

from each other methods for measuring flow-rate and volume of gas excludes the impact on the results quality of the uncertainty methodical component registration and increases their reliability.

In process of the proposed measuring complex constructing searched for the optimal mutual location of complex's elements, from the registration accuracy point of view, for the receiving the minimum value of the gas volume and flow-rate registration results uncertainty.

Obtained information from two main measuring devices (ultrasonic and turbine types of measuring transducers) and, if necessary, a highly reliable alternating-pressure-differential transducer, with spatial configuration of flow narrowing in a Venturi pipe form, forms excessive information of the real measured value of the gas volume and flow-rate. This allows, together with the using of a high reliability tri-channel calculator, to increase the certainty of the measurement results, significantly extend the measurement range, with preservation the accuracy and reliability, and it creates the preconditions for interdefining the measuring devices, used in creating proposed complex.

**Keywords:** gas, measurement, flow-rate, accuracy, certainty, reliability.

*Надійшла до редакції  
16 листопада 2018 року*

*Рецензовано  
23 листопада 2018 року*

УДК 621.315

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ ДО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КАБЕЛЮ

<sup>1)</sup>Шевченко К. Л., <sup>1)</sup>Яненко О. П., <sup>1)</sup>Клочко Т. Р., <sup>2)</sup>Штефура Ю. В.

<sup>1)</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

<sup>2)</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, Україна

E-mail: [k.shevchenko@kpi.ua](mailto:k.shevchenko@kpi.ua)

*Проводові лінії зв'язку на сьогодні залишаються основним засобом передачі інформації та електричної енергії. При пошкодженні електричного кабелю основна проблема його швидкого відновлення полягає у знаходженні місця пошкодження. В статті наведені результати розробки імпульсного вимірювача відстані до місця пошкодження кабелю. Запропонований тритактний вимірювальний цикл, що дозволяє уникнути використання еталонних відрізків кабелів різного типу. Результат вимірювань не залежить від параметрів кола зворотного зв'язку імпульсного генератора. Цим забезпечується підвищення точності вимірювань.*

**Ключові слова:** електричний кабель, пошкодження, вимірювання відстані, підвищення точності.

### Вступ

Розвиток технічного оснащення виробничих об'єктів, офісних центрів та житлових приміщень потребує використання широкої гамми кабельних мереж, до яких можна віднести силові, інформаційні, сигнальні та ін. Вплив природних та технічних факторів іноді призводить до пошкодження кабельних мереж та їх елементів, що в свою чергу викликає порушення безперервних технологічних процесів, втрату інформації, пошкодження електричної апаратури, програмних продуктів та ін. Для відновлення нормального режиму роботи електричних апаратів, скорочення збитків та витрат необхідно швидко та точно знаходити місце пошкодження кабелю.

### Постановка завдання

Серед різноманіття існуючих методів визначення місця пошкодження електричних кабелів [1

- 4] найбільш перспективним вважається імпульсний [5].

Суть імпульсного методу полягає у включенні досліджуваного електричного кабелю в коло зворотного зв'язку імпульсного автогенератора [6], та визначенні частоти автогенерації імпульсів. Частота автогенерації при цьому однозначно визначається часовою затримкою електричного імпульсу, яка залежить від відстані до місця пошкодження кабелю (обрив або коротке замикання). Проте, цей метод не забезпечує високої точності вимірювань відстані до місця пошкодження, оскільки швидкість розповсюдження імпульсів досліджуванним кабелем залежить від його типу, стану та температури ізоляції [7, 8].

Зазначений недолік усувається використанням двочастотного методу [9]. При його застосуванні в автогенераторі збуджують імпульси двох частот – при підключенні досліджуваного кабелю і

зразкового відрізка кабелю відомої довжини, однотипного з досліджуваним. Довжина до місця пошкодження визначається за формулою, в яку входять два значення частоти і відома довжина зразкового відрізка кабелю. Використання двох частот автоколивань виключає вплив швидкості поширення імпульсів в кабелі на результати вимірювання відстані до місця пошкодження. Проте, коли флуктуаційна нестабільність автогенератора порівнянна з інформаційною різницею двох частот, виникає відносно велика похибка.

В роботі [10] запропонований спосіб вимірювання, при якому виключається швидкість поширення зондувальних і відбитих імпульсів у досліджуваному кабелі завдяки порівнянню двох частот автоколивань імпульсного генератора шляхом ділення більш високої частоти від відрізка кабелю відомої довжини. Однак на результат вимірювання істотно впливають часові затримки в колі зворотного зв'язку автогенератора, які необхідні для розподілу в часі зондувальних і відбитих імпульсів.

Метою даної роботи є підвищення точності визначення довжини кабелю до місця пошкодження незалежно від часових затримок у колах формування зондувальних і відбитих імпульсів.

#### Функціональна схема та алгоритм роботи вимірювача відстані

На рис. 1 наведена запропонована авторами функціональна схема вимірювача відстані до місця пошкодження електричного кабелю.

Процес вимірювань здійснюється наступним чином. З мікроконтролера 15 через логічну схему «АБО» 13 на вхід одновібратора 1 надходить імпульс, яким запускається одновібратор. Вихідний імпульс одновібратора тимчасово відключає підсилювач відеоімпульсів 10. Одночасно імпульс з виходу одновібратора 1 затримується в лінії затримки 2, підсилюється підсилювачем відеоімпульсів 3 і через узгоджувальний резистор 4 подається у досліджуваний кабель 5.

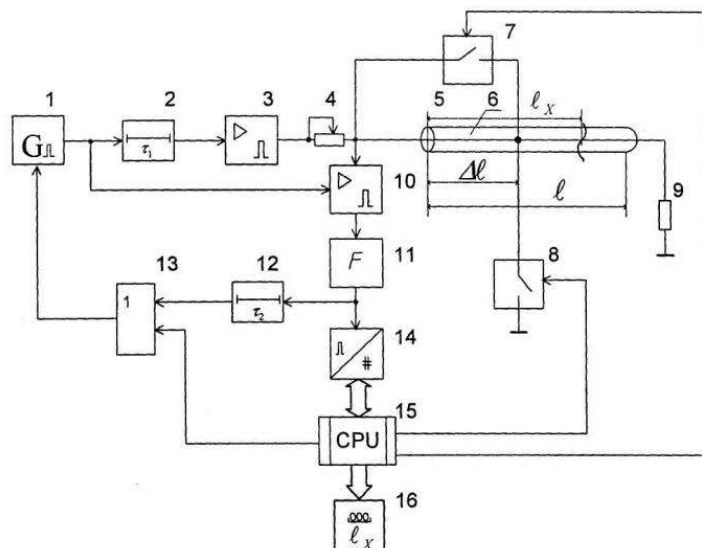


Рис. 1. Функціональна схема вимірювача відстані до місця пошкодження електричного кабелю, де: 1 – одновібратор; 2, 12 – лінії часової затримки; 3, 10 – підсилювачі відеоімпульсів; 4 – узгоджувальний резистор; 5 – досліджуваний електричний кабель; 6 – початкова ділянка кабелю відомої довжини; 7, 8 – керовані ключі; 9 – узгоджене навантаження; 11 – формувач імпульсів; 13 – логічна схема «АБО»; 14 – перетворювач часкод; 15 – мікроконтролер; 16 – цифровий індикатор.

Час затримки  $\tau_1$  лінії затримки 2 вибирається рівним часу відключення підсилювача відеоімпульсів 10. Тому під час надходження зондувального імпульсу у досліджуваний кабель 5 підсилювач відеоімпульсів 10 не реагує на імпульси, що поступають на його вхід.

У першому такті вимірювального циклу сигналами з мікроконтролера 15 ключ 7 розмикається, а ключ 8 замикається. В результаті короткого замикання відрізка лінії 6 відомої довжини  $\Delta l$  зондувальний імпульс відбивається від кінця відрізка і надходить на вхід підсилювача відеоімпульсів 10,

який на цей момент часу знаходиться у включеному стані. З підсиленого відбитого імпульсу за допомогою формувача імпульсів 11 формується короткий імпульс, за часом прив'язаний до переднього фронту відбитого відеоімпульсу. Сформований імпульс затримується лінією затримки 12 на час  $\tau_2$ . Час затримки  $\tau_2$  обирається рівним найбільшій тривалості відбитого імпульсу.

Затриманий імпульс через другий вхід схеми «АБО» 13 подається на вхід одновібратора 1. До моменту чергового запуску одновібратора відбитий імпульс припиняє свою дію. Тому знов сформований зондувальний імпульс надходить у досліджува-

ний кабель 5 і процес рециркуляції імпульсів триває. Саме цим визначається режим автоколивань.

Кожний наступний імпульс формується через часовий інтервал, пропорційний довжині відрізка лінії і обернено пропорційний швидкості поширення імпульсу по досліджуваному кабелю, яка залежить від його типу і стану ізоляції.

З урахуванням часової затримки, що утворюється в колі зворотного зв'язку імпульсного автогенератора ( $\tau_1 + \tau_2 = \tau$ ), період  $T_1$  проходження імпульсів в обидва кінці відрізка 6 кабелю 5 визначається співвідношенням:

$$T_1 = \frac{2\Delta l}{v} + \tau_1, \quad (1)$$

де  $v$  - швидкість поширення імпульсів по відрізку кабелю  $\Delta l$ .

За допомогою перетворювача час-код 14 тривалість періоду проходження імпульсів перетворюється в цифровий код:

$$N_1 = \frac{2\Delta l/v + \tau}{q}, \quad (2)$$

де  $q$  - одиниця молодшого розряду перетворення час-код.

Цифровий код  $N_1$  запам'ятовується в мікроконтролері 15.

У другому такті вимірювального циклу сигналами з мікроконтролера 15 ключ 7 замикається, а ключ 8 розмикається. При цьому до імпульсного автогенератора підключається досліджуваний кабель 5 без відрізка 6 відомої довжини.

Якщо пошкодження в кабелі розташоване на відстані  $l_x$  від його початку, то відбиття імпульсів від місця пошкодження (коротке замикання або обрив), проходить відстань  $l_x - \Delta l$ . Загальна затримка в імпульсному автогенераторі пропорційна подвійному значенню цієї відстані  $2(l_x - \Delta l)$  і затримці  $\tau$  в колі зворотного зв'язку. Період  $T_2$  проходження імпульсів у цьому випадку визначається виразом:

$$T_2 = \frac{2(l_x - \Delta l)}{v} + \tau_1. \quad (3)$$

Період  $T_2$  проходження імпульсів автогенератора також кодується перетворювачем 14. При цьому на виході перетворювача час-код 14 утворюється код

$$N_2 = \frac{2(l_x - \Delta l)/v + \tau_1}{q}. \quad (4)$$

Цифровий код  $N_2$  також вводиться в мікроконтролер 15 і запам'ятовується.

У третьому такті вимірювального циклу сигналами з мікроконтролера 15 розмикається ключ 7.

При цьому до імпульсного автогенератора підключається весь досліджуваний кабель 5, довжиною  $l_x$ . Період проходження імпульсів автогенератора при цьому збільшується до значення:

$$T_3 = \frac{2l_x}{v} + \tau. \quad (5)$$

Перетворювачем час-код 14 період  $T_3$  проходження імпульсів перетворюється в код

$$N_3 = \frac{2l_x/v + \tau}{q}. \quad (6)$$

Цифровий код  $N_3$  також запам'ятовується в мікроконтролері 15.

Далі за програмою, записаною в пам'ять мікроконтролера 15, здійснюється обчислення числа:

$$N_4 = \frac{N_3 - N_2}{N_3 - N_1}. \quad (7)$$

Після підстановки у вираз (7) значень кодів з (2), (4) і (6), одержуємо:

$$N_4 = \frac{\Delta l}{l_x - \Delta l}. \quad (8)$$

Вирішивши рівняння (8) щодо шуканої довжини кабелю  $l_x$  до місця пошкодження, отримуємо

$$l_x = \left( \frac{N_3 - N_2}{N_3 - N_1} + 1 \right) \Delta l. \quad (9)$$

Перед проведенням вимірювань довжина відрізка  $\Delta l$  досліджуваного кабелю заноситься в пам'ять мікроконтролера. Результат вимірювань виводиться на індикатор 16.

### Висновки

В результаті проведення тритактного вимірювального циклу однозначно визначається довжина електричного кабелю до місця пошкодження. З результуючого виразу (9), видно, що результат обчислення не залежить від часової затримки в колі зворотного зв'язку автогенератора ( $\tau_1 + \tau_2 = \tau$ ) і від швидкості поширення імпульсів по кабелю. Завдяки цьому запропонований алгоритм є інваріантним до типу досліджуваного кабелю. Тим самим виключається необхідність використання еталонів для кожного типу кабелю.

Контроль роботи імпульсного автогенератора здійснюється по коду  $N_1$  відрізка кабелю відомої довжини.

При цьому проводиться налаштування коефіцієнту підсилення підсилювача відеоімпульсів 10 і порогу спрацьовування формувача імпульсів 11.

Дослідження показали, що для перевірки кабельних ліній зв'язку обчислювальних систем достатньо формування трьох послідовностей відеоі-

імпульсів тривалістю 5...10 нс. Тривалість відбитих імпульсів через вплив розподіленої ємності лінії збільшується до 50...80 нс. Введення сумарної затримки в контур імпульсного автогенератора порядку 100 нс і відрізка лінії в 1-2 м забезпечують можливість визначення довжини лінії до місця пошкодження в діапазоні 5...1000 м з похибкою не більше  $\pm 5$  см. Для виключення впливу перешкод поріг спрацьовування формувача імпульсів обирається 0,2...0,3 В за амплітуди зондувальних імпульсів 5 В.

#### Література

- [1] О. Г. Гриб, А. А. Светелик, Г. А. Сендерович, Д. Н. Калюжный, *Автоматизированные методы и средства определения мест повреждения линий электропередачи: Уч. пособие*. Харьков, Украина: ХГАГХ, 2003.
- [2] G. V. Stattuck, "New technique saves cable (neutral corrosion test determines strategy for replacement or enhancement)" in *Transmission and distribution world*, 1995, August, pp. 38-41.
- [3] В. С. Дементьев, *Как определить место повреждения в силовом кабеле*. Москва, СССР: Энергия, 1980.
- [4] Г. М. Шалыт, *Определение мест повреждения в электрических сетях*. Москва, СССР: Энергоатомиздат, 1982.
- [5] А. С. Воронцов, П. А. Фролов *Импульсные измерения коаксиальных кабелей связи*. Москва, СССР: Радио и связь, 1985.
- [6] Ю. О. Скрипник, А. Ю. Кузнецов, "Рефлектометрический прибор для визначення відстані до місця пошкодження електричних ліній передач", *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*, № 1, с. 155-158, 2002.
- [7] А. К. Шидловский, А. А. Щерба, В. М. Золотарев, А. Д. Подольцев, И. Н. Кучерявая, *Кабели с полимерной изоляцией на сверхвысокие напряжения*. Киев, Украина: Ин-т электродинамики НАН Украины, 2013.
- [8] A. C. Petrides, J. Huff, A. Arik, A. M. Kennedy, C. K. Thomas, J. S. Selker, "Shade estimation over streams using distributed temperature sensing", *Water Resour. Res.*, vol. 47, W07601, DOI: 10.1029/2010WR009482, 2011.
- [9] О. Ю. Кузнецов, "Двочастотный рефлекторный метод вимірювання відстані до місця пошкодження електричної лінії", *Вісник Технологічного університету Поділля*, № 5, с. 132-134, 2002.
- [10] Ю. О. Скрипник, К. Л. Шевченко, О. Ю. Кузнецов, "Спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження". Патент України №76176, МПК G01R31/08, бюл. 17, 2006.

УДК 621.315

<sup>1</sup>К. Л. Шевченко, <sup>1</sup>А. Ф. Яненко, <sup>1</sup>Т. Р. Клочко, <sup>2</sup>Ю. В. Штефура

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сикорського», Київ, Україна

<sup>2</sup>Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, Україна

### ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ДО МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

Проводные линии связи на сегодня остаются основным средством передачи информации и электрической энергии. При повреждении электрического кабеля основная проблема его быстрого восстановления заключается в нахождении места повреждения. В статье приведены результаты разработки импульсного измерителя расстояния до места повреждения кабеля. Предложена структура измерителя расстояния и алгоритм его работы. Измерения проводятся в три такта. Работа прибора осуществляется под управлением микроконтроллера. Трехтактный измерительный цикл позволяет избежать использования эталонных отрезков кабелей различного типа. Результат измерений не зависит от параметров цепи обратной связи импульсного генератора. Этим обеспечивается повышение точности измерений.

**Ключевые слова:** электрический кабель, повреждение, измерение расстояния, повышение точности.

<sup>1</sup>K. L. Shevchenko, <sup>1</sup>A. F. Yanenko, <sup>1</sup>T. R. Klotchko, <sup>2</sup>Yu. V. Shtefura

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

### IMPROVING THE ACCURACY OF MEASURING THE DISTANCE TO THE DAMAGED ELECTRICAL CABLE

Electrical cables are widely used to transmit electrical energy. Often they are used to transmit information. To build computer networks also use wired communication. Damage to the electrical cable leads to loss of communication. To quickly repair the cable, you need to find the damage. Often this is a problem. The article proposed the structure of a pulse meter distance to the cable damage. The algorithm of the meter operation is considered. The measurement process takes three cycles. In the first cycle, a segment of the main cable of known length is used. The length of the segment is

1...2 m. The delay of passage of pulses through this segment is measured. In the second cycle, the delay of the passage of pulses through the cable without this segment is measured. In the third cycle, the delay of passage of pulses through the entire cable is measured. According to the results of three measurements, the distance to the place of damage is calculated. To measure, it is enough to form three sequences of pulses of 5...10 ns in duration. The duration of the reflected points of damage to the line pulses increases to 50...80 ns. The meter operation in each clock cycle is controlled by a microcontroller. Calculations are carried out according to the program recorded in the memory of the microcontroller. The proposed algorithm is invariant to the type of cable being monitored. Using the proposed meter allows you to avoid the use of standard lengths of cables of various types. The measurement result does not depend on the parameters of the feedback circuit of the pulse generator. This provides increased measurement accuracy. When measuring distance in the range of 5...1000 m with an error of no more than 5 cm.

**Keywords:** electrical cable, damage, distance measurement, accuracy increase.

*Надійшла до редакції  
30 жовтня 2018 року*

*Рецензовано  
08 листопада 2018 року*

УДК 621.3.01

## ЕНЕРГЕТИЧНІ ПРОЦЕСИ В РЕЗИСТИВНИХ КОЛАХ ЗАРЯДУ СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ

*Білецький О. О., Котовський В. Й.*

*Національний технічний університет України*

*"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна*

*E-mail: [biletsky27@gmail.com](mailto:biletsky27@gmail.com)*

*У роботі розглянуто енергетичні процеси в резистивних колах заряду суперконденсаторів (нелінійних конденсаторів) від джерел постійної напруги при різних кінцевих умовах по напрузі на клеммах. Отримано загальне аналітичне й апроксимоване рішення нелінійного неоднорідного диференціального рівняння першого порядку для аперіодичного процесу заряду суперконденсатора від літій-іонної акумуляторної батареї при припущенні, що ємність суперконденсатора лінійно залежить від напруги на його клеммах. Дане рішення надає можливість визначити залежності енергетичних втрат у зарядних колах від параметрів їх елементів.*

**Ключові слова:** енергетичні процеси, ємність, суперконденсатор, нелінійний конденсатор, диференціальне рівняння, внутрішній опір, джерело постійної напруги.

### Вступ

У теперішній час для забезпечення великих імпульсних струмів в електротехнічних та електромеханічних системах все частіше використовують накопичувальні суперконденсатори (іоністори, нелінійні конденсатори), що можуть забезпечувати значні швидкості зростання струму, а, відповідно, і значні імпульсні потужності. У випадках, коли необхідно тривалий час віддавати електричну енергію в навантаження, використовуються акумуляторні батареї (АБ) різного типу, які мають кращі показники по питомій енергії. Велика кількість сучасних наукових розробок спрямована на створення комбінованих джерел живлення, в яких АБ використовуються для довготривалого живлення навантаження ustalеним струмом, а суперконденсатори (СК) – для забезпечення значних струмів та імпульсних потужностей. Значним ускладненням довгий час був недостатній аналіз енергетичних характеристик комбінованих джерел живлення з СК та АБ.

За останні п'ять років значно покращились електротехнічні параметри СК. Ємність одного елемента батареї СК може становити тисячі фарад при номінальній напрузі до 4 вольт та внутрішньому опорі 0,1 мОм [2, 4, 6 - 12]. Перевагою СК порівняно з АБ є те, що вони можуть функціонувати без погіршення електротехнічних показників не менше одного мільйону циклів [6 - 9]. При застосуванні СК в комбінованих джерелах живлення, їх з'єднують послідовно в батареї задля отримання необхідної напруги на клеммах [6 - 9].

### Постановка задачі

Загальні електротехнічні та експлуатаційні характеристики сучасних СК та АБ, які можуть використовуватися в комбінованих джерелах живлення приведені у табл. 1 [6 - 9].

Згідно з наведеними вище даними (табл. 1), ресурс батареї СК як мінімум на три порядки перевищує ресурс популярної літій-іонної АБ [12]. Од-