.

4. Метод, що розробляється, має реагувати в найкращому випадку на безконтактну зміну параметрів лінії, а в найгіршому на розрив або коротке замикання лінії передачі. Підключення системи контролю або вимірювання має бути тільки із одного боку лінії передачі. Час реакції системи на ушкодження лінії має складати декілька секунд.

5. Енергоживлення всієї системи визначення відстані має бути автономним не менше доби.

Реалізація виконання вимог в рамках роботи вимагає аналізу існуючих методів та способів вирішення поставленого завдання, а також пропозиції з можливого їх удосконалення, враховуючи сучасний розвиток науки та техніки. Зважаючи на вказані вимоги та аналіз літературних джерел [2, 3], запропонована класифікація методів (рис. 1) автоматичного вимірювання дальності пошкоджень у слабкострумних однорідних лініях передачі та виділено перспективні методи для застосування.

Серед узагальнених класифікаційних ознак, зрозумілих із назви, можливо окремо зупинитись на лінійних та нелінійних методах [3]. В лінійних методах вимірювальна дальність лінійно залежить від вимірювального параметра, а у нелінійних ця залежність завдяки нелінійним елементам обробки може бути складною та більше того – неоднозначною. Найбільш структурно розгалуженими за класифікаційними ознаками є група рефлектометричних методів та група методів аналізаторів параметрів. Рефлектометричні методи спряжені із використанням потужних зондуючих сигналів та неможливістю експлуатації лінії після ушкодження, тому використовуються в охоронних проводових системах слабо. Найбільш перспективними для застосування в охоронних системах на основі КС є методи аналізу параметрів лінії передачі.

Група методів – аналізатори параметрів – розглядає лінію передачі із ушкодженнями як деяке електричне коло та визначає дальність до ушкодження за змінами параметрів цього кола [1,3]. Часто такі методи називають мостовими. Серед мостових методів найбільш часто використовується ємнісний та індуктивний методи, які спроможні визначити дальність до обриву/короткого замикання, за рахунок зменшеної довжини ділянки лінії. Метод петлі (рис. 1) застосовується в багатожильних кабельних лініях та відноситься до групи методів безпосереднього вимірювання, де в багатожильному кабелі дальність визначається за наперед відомим неушкодженим провідником. Загалом, група методів, що проводить аналіз параметрів забезпечує найбільшу точність вимірювання, але дуже часто пристрої, що реалізують цей метод за вартістю не менше вартості рефлектометрів, а за складністю навіть перевищують їх [3].

Метод вимірювання, який розробляється, назвемо методом нелінійної реакції, що відповідно запропонованій класифікації відноситься до віддалених, сегментованих, нелінійних, енергетичних методів, які працюють на постійному струмі (можливе також використання змінного струму). Основа схеми вимірювання у методі нелінійної реакції – точне вимірювання напруги та використання між сегментами лінії елементів із суттєво нелінійною вольт-амперною характеристикою (ВАХ). Найбільш простим і дешевим нелінійним елементом є застосування у схемі стабілітронів із різними значеннями напруги стабілізації.

Схема, що ілюструє роботу методу (рис. 2), складається із генератора струму величиною близько декілька міліампер (можливе уточнення), вольтметра (в загальному випадку схеми вимірювання напруги), індикатора та сповіщувача, наприклад, звукового або світлового індикатора. Інформаційні сигнали, що можуть бути подані через лінію передачі, використовують схему гальванічної розв'язки (конденсатор, трансформатор) як на приймальному, так і на передавальному боці лінії передачі для забезпечення суміщення із телекомунікаційними сигналами підключених до лінії додаткових сенсорів.

Метод нелінійної реакції передбачає розділення лінії на сегменти із заданим рівнем точності визначення дальності до ушкодження. На стиках сегментів встановлюються стабілітрони із різними напругами стабілізації  $V_0-V_N$ , де  $N$  – кількість сегментів. Під час розподілу стабілітронів по сегментах (рис.3) має виконуватись умова  $V_0 > V_1 > V_2 \dots > V_N$ . Значення мінімальної різниці напруги стабілізації між стабілітронами визначає максимальний рівень інформаційного сигналу, що може передаватись по лінії одночасно із функціонуванням схеми контролю в симплексному або дуплексному режимах.

Під час роботи схеми за методом нелінійної реакції, в лінію подається напруга, що відповідає заданому значенню постійного струму генератором струму. Значення струму має бути розташовано в межах декількох міліампер із позицій наступного врахування високого питомого опору лінії та вимог автономності. З урахуванням опору типових слабострумівих мідних двопровідних кабелів для утворення такого струму на відстанях до 2 км, значення напруги генератора струму складає до 100 В. Якщо поділити всю довжину лінії передачі на 40 сегментів по 50 м, то мінімальна різниця між напругами стабілізації стабілітронів буде не менше 2 В в ідеальному випадку. Якщо знехтувати падінням напруги на сегменті то отримаємо ідеальну залежність вхідної напруги від номеру сегменту, із характером ушкодження – розрив (рис. 3).

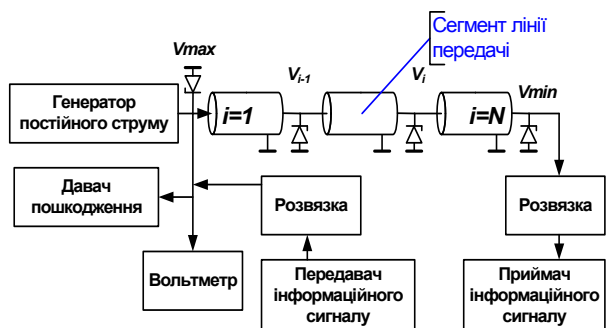


Рис. 2. Функціональна схема сегментного вимірювача дальності до пошкодження на основі стабілітронів

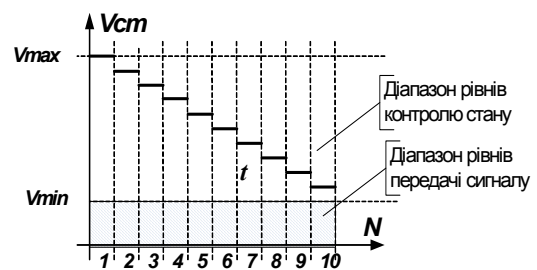


Рис. 3. Залежність напруги стабілізації від номера ділянки, що контролюється для ідеальних стабілітронів

Під час нормального режиму роботи (ушкодження відсутні) вольтметр (рис. 2) покаже деяке середнє значення напруги, що визначається падінням напруги на активному опорі сегменту. У випадку розриву деякого сегменту, значення напруги на вході лінії збільшується. Чим більше значення напруги на вході лінії, тим ближче розташований пошкоджений сегмент. У випадку короткого замикання значення напруги на вході лінії відносно нормального режиму зменшується. Чим менше напруга тим ближче сегмент із коротким замиканням до входу

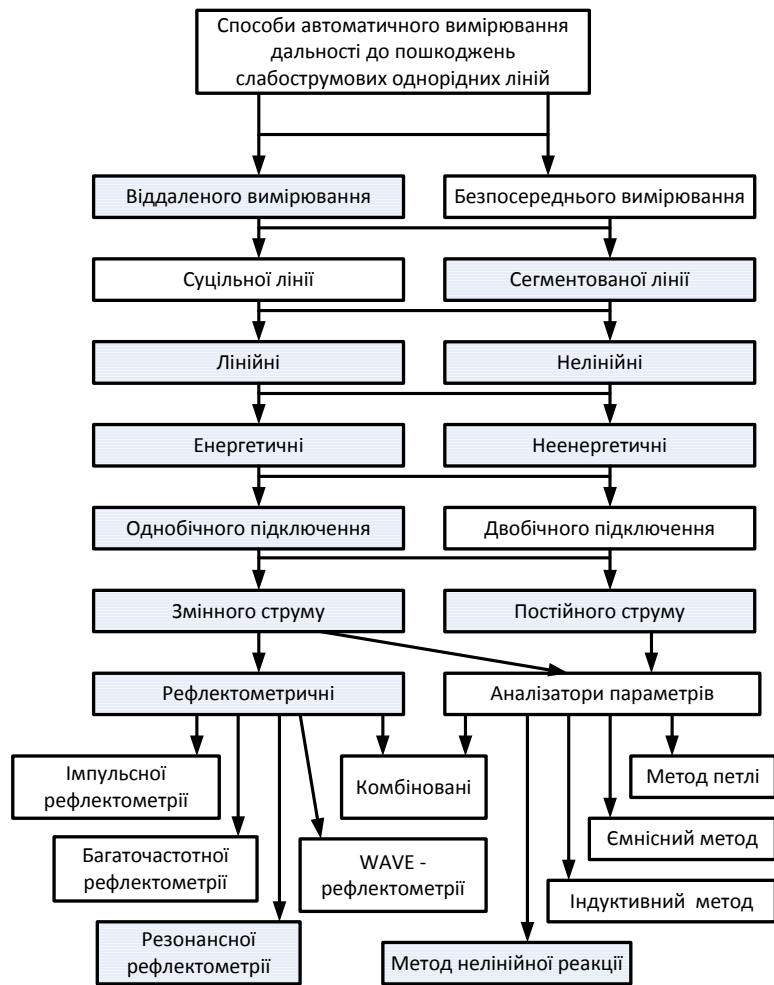


Рис. 1. Класифікація методів визначення дальності до пошкоджень у слабострумівих однорідних лініях передачі

лінії. Отже схема спроможна, за певних умов, фіксувати не тільки факт обриву певного сегменту, але і факт короткого замикання, реалізувавши функцію індуктивного та емнісного методів одночасно.

Переваги схеми контролю лінії на основі методу нелінійної реакції: простота та дешевизна, кількість структурних елементів мінімальна, усі складові – типові блоки; вимірювання на постійному струмі дозволяє забезпечити високу точність вимірювання; засіб вимірювання за запропонованим методом використовує мінімум енергії і можливе її живлення на основі автономних джерел (оцінка споживаної потужності – не більше декількох Вт); нелінійні елементи природно захищають лінію передачі та систему вимірювання від перенавантажень; схема вимірювання слабо чутлива до параметрів лінії передачі, що дозволяє використовувати її для досить широкого кола двопровідних, в тому числі диференційних ліній передачі.

Використання методу нелінійної реакції також пов'язано із проблемами та недоліками: ВАХ нелінійних елементів має мати різку ділянку обмеження; чутливість методу із зростанням відстані зменшується, тому різниця між рівнями стабілізації наприкінці лінії має бути більшою за різницю між рівнями стабілізації близько генератора; використання нелінійних елементів спряжене із високим рівнем шуму, що може сягати десятки мілівольт, але це набагато менше ніж прогнозована мінімальна різниця між рівнями стабілізації стабілітронів в одиниці вольт. Крім того, кожен стабілітрон генерує характерний тільки йому розподіл шумового процесу, що може бути використано для «тонких» вимірювань та подальшого вдосконалення приладу.

Метод нелінійної реакції припускає велику кількість подальших модифікацій та удосконалень: робота на змінній напрузі із низькою частотою перемикання; використання шумових характеристик стабілітронів; застосування комбінованих методів, наприклад, одночасно із застосуванням рефлектометричних принципів. Можливі також радикальні удосконалень через використання принципів обробки та використання хаотичних сигналів. У випадку використання стрілочних вольтметрів, шкала вольтметра може бути проградуєрована в одиницях довжини, що забезпечує зручність отримання кінцевих показників без застосування засобів автоматизації. Принцип вимірювання вимагає застосування стабілітронів із певним кроком напруг стабілізації, що може бути вирішено через використання аналогів стабілітронів на основі нескладних транзисторних схем, що можуть бути серійно реалізовані в інтегральному виконанні.

### Висновки

1. Проведено аналіз методів локалізації місця розташування пошкодження у лінії на основі теоретичних засад вимірювання відстаней. На основі аналізу методів локалізації розроблена класифікаційна схема методів вимірювання відстані до ушкоджень критичного характеру, в рамках схеми класифікації показано місце запропонованого методу нелінійної реакції.

2. Показана можливість використання методів контролю лінії для побудови охоронних систем. Обґрунтовано основні вимоги для розробки методу, що забезпечує мінімізацію апаратних та кошторисних витрат для контролю сегментованої лінії передачі із можливістю створення телекомунікаційного каналу одночасно із проведенням контролю. Об'єднання функцій лінії як сенсора, оповіщувача, енергетичного та телекомунікаційного (командно-телеметричного) каналу дозволяє забезпечити мінімізацію витрат на проектування, виготовлення та розгортання системи контролю лінії охоронних систем сигналізації несанкціонованого доступу.

3. На основі вимог розроблено метод нелінійної реакції, що використовує суттєво нелінійну ВАХ стабілітронів, включених між сегментами лінії передачі для визначення номеру ушкодженого сегменту на основі вимірювання напруги лише на вході лінії передачі. Виділено переваги та недоліки застосування методу нелінійної реакції в рамках використання в охоронних системах периметрів об'єктів та вказано на можливі способи удосконалення методу.

### Література

1. Груба И.И. Системы охранной сигнализации. Технические средства обнаружения / И.И. Груба. – М. : СОЛОН-ПРЕСС, 2012. – 220 с.
2. Елементи і пристрої фізичної та електронної охорони об'єктів : конспект лекцій / П. В. Мокренко ; Нац. ун-т «Львів. політехніка». – Л. : Фенікс, 2000. – 186 с.
3. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах святы / И.Г. Бакланов. – М. : Изд-во «Эко-Трендз», 1999. – 278 с.

### References

1. Gruba I.I. Sistemy ohrannoj signalizacii. Tehnicheskie sredstva obnaruzheniya / I.I. Gruba. – M. : SOLON-PRESS, 2012. – 220 s.
2. Elementy i prystroi fizychnoi ta elektronnoi okhorony ob'ektiv : konspekt lektsii / P. V. Mokrenko ; Nats. un-t «Lviv. politekhnika». – L. : Feniks, 2000. – 186 s.
3. Baklanov I.G. Metody izmerenij v sistemah svyati / I.G. Baklanov. – M. : Izd-vo «Eko-Trendz», 1999. – 278 s.

Рецензія/Peer review : 6.6.2019 р. Надрукована/Printed : 18.7.2019 р.  
Рецензент: к.т.н., доц. Горященко К.Л.