

УДК 621.121

**ПІДВИЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ТА КОНСТРУКТИВНОЇ НАДІЙНОСТІ
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ***Коробко І. В., Драчук О. О.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: i.korobko@kpi.ua, lesyaartemenko@gmail.com*

Метою роботи є створення та дослідження приладового комплексу вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу із високим рівнем достовірності їх результатів. При розробці такого вимірювального комплексу закладена ідея самодіагностики стану окремих його складових, що забезпечує високий рівень правдивості результатів вимірювання.

У статті запропоновано забезпечити високу достовірність результатів реєстрації об'єму та об'ємної витрати природного газу із застосуванням структурних методів підвищення надійності і певності систем вимірювання. Це можливо при створенні вимірювального комплексу із дублюючими приладами, які базуються на різних методах реєстрації витрати газозфазних середовищ. Отримання інформації від двох основних засобів вимірювання (перетворювачів витрати ультразвукового та турбінного типів) і, за необхідності, витратоміра змінного перепаду тиску зі просторовою конфігурацією проливного тракту у вигляді труби Вентурі, формує надлишкову інформацію. Це дозволяє підвищити достовірність результатів вимірювання, значно розширити діапазон реєстрації витрати, при збереженні точності і надійності, створює передумови обопільної взаємодіагностики засобів вимірювання, які застосовуються при побудові запропонованого комплексу.

Ключові слова: газ, вимірювання, витрата, точність, достовірність, надійність.

Вступ

Надзвичайно важливою задачею сьогодення є раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, одним із основних видів яких є природний газ. Створення системи заощадливого використання природного газу не можливо без організації дієвого його обліку, що сприяє контролю його витрати, виявленню втрат, особливо непередбачуваних, налагодженню справедливих економічних стосунків між постачальниками та споживачами. Все це стосується також і недостатньої точності реєстрації об'єму та об'ємної витрати газу у широкому діапазоні їх плинину.

Питання створення засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати достатньо ґрунтовно і широко досліджені у наукових роботах вітчизняних та закордонних авторів, серед яких Пістун Є. П., Кремльовський П. П., Бошняк Л. Л., Бизов Л. Н., Цейтлін В. Г., Шонін Л. М., Шорніков Є. О., Середюк О. Є., Большаков В. Б., Kabza Z. та інші. Ці роботи мають велике практичне і теоретичне значення, так як розглядаються різні методи і способи визначення технічного стану вимірювання витрати, пропонуються підходи до створення засобів вимірювання (ЗВ) витрати. Але у відомих роботах [1-5] основна увага приділяється методам вимірювання витрати різноманітних середовищ і практично не розглядаються питання захисту вимірної інформації від завад і перебоїв у роботі приладів, відновлення інформації спотвореної перебоєм при одночасному розширенні діапазону вимірювання.

Постановка проблеми

В Україні зі зміною кліматичних умов, та режимів літо-зима значно змінюються об'єми газоспоживання. Діапазон між мінімальною та максимальною витратою газу стає значно ширшим. Вимірювальні прилади та системи мають обмежений діапазон реєстрації об'єму та об'ємної витрати, який не задовольняє вимогам сьогодення. Здебільшого на газорозподільних пунктах щосезону здійснюється комутація ланок вимірювання на літній/зимовий режими. Це спричиняє зміни гідравлічних режимів плинину газу у вузлах його обліку.

Окрім того, важливою проблемою є достовірність отриманих результатів реєстрації і надійність вузла обліку за різних режимів плинину газозфазного середовища та можливість своєчасного виявлення виходу ЗВ із ладу.

Постановка задачі

Виходячи із окреслених вище проблем, для організації достовірного обліку об'єму та об'ємної витрати природного газу необхідно забезпечити високу надійність ЗВ, їх самодіагностику, захист вихідної інформації від непередбачених перебоїв та завад, як від дії внутрішніх, так і зовнішніх чинників. Разом із тим надзвичайно важливою задачею сьогодення постає розширення діапазону реєстрації об'єму та об'ємної витрати при збереженні приписаних цим ЗВ метрологічних властивостей.

Приладовий комплекс вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу

Одним із шляхів підвищення надійності та точності витратовимірювальної техніки є застосування резервування [6 - 8]. Це передбачає введення надлишкових приладів, що у підсумку забезпечують нормальне функціонування вимірювального вузла після виникнення відмов у його складових.

Відмінною особливістю резервування є забезпечення високоточної реєстрації витрати із використанням ЗВ, що випускаються серійно, без зміни вимог щодо поліпшення їхніх метрологічних показників. При сучасному стані інформаційних технологій виконання допоміжних перетворень і обчислювальних операцій у багатьох випадках ефективніше і більш економічно, ніж удосконалення конструкції та технології виробництва ЗВ з метою отримання високих метрологічних характеристик.

Для розв'язання поставленої у даній роботі

задачі розроблено вимірювальний комплекс із структурним та інформаційним надлишком (рис. 1). Інформаційне резервування формується за рахунок використання надлишкової інформації, яка формується сукупністю ЗВ, що забезпечують структурне резервування і утворюють вимірювальний комплекс.

До складу такого комплексу входять три ЗВ, побудовані на різних принципах дії. Це забезпечує реалізацію методу резервування, а також створення умов для отримання надлишкової інформації. Ще одним аспектом побудови даного комплексу із ЗВ є те, що вони здійснюють реєстрацію за значень витрати, що мають перетинні діапазони. Цим забезпечуються передумови розширення діапазону вимірювання. Такий комплекс побудовано із застосуванням ЗВ турбінного (ТР) та ультразвукового (УЗ) класів і профілюванням вимірювального тракту із просторовою геометричною формою у вигляді труби Вентурі (рис. 1) [9 - 12].

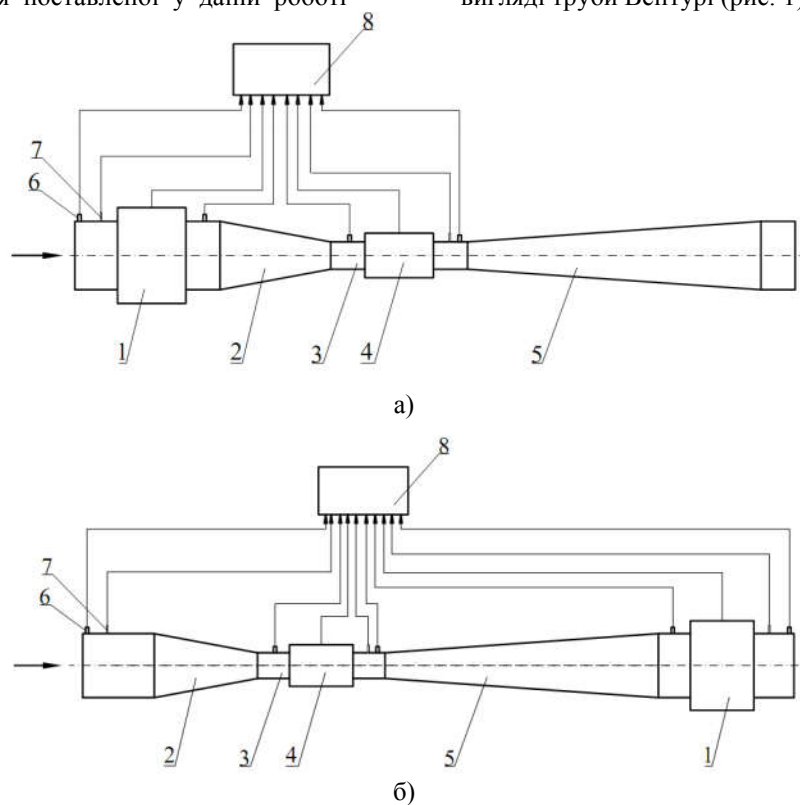


Рис. 1. Схеми реалізації вимірювального комплексу: а) турбінний витратомір до звуження; б) турбінний витратомір до звуження: 1 – турбінний витратомір, 2 – пристрій звуження потоку у вигляді конфузора, 3 – пряма ділянка, 4 – ультразвуковий витратомір, 5 – пристрій розширення потоку у вигляді дифузора, 6 – датчики тиску, 7 – датчики температури, 8 – блок обробки інформації

Отримання вимірювальної інформації від двох основних ЗВ і, за необхідності, від витратоміра змінного перепаду тиску із просторовою конфігурацією у вигляді труби Вентурі, створює передумови обопільної взаємодіагностики ЗВ, які є складовими такого комплексу, направлена на суттєве розширення діапазону вимірювання, підви-

щення точності і надійності ЗВ та достовірності результатів реєстрації об'єму та об'ємної витрати природного газу при зниженні сумарної вартості комплексу.

Оскільки прилади, що застосовуються, реєструють одну і ту ж вхідну величину (витрату чи кількість плинного середовища), надлишкові резе-

рвні ЗВ формують додаткову інформацію про вимірювану величину при відмові інших приладів. При цьому усі ЗВ знаходяться в активному постійному резервуванні.

При відмові одного із приладів вихідна інформація комплексу відновлюється методом заміщення із застосуванням алгоритмічних методів підвищення достовірності вихідної інформації.

Ефективність такого вимірювального комплексу значно зростає при застосуванні приладів, побудованих на різних методах вимірювання витрати, що створюють структурну та інформаційну надлишковість. Такі ЗВ відрізняються один від одного реакцією на вплив як внутрішніх, так і зовнішніх чинників. Таким чином нівелюється, при обопільній обробці вихідної інформації, вплив на величину невизначеності результату вимірювання багатьох негативних факторів. При цьому застосовується мультимодальний принцип комплексування, який полягає в тому, що одна і та ж величина швидкості плин природного газу v вимірюється декількома приладами, заснованими на різних принципах дії [9]. Вихідні сигнали таких приладів (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) обробляються універсальним чи спеціалізованим обчислювальним пристроєм (БОІ), що формує достовірне значення вихідного сигналу Q (рис. 2).

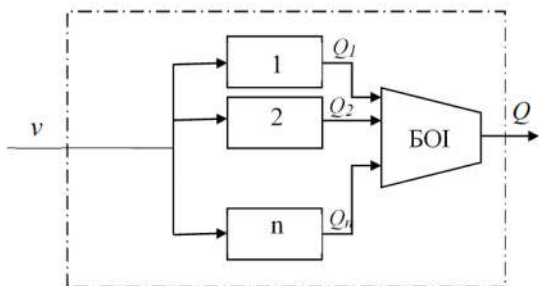


Рис. 2. Структурна схема інформаційної системи із мультимодальним комплексуванням датчиків

Для синтезу оптимального алгоритму обробки надлишкової інформації $Q = F(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ необхідно, по-перше, сформулювати критерій оптимальності, по-друге, використовувати в якості вихідних даних наявну апріорну інформацію про статистичні характеристики змінної величини x та про закони розподілення умовних ймовірностей справної роботи резервованої системи.

В якості критерію оптимальності зазвичай приймають мінімум дисперсії похибки інформаційного пристрою [13 - 14]:

$$D(Q - Q_0) = D_{\min},$$

де Q_0 – значення вихідного сигналу, що відповідає дійсному значенню витрати u відповідності із заданою функцією перетворення $Q = f(v)$.

Статичні характеристики реєстрованих

об'єму та об'ємної витрати природного газу можуть бути представлені функцією нормального розподілу із певним математичним очікуванням \bar{x} і середнім квадратичним відхиленням σ_x . У загальному випадку закон розподілу умовних ймовірностей вихідного сигналу комплексу є композицією законів розподілу вихідних сигналів складових ЗВ, отриманих як за справної, так і несправної роботи приладів.

Важливою задачею при створенні вимірювального комплексу є побудова оптимального алгоритму обробки надлишкової інформації. При цьому необхідно враховувати ймовірність відмов такої БОІ. Висока ймовірність відмов БОІ звела б нанівець вираш у надійності комплексу за рахунок оптимізації алгоритму обробки надлишкової інформації. Але з врахуванням складності синтезу оптимального алгоритму БОІ на практиці застосовують субоптимальні (близькі до оптимальних) алгоритми, отримані шляхом апроксимації точних алгоритмів більш простим [15].

Вид субоптимальних алгоритмів залежить від співвідношення ймовірностей раптових і поступових відмов ЗВ, які входять до складу вимірювального комплексу.

Якщо ймовірність раптової відмови ЗВ мала порівняно із ймовірністю поступової відмови, то субоптимальний алгоритм обробки інформації має вид

$$Q = \sum \beta_i Q_i, \quad (1)$$

де $\beta_i = \frac{1}{D_i \sum_{k=1}^n \frac{1}{D_k}}$ – ваговий коефіцієнт, що залежить від дисперсії похибки усіх лічильників; D_i , D_k – дисперсії похибок i -го і k -го лічильників.

Якщо усі лічильники вимірювального комплексу однотипні, то

$$D_1 = D_2 = \dots = D_n \text{ і } \beta_i = \frac{1}{n}.$$

У цьому випадку алгоритм (1) спрощується

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n}.$$

Тобто, за однотипних ЗВ оптимальною вихідною інформацією вимірювального комплексу буде середнє арифметичне із вхідних сигналів до БОІ. Це зменшує дисперсію похибки всього вимірювального комплексу у n разів.

У випадку, коли ймовірність раптової відмови лічильників значно перевищує ймовірність їх поступової відмови, субоптимальним алгоритмом буде функція мажорювання, яка полягає у виборі середнього за величиною числа із ряду чисел Q_1, Q_2, \dots, Q_n при непарному n [7]

$$Q = \text{maj}(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = \max \left[\min F_1, \min F_2, \dots, \min F_{\frac{n+1}{C_n^2}} \right],$$

де F_1, F_2, \dots – відмінні одна від одної множини сигналів Q_i у кількості $0,5(n+1)$; C_n^2 – число варіантів із n до $0,5(n+1)$.

Якщо $n=3$, причому $Q_1 < Q_2 < Q_3$, то $Q=Q_2$.

Коли $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_r$, де $r > 0,5n$, результатом мажоруння буде $Q = Q_r$, тобто здійснюється голосування із вибором більшості.

За умови рівновимірних імовірностей раптових і поступових відмов субоптимальний алгоритм описується виразом

$$Q = \sum_{j=1}^m \beta_j Q_j, \quad (2)$$

де $\beta_j = \frac{1}{D_j \sum_{k=1}^m \frac{1}{D_k}} \lim_{x \rightarrow \infty}$ – ваговий коефіцієнт, що

враховує m сигналів із n ; D_j і D_k – дисперсія похибок j -го і k -го приладів; Q_j – вихідний сигнал j -го лічильника;

m – число сигналів лічильників, для яких дотримується нерівність $|Q_j - Q| \leq \delta_0$, при цьому інші $n-m$ сигналів, для яких $|Q_j - Q| > \delta_0$, не враховуються (відкидаються); δ_0 – половина абсолютної величини заданого поля допуску на похибку лічильника.

За таких умов вихідна інформація вимірювального комплексу формується як середнє зважене із сигналів справних вимірювальних приладів, а сигнали несправних відкидаються (під справними розуміються лічильники з похибкою не що не перевищує δ_0).

Висновки

Дослідження запропонованого вимірювального комплексу підтверджують покращення достовірності реєстрації об'єму та об'ємної витрати природного газу покращенням достовірності реєстрації об'єму та об'ємної витрати природного газу при застосуванні серійних ЗВ зі збереженням їх метрологічних характеристик.

Застосування у запропонованому комплексі приладів побудованих на різних принципово відмінних один від іншого методах визначення об'єму та об'ємної витрати газу виключає вплив на якість отриманих результатів реєстрації методичної складової невизначеності і підвищує їх певність.

При побудові запропонованого вимірювального комплексу відшукувалось оптимальне, з точки зору точності реєстрації, локальне місце розміщення складових елементів (приладів) один відносно одного з метою отримання мінімального значення величини невизначеності результатів реєстрації об'єму та об'ємної витрати природного газу.

Отримання інформації від двох основних засобів вимірювання (перетворювачів витрати ультразвукового та турбінного типів) і, за необхідності, високонадійного витратоміра змінного перепаду тиску із просторовою конфігурацією звуження плинного потоку (проливного тракту) у вигляді труби Вентурі, формує надлишкову інформацію про реальне значення вимірюваного об'єму та об'ємної витрати природного газу. Це дозволяє, поряд із застосуванням триканального обчислювача із високою надійністю, підвищити достовірність результатів вимірювання, значно розширити діапазон реєстрації об'єму та об'ємної витрати, при збереженні точності і надійності, створює передумови обопільної взаємодіагностики засобів вимірювання, які застосовуються при побудові запропонованого комплексу.

Подальші дослідження будуть направлені на створення методики відновлення вихідної інформації засобів вимірювання, що входять до комплексу, втраченої в наслідок непередбачених завад та збоїв в їх роботі.

Література

- [1] Е. А. Шорников, *Расходомеры и счетчики газа, узлы учета: справочник*. Санкт-Петербург, Россия: Политехника, 2003.
- [2] I. V. Korobko, and I.A Gryshanova, "Research on developing propeller flowmeters with increased accuracy", in *Proceedings of HT/FED'04 2004 ASME Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference*, Charlotte, North Carolina, USA, 2004.
- [3] П. П. Кремлевский, *Расходомеры и счетчики количества вещества: Справочник. Кн. 1*. Санкт-Петербург, Россия: Политехника, 2002.
- [4] Є. П. Пістун, та Л. В. Лісовий, *Нормування витратомірів змінного перепаду тиску*, Львів, Україна: ЗАТ "Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв", 2005.
- [5] М. П. Андрієшин, О. М. Карпаш, Я. С. Марчук, І. С. Петришин, О. Є. Середюк, та С. А. Чеховський, *Облік природного газу. Довідник*. Івано-Франківськ, Україна: ПП "Сімік", 2008.
- [6] В. Д. Цюцюра, та С. В. Цюцюра, *Метрологія та основи вимірювань: навч. Посібник*. Київ, Україна: Знання-Прес, 2003.
- [7] Є. Т. Володарський, *Статистична обробка*

- даних: навчальний посібник. Київ, Україна: НАУ, 2008.
- [8] О. М. Васілевський, та В. О. Поджаренко, *Нормування показників надійності технічних засобів.: Навчальний посібник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010.
- [9] І. В. Коробко, Я. М. Власюк, О. О. Драчук, та В. А. Коваленко, “Комплекс вимірювання витрати газу з потрійною системою реєстрації”, *Патент України на винахід № 113092, МПК (2006.01) G01F 1/05, G01F 1/34, G01F 1/66, G01F 15*, Груд.12, 2016.
- [10] І. В. Коробко, О. О. Драчук, та В. А. Коваленко, “Приладовий комплекс вимірювання витрати та кількості природного газу на підрунті різних фізичних методів вимірювання”, *Методи та прилади контролю якості: науково-технічний журнал*, № 2(33), с. 66-78, 2014.
- [11] І. В. Коробко, Я. М. Власюк, О. О. Драчук, та В. А. Коваленко, “Комплекс вимірювання витрати природного газу”, *Патент України на корисну модель № 99877, МПК(2015) G01F 1/00.*, Черв. 25, 2015.
- [12] І. В. Коробко, О. О. Драчук, та В. А. Коваленко, “Дослідження приладового комплексу вимірювання об’єму та об’ємної витрати газу з дублюванням перетворювачів”, на МНПК «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», Івано-Франківськ, 2014, с. 322-325.
- [13] І. В. Коробко, “Оптимізація просторової форми тіл обтікання чутливих елементів гідродинамічних вимірювачів витрати рідини”, *Вестн. НТУУ “КПІ”. Сер. Машиностроение*, Вып. 68, с. 173 – 180, 2013.
- [14] A. Pisarets, and I. Korobko, “Optimization of turbine type flow rate transducer with hydrodynamic balancing of sensitive element”, *Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування*, Вип. 54(2), с. 65-71, 2017. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.54\(2\).2017.119574](https://doi.org/10.20535/1970.54(2).2017.119574)
- [15] Д. А. Браславський, *Приборы и датчики летательных аппаратов: учебник для вузов*. Москва, СССР: Машиностроение, 1970.

УДК 621.121

И. В. Коробко, О. А. Драчук*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина***ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ И КОНСТРУКТИВНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Цель работы – создание и исследование приборного комплекса измерения объема и объемного расхода природного газа с высоким уровнем достоверности его результатов. При разработке такого измерительного комплекса заложена идея самодиагностики состояния его отдельных составляющих, что обеспечивает высокий уровень правдивости результатов измерения.

В статье предложено обеспечить высокую достоверность результатов регистрации объема и объемного расхода природного газа, используя структурные методы повышения надежности систем измерения. Это возможно при создании измерительного комплекса с дублирующими приборами, основанными на разных методах регистрации расхода газофазных сред. Получение информации от двух основных средств измерения (преобразователей расхода ультразвукового и турбинного типов) и, при необходимости, расходомера переменного перепада давления с пространственной конфигурацией проливного тракта в виде трубы Вентури, формирует избыточную информацию. Это позволяет повысить достоверность результатов измерения, значительно расширить диапазон регистрации расхода, при сохранении точности и надежности, создает предусловия обоюдной взаимодиагностики средств измерения, используемых при построении предложенного комплекса.

Ключевые слова: газ, расходомерия, расход, точность, достоверность, надежность.

I. V. Korobko, O. O. Drachuk*National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine***THE INCREASING OF METROLOGICAL AND TECHNICAL RELIABILITY OF NATURAL GAS FLOW-RATE MEASURING INSTRUMENTS**

The goal of the work is to create and research gas volume and flow-rate measuring complex with a high level of results reliability. The single components self-diagnostics in mutual control process is the basic idea of the measuring complex developing which ensure a high truthfulness of the measurement results.

In article is offered to provide high certainty of the gas volume and flow-rate registration results with using the structural methods of increasing the metrological reliability and conformity of the measurement systems. This is possible by constructing a measuring complex with a few duplicated measuring devices based on different principles of registration gas flow-rate. Applying in the proposed measured complex fundamentally different types of devices build on different

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

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

¹⁾Національний технічний університет України

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

²⁾Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, Україна

E-mail: 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