



УКРАЇНА

(19) UA (11) 46231 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01R 31/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЛІНІЇ ПЕРЕДАЧІ ДО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ

1

(21) u200906945

(22) 03.07.2009

(24) 10.12.2009

(46) 10.12.2009, Бюл.№ 23, 2009 р.

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, САННИКОВ  
ВОЛОДИМИР ЮРІЙОВИЧ, САС КАТЕРИНА ОЛЕ-  
ГІВНА(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження, при якому генерують періодичну послідовність зондуючих імпульсів, що затримують до зондування випробувальної лінії, приймають на вході лінії послідовність зондуючих і відбитих імпульсів, блокують зондуючі імпульси, із прийнятих відбитих імпульсів формують короткі імпульси, вимірюють частоту і визначають довжину електричної лінії передачі до місця пошкодження за формулою, який **відрізняється** тим, що додатково блокують в прийнятій послідовності зондуючих і відбитих імпульсів перші імпульси, що відбиті від вхідного кінця випробуваної лінії, створюють часові інтервали із прийнятих других відбитих від місця пошкодження випробуваної лінії

2

імпульсів і третіх перевідбитих від вхідного кінця і місця пошкодження імпульсів, створюють другі часові інтервали між третіми перевідбитими від вхідного кінця і місця пошкодження імпульсами і другими відбитими від місця пошкодження імпульсами, які виникають від наступних зондуючих імпульсів, змінюють частоту повторення зондуючих імпульсів до досягнення рівності сформованих часових інтервалів, при якій додатково блокують треті перевідбиті імпульси, вимірюють частоту повторення залишених других відбитих імпульсів, після чого визначають довжину електричної лінії передачі до місця пошкодження за формулою

$$l_x = \frac{c}{4kf_0},$$

де  $l_x$  - довжина лінії до місця пошкодження;

$k$  - коефіцієнт скорочення випробуваної лінії;

$c$  - швидкість розповсюдження електромагнітних коливань у вакуумі;

$f_0$  - частота повторення других відбитих імпульсів від місця пошкодження лінії.

Корисна модель відноситься до електровимірної техніки і може застосовуватися для визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження за затримкою відбитих імпульсів від місця пошкодження (обрив лінії, коротке замикання, витік електричного сигналу).

Відомий спосіб зондування електричної лінії передачі короткими імпульсами, при якому отримують відбиті від місця пошкодження імпульси, відповідно до затримки яких відносно до зондуючих імпульсів судять про відстань до місця пошкодження [Скрипник Ю.О., Кузнецов О.Ю. „Рефлектометричний прилад для визначення відстані до місця пошкодження електричних ліній передачі“// Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. - 2002. №1, с.155-158].

В даному способі до часу виміру затримки також входять додаткові затримки в блоках формування зондуючих імпульсів та у вимірюючих перетворювачах відбитих імпульсів, що спотворює

результат вимірювання. Крім того затримка відбитих імпульсів визначається за показаннями осцилографа, що не забезпечує високу точність виміру часу, а відповідно і довжини лінії (похибка вимірювання одиниці відсотків).

Відомий спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження [патент України №76176, МПК G01R31/08, 2006р.], в якому порівнюють частоту послідовності відбитих імпульсів від лінії, що досліджується, з частотою послідовності імпульсів від лінії, довжина якої відома, вирівнюють порівняні частоти за рахунок поділу частоти послідовності імпульсів, що відбиті від відрізка лінії відомої довжини, за отриманою частотою визначають з урахуванням встановленого коефіцієнта поділу довжину лінії до місця пошкодження.

При даному способі значно зменшується похибка визначення часу затримки відбитих імпульсів, що підвищує точність визначення довжини лінії

U  
(13)

46231  
(11)

UA  
(19)

до місця пошкодження. Однак, часові затримки в блоці формування зондуючих імпульсів, які необхідні для розділення у часі зондуючих та відбитих імпульсів, суттєво впливають на значення довжини лінії до місця пошкодження, що визначається.

Відомий також спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження [патент України №23116, МПК G01R31/08, 2007р.], при якому генерують періодичну послідовність зондуючих імпульсів, що затримують до зондування випробувальної лінії, приймають на вході лінії послідовність зондуючих і відбитих імпульсів, блокують зондуючі імпульси, із прийнятих відбитих імпульсів формують короткі імпульси, вимірюють частоту і визначають довжину електричної лінії передачі до місця пошкодження за формулою. Крім того, спосіб включає виділення відрізка відомої довжини на початковій ділянці випробуваної лінії, по чергове включення в ланцюг зворотного зв'язку генератора зондуючих імпульсів виділеного відрізка лінії, що досліджується та лінії з виділеним відрізком, визначення коду періоду повторення відбитих імпульсів при включенні виділеного відрізка випробуваної лінії, далі включення випробуваної лінії без виділеного відрізка та з виділеним відрізком, запам'ятовування кодів періодів повторення відбитих імпульсів та визначення довжини лінії до місця ушкодження по скорегованих кодах.

Виділення відрізка відомої довжини лінії, що досліджується, особливо при прихованій проводці не завжди можливо, при цьому мають місце обмеження по мінімальній довжині виділеного відрізка лінії із-за обмеженої смуги пропускання частот лінії, що досліджується. Довгі перехідні процеси, що виникають в результаті заряду досліджуваної лінії однополярними зондуючими імпульсами, підвищують час випробування електричних ліній.

В основу корисної моделі покладена задача створити такий спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження, в якій введенням нових операцій, забезпечилось би підвищення точності та зменшення часу визначення довжини випробуваної лінії до місця пошкодження.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження, при якому генерують періодичну послідовність зондуючих імпульсів, що затримують до зондування випробувальної лінії, приймають на вході лінії послідовність зондуючих і відбитих імпульсів, блокують зондуючі імпульси, із прийнятих відбитих імпульсів формують короткі імпульси, вимірюють частоту і визначають довжину електричної лінії передачі до місця пошкодження за формулою, згідно з корисної моделі додатково блокують в прийнятій послідовності зондуючих і відбитих імпульсів перші імпульси, що відбиті від вхідного кінця випробуваної лінії, створюють часові інтервали із прийнятих других відбитих від місця пошкодження випробуваної лінії імпульсів і третіх перевідбитих від вхідного кінця і місця пошкодження імпульсів, створюють другі часові інтервали між третіми перевідбитими від вхідного кінця і місця пошкодження імпульсами і другими відбитими від місця пошкодження імпульсами, які виникають від наступних зондуючих імпульсів, змінюють частоту повторення зондуючих

імпульсів до досягнення рівності сформованих часових інтервалів, при якій додатково блокуються треті перевідбиті імпульси, вимірюють частоту повторення залишених других відбитих імпульсів, після чого визначають довжину електричної лінії передачі до місця пошкодження за формулою

$$\ell_x = \frac{c}{4kf_0},$$

де  $\ell_x$  - довжина лінії до місця пошкодження;

k - коефіцієнт скорочення випробуваної лінії;

c - швидкість розповсюдження електромагнітних коливань у вакуумі;

$f_0$  - частота повторення других відбитих імпульсів від місця пошкодження лінії.

Додаткове блокування в прийнятій послідовності імпульсів перших відбитих від вхідного кінця лінії імпульсів, формування часових інтервалів між другими відбитими від місця пошкодження лінії імпульсами і третіми перевідбитими від вхідного та пошкодженого кінця лінії та других часових інтервалів між третіми перевідбитими і другими відбитими від пошкодженого кінця лінії імпульсами, які виникають від наступних зондуючих імпульсів, дозволяють визначити нерівномірність в часовій послідовності відбитих імпульсів. За результатом порівняння сформованих часових інтервалів регулюють частоту повторення зондуючих імпульсів до моменту досягнення рівності сформованих інтервалів, що визначається по додатковому блокуванні в отриманій послідовності імпульсів третіх перевідбитих імпульсів. Це дає можливість отримати рівномірну послідовність імпульсів, яка складається тільки з других відбитих від пошкодженого кінця лінії імпульсів. При цьому частота повторення других відбитих імпульсів однозначно визначається часом проходження зондуючих імпульсів від вхідного кінця лінії до місця пошкодження незалежно від часових затримок в блоках формування зондуючих імпульсів та в приймаючих перетворювачах. За частотою повторення і швидкістю розповсюдження імпульсів для конкретної лінії передачі більш точно і швидше визначають довжину лінії до місця пошкодження.

На кресленні приведена схема вимірювання довжини електричної лінії до місця пошкодження за запропонованим способом.

Схема включає генератор 1 зондуючих імпульсів регульованої частоти повторення, лінію затримки 2, розв'язуючий атенуатор 3, підсилювач радіоімпульсів 4, блок 5 автоматичного регулювання підсилення (АРП), амплітудний детектор 6, формувач 7 однополярних імпульсів, тригер 8 з рахунковим входом, індикатор 9 і мікропроцесорний частотомір 10.

Позицію 11 позначена лінія передачі, що досліджується, позицію 12 узгоджене кінцеве навантаження лінії передачі.

Спосіб визначення довжини електричної лінії до місця пошкодження здійснюється наступним чином.

Генератором 1 створюються зондуючі швидко затухаючі радіоімпульси, які затримуються лінією затримки 2 і крізь розв'язуючий атенуатор 3 взаємодіють з лінією 11, що досліджується. Через не-

повне узгодження лінії 11, що досліджується, з розв'язуючим атенуатором 3 зондуючі імпульси частково відбиваються від вхідного кінця лінії 11 (перші відбиті імпульси), а частково попадають в лінію. Одночасно зондуючі імпульси генератора 1 впливають на блок АРП 5, який виробляє напругу, що блокує роботу підсилювача 4 радіоімпульсів. Затримку лінії 3 обирають такою, щоб до моменту попадання зондуючого імпульсу на підсилювач 4, він вже був заблокований. В результаті цього і відбитий від входу лінії радіоімпульс теж не пройде крізь підсилювач радіоімпульсів 4. Час блокування підсилювача 4 радіоімпульсів обирають більше часу самого зондуючого імпульсу, що забезпечує блокування в приймаємій послідовності як зондуючого радіоімпульсу так і першого відбитого від вхідного кінця лінії передачі 11 радіоімпульсу.

Радіоімпульси, що проникли в лінію 11, що досліджується, розповсюджуються по лінії та при відсутності пошкоджень розсіюється на кінцевому узгодженому навантаженні 12. При наявності пошкодження лінії 11, що досліджується, виникає відбиття зондуючого радіоімпульсу, який повертається до вхідного кінця лінії 11. Відбитий від місця пошкодження імпульс частково відбивається від входу лінії 11 (другий відбитий імпульс), а частково проходить на вхід підсилювача 4 радіоімпульсів. До моменту приходу другого відбитого імпульсу підсилювач 4 вже розблокований. Підсилений радіоімпульс детектується амплітудним детектором 6. В залежності від рівня відбитого імпульсу блоком 5 АРП формується керуюча напруга, яка забезпечує постійну амплітуду радіоімпульсів, що приймаються, незалежно від довжини електричної лінії передачі 11 до місця ушкодження.

Відбитий від вхідного кінця лінії 11 радіоімпульс знову розповсюджується по лінії до місця пошкодження, перевідбивається (третій перевідбитий імпульс) і повертається до вхідного кінця лінії 11 та попадає на відкритий вхід підсилювача 4 радіоімпульсів. З появою наступного зондуючого імпульса від генератора 1 знову формуються другий відбитий та третій перевідбитий імпульси, які підсилюються розблокованим до моменту їх появи підсилювачем 4 радіоімпульсів.

Таким чином, за запропонованим способом періодична послідовність радіоімпульсів, що приймається підсилювачем 4 радіоімпульсів, складається з других відбитих від пошкодження, та третіх перевідбитих від того ж пошкодження радіоімпульсів. Перший відбитий радіоімпульс, що блокується, появляється на вході підсилювача 4 в момент часу  $t_1$ :

$$t_1 = t_0 + \tau, \quad (1)$$

де  $t_0$  - час появи зондуючого радіоімпульсу;

$\tau$  - затримка в лінії затримки 2 і в тракці передачі зондуючі радіоімпульсів.

Другий відбитий радіоімпульс появиться на вході вже відкритого підсилювача 4 в момент часу  $t_2$ :

$$t_2 = t_1 + 2\Delta t, \quad (2)$$

де  $\Delta t$  - час проходження радіоімпульсу по досліджуваній лінії 11 до місця пошкодження.

Третій перевідбитий радіоімпульс появиться на вході відкритого підсилювача 4 в момент часу  $t_3$ :

$$t_3 = t_2 + 2\Delta t. \quad (3)$$

Наступні перевідбиті радіоімпульси з меншими амплітудами будуть з'являтися через інтервали часу  $2\Delta t$ .

Поява на вході досліджуваної лінії 11 наступного зондуючого радіоімпульсу виникне в момент часу  $t_4$ :

$$t_4 = t_0 + 1/f_1, \quad (4)$$

де  $f_1$  - початкова частота послідовності зондуючих радіоімпульсів від генератора 1.

Перший відбитий радіоімпульс від наступного зондуючого імпульсу за аналогією з виразом (1) з'явиться в момент часу  $t_5$ :

$$t_5 = t_4 + \tau = t_0 + 1/f_1 + \tau. \quad (5)$$

Другий відбитий радіоімпульс з'явиться в момент часу  $t_6$ :

$$t_6 = t_5 + 2\Delta t = t_0 + 1/f_1 + \tau + 2\Delta t, \quad (6)$$

а третій перевідбитий радіоімпульс з'явиться в момент часу  $t_7$ :

$$t_7 = t_6 + 2\Delta t = t_0 + 1/f_1 + \tau + 4\Delta t. \quad (7)$$

В прийнятій послідовності відбитих радіоімпульсів часовий інтервал між ними різний. Так, часовий інтервал між другим відбитим і третім перевідбитим радіоімпульсами від одного зондуючого імпульсу

$$t_3 - t_2 = 2\Delta t. \quad (8)$$

Часовий інтервал між третім перевідбитим та наступним другим відбитим радіоімпульсами від наступного зондуючого імпульсу

$$t_6 - t_3 = 1/f_1 - 2\Delta t. \quad (9)$$

Порівнюють часові інтервали (8) та (9) між прийнятими імпульсами. Зміною частоти генератора 1 повторювання зондуючих імпульсів досягають рівності зазначених інтервалів. При досягненні рівності інтервалів (8) та (9) отримаємо

$$2\Delta = 1/f_2 - 2\Delta t, \quad (10)$$

де  $f_2$  - нове значення встановленої частоти повторення зондуючі імпульсів.

З виразу (10) слідує, що встановлене значення частоти дорівнює

$$f_2 = 1/4\Delta t. \quad (11)$$

Для встановлення рівності часових інтервалів (10) з відеоімпульсів, що отримані на виході амплітудного детектора 6, створюють за допомогою формул 7 короткі однополярні імпульси. Ці імпульси поступають на рахунковий вхід тригера 8, між прямим та інверсними виходами якого включений індикатор 9.

На прямому та інверсному виходах тригера 8 формуються прямокутні імпульси, що мають протилежну полярність. Довжина імпульсів однієї полярності визначається часовим інтервалом (8), а довжина імпульсів іншої полярності - часовим інтервалом (9). Індикатор 9 реагує на різницю дов-

жини інтервалів (8) та (9), які визначають тривалість сформованих прямокутних імпульсів на виході тригера 8. Нульове значення індикатора 9 відповідає рівнянню (11), якого досягають зміною частоти повторення зондуючих імпульсів, що формуються генератором 1.

З отриманого виразу (11) видно, що встановлена частота  $f_2$  повторення зондуючих імпульсів визначається тільки часом проходження радіоімпульсів від початку досліджуємої лінії до місця пошкодження і не залежить від часових затримок, як в ланцюгах формування зондуючих імпульсів так і в приймаючому каналі. При цьому зменшується кількість імпульсів, що підсилюються підсилювачем 4. Діло в тому, що момент  $t_3$  появи третього перевідбитого імпульсу починає співпадати з моментом  $t_5$  появи першого відбитого імпульсу від наступного зондуючого імпульса.

Порівнюючи вирази (3) та (5), отримаємо

$$t_5 - t_3 = 1/f_1 - 4\Delta t. \quad (12)$$

При нульовому значенні індикатора 9 значення частоти  $f_1$  фактично дорівнює новому встановленому значенню частоти  $f_2$ , тобто  $f_1 = f_2$ . З урахуванням формули (11) права частина виразу (12) перетворюється в нуль.

З цього витікає, що  $t_3 = t_5$ , що підтверджує дійсний збіг вказаних імпульсів.

Оскільки підсилювач 4 заблокований для перших відбитих імпульсів, то на його вихід також не проходять і треті перевідбиті імпульси. В результаті чого на вхід тригера 8 надходять тільки другі відбиті імпульси, які слідує рівномірно з встановленою частотою  $f_2$  повторення зондуючих імпульсів. При зміні довжини лінії до місця пошкодження збільшується або зменшується  $\Delta t$ , а відповідно порушується рівняння (11). На вихід підсилювача 4 починають проходити треті перевідбиті імпульси, а послідовність імпульсів стає нерівномірною і індикатор 9 відхиляється від нуля. Новому значенню часу проходження імпульсів до місця пошкодження

буде відповідати нове значення частоти  $f_3 > f_2$  повторення зондуючих імпульсів.

Частота повторення других відбитих імпульсів при відсутності третіх перевідбитих імпульсів співпадає з частотою надходження зондуючих імпульсів. Тому час проходження зондуючих імпульсів із співвідношення (11) можна визначити по формулі

$$\Delta t = 1/4f_0, \quad (13)$$

де  $f_0$  - частота надходження других відбитих імпульсів при нульовому значенні індикатора 9.

Частоту надходження других відбитих імпульсів вимірюють мікропроцесорним частотоміром 10, в пам'ять якого вводять значення швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль в вакуумі і значення коефіцієнта скорочення для досліджуемого типу лінії передачі, що визначає відношення швидкості електромагнітних хвиль у вакуумі до фактичного значення швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль у досліджуемій лінії конкретного типу. Оскільки коефіцієнт скорочення враховує уповільнення розповсюдження електромагнітних хвиль в лініях з різними типами ізоляції, то довжина лінії до місця пошкодження з врахуванням часу проходження зондуючих імпульсів (13) визначається формулою

$$\ell_x = \frac{c}{4kf_0},$$

де  $\ell_x$  - довжина лінії до місця пошкодження;

$k$  - коефіцієнт скорочення випробуваної лінії;

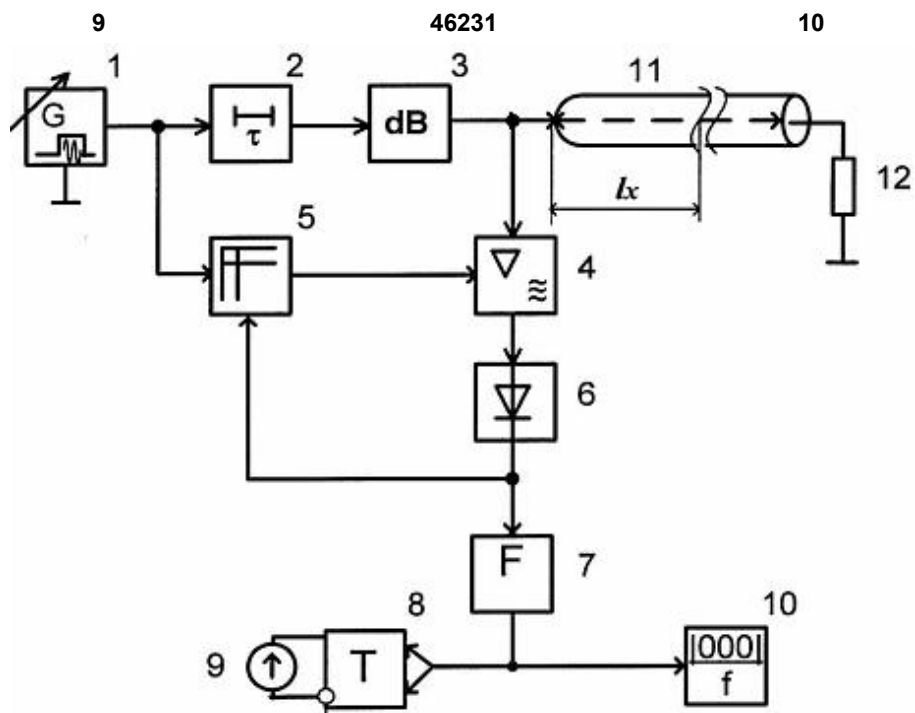
$c = 3 \cdot 10^8$  м/с - швидкість розповсюдження електромагнітних коливань у вакуумі;

$f_0$  - частота повторення других відбитих імпульсів від місця пошкодження лінії.

Так, якщо для повітряних ліній передачі коефіцієнт скорочення практично дорівнює одиниці, то для коаксіального кабелю РК-50 він складає 1,52, для кабелю типу СБ-1,84, а для кабелю П-270 він може досягати 3,0.

Мікропроцесорний частотомір у відповідності до формули (14) на своєму табло показує безпосередньо довжину лінії до місця пошкодження.

Необхідно відмітити, що вплив усіх наступних перевідбитих імпульсів в запропонованому способі придушується, оскільки вони впливають на підсилювач 4 в моменти часу, коли він заблокований напругою блока АРП 5. Поріг спрацьовування формувача імпульсів 7 обирають таким, щоб виключався вплив невеликих неоднорідностей, які завжди присутні в лініях передачі. За умов автоматичного регулювання коефіцієнта підсилення підсилювача 4 блоком 5 можливо визначення довжини електричних ліній передачі до місця пошкодження до 2500-3000м з відносною похибкою, яка не перевищує  $\pm 0,5\%$ . Частота коливань радіоімпульсів обирається в залежності від типу випробуємої лінії та знаходиться в межах від десятків кГц для телефонних кабелів і сотень МГц для коаксіальних кабелів.



Фиг.