



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34710 (13) A

(51) 6 G01R31/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

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

(21) 99052793

(22) 20 05 1999

(24) 15 03 2001

(46) 15 03 2001, Бюл. № 2, 2001 р.

(72) Скирта Михайло Андрійович, Кузнєцов
Олександр Юрійович, Скрипник Юрій Олексійович
(73) КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження оснований на розділенні випробувального сигналу на опорний і вимірювальний, який посиляють в ліній прийняття відбитого сигналу порівнянні фаз прийнятого вимірювального сигналу з опорним, змінюванні частоти випробувального сигналу і обчисленні довжини електричної лінії за формулою який відрізняється тим, що перед змінюванням частоти випробувального сигналу вимірюють різницю фаз α_1 прийнятого вимірювального сигналу з опорним

сигналом на початковій частоті f збільшують довжину електричної лінії на значення рівне 0,01-0,1 довжини хвилі випробувального сигналу вимірюють збільшене значення різниці фаз α_2 відновлюють початкову довжину електричної лінії змінювання частоти випробувального сигналу здійснюють зменшенням її до одержання симетричного значення різниці фаз α_3 відносно значення α_1 визначають зменшення частоти випробувального сигналу Δf а довжину електричної лінії обчислюють за формулою

$$l_k = \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{\alpha_2 - \alpha_1} \frac{l}{\Delta f},$$

де l_k - довжина досліджуваної електричної лінії передачі до місця пошкодження

Δl - довжина відрізка, на яку збільшують довжину досліджуваної електричної лінії передачі

Винахід належить до електровимірювальної техніки і може бути використаний для визначення довжини електричних ліній передачі до місця пошкодження або виникнення асиметрії чи неоднорідності за фазою відбитого випробувального сигналу

Поширення сигналів і електромагнітної енергії по довгих електричних лініях передачі має хвильовий характер. На межі поділу двох середовищ виникає перепомплення та відбиття електромагнітної хвилі. Аналогічні явища проявляються також в місцях пошкодження жили порушення ізоляції замикань, виткань і т.п. Тому довжину електричної лінії передачі до місця виникнення дефекту часто визначають за часом проходження відбитої хвилі до початку електричної лінії

Серед способів визначення часу проходження гармонічних сигналів найбільш точним є фазовий, оснований на вимірюванні фазового зсуву відбитого сигналу відносно входного сигналу (див. Камен Х. Электронные способы измерений в геодезии. Пер с нем М. Недра 1982, с.92-93). Фазовий спосіб забезпечує високу точність визначення відстаней завдяки можливості вимірювання со-

тих і навіть тисячних часток довжини хвилі, збудженої в досліджуваній електричній лінії. При цьому чим вища частота випробувального сигналу тим коротша довжина хвилі і тим більша роздільна здатність фазового способу

Проте фазовий спосіб має і такий недолік як неоднозначність результатів фазових вимірювань, якщо довжина електричної лінії набагато більша довжини електромагнітної хвилі існуючі фазометри можуть вимірювати фазові зсуви тільки в межах 0-360°, тобто в межах одного фазового циклу (2 π). Тому відомі фазові способи визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження включають операції по усуненню фазової неоднозначності вимірювань

Відомий спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження (див. Маевский С.М., Батуревич Е.К., Баженов В.Г., Грохольский Е.В. Прецизионное измерение электрической длины кабельных линий связи. Фазовые методы измерений в радиотехнике. Тр. РИАН СССР, 1977, № 27, с.110-114), оснований на розділенні випробувального сигналу на вимірювальний і опорний, безперервному змінюванні частоти цих

(19) UA (11) 34710 (13) A

сигналів від певного нижнього значення, яке визначається з умови однозначності вимірювання максимального фазового зсуву досліджуваної лінії передачі, до значення високої робочої частоти, на якій вимірюють дробову частину останнього фазового циклу, при цьому ціле число фазових циклів визначають шляхом безперервного рахування нульових значень різниці фаз вимірювального і опорного сигналів в процесі безперервного змінування їх частоти, а шукану довжину визначають з виразу:

$$l_x = \frac{\left[\frac{\varphi_n \omega_n}{\omega_n} \right] + \varphi_n}{2\omega_n} v,$$

де l_x - довжина електричної лінії передачі до місця пошкодження;

φ_n - фазовий зсув на низькій частоті ω_n ;

φ_n - фазовий зсув на високій частоті ω_n ;

v - швидкість поширення електромагнітної хвилі по електричній лінії передачі;

$$\frac{\varphi_n \omega_n}{\omega_n} = [A]^* - \text{ціла частина числа } A.$$

Недоліком способу є необхідність знання орієнтовного значення цілого числа циклів, а отже приблизне значення довжини електричної лінії передачі l_x до місця пошкодження для вибору низької частоти ω_n та можливість появи неоднозначності вимірювання при великих відношеннях частот ω_n/ω_n .

Відомий спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження (див. Верник С.П., Кушнір Ф.В., Рудницький В.Б. Повышение точности измерений в технике связи. - М.: Радио и связь, 1981, с.149-150), оснований на модуляції високочастотного випробувального сигналу гармонічним сигналом низької частоти, вимірюванні фазового зсуву обвідної модулюючої частоти після проходження модульованих коливань по лінії передачі до місця пошкодження і назад та визначення довжини електричної лінії передачі з співвідношення

$$l_x = \frac{\varphi_n v}{2\omega_n},$$

де l_x - довжина електричної лінії передачі до місця пошкодження;

φ_n - фазовий зсув обвідної модулюючої частоти ω_n ;

v - швидкість поширення електромагнітної хвилі по лінії передачі.

Недоліком модуляційного способу є невисока точність вимірювання довжини через неоднозначність фазових вимірювань, якщо довжина електричної лінії передачі перевищує довжину електромагнітної хвилі обвідної модульованого сигналу

$$l_x > \frac{v}{f_m},$$

де f_m - частота низькочастотної модуляції.

Так як заздалегідь знати довжину електричної лінії передачі до місця пошкодження неможли-

во, то завжди можливо виникнення невизначеності в результатах фазових вимірювань. Якщо низьку частоту модуляції вибрати за умовою

$$f_m < \frac{v}{l_{\max}},$$

то точність вимірювання довжини електричних ліній передачі буде невисокою через малі значення фазових зсувів обвідної модулюючої частоти, які будуть одного порядку з фазовими похибками фазовимірювальної апаратури.

Відомий також спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження (див. Кушнір Ф.В., Савенко В.Г., Верник С.М. Измерения в технике связи. Под редакцией Ф.В. Кушніра - М.: Изд-во «Связь», 1970, с.457-459), оснований на розділенні випробувального сигналу на опорний і вимірювальний, який посилюють в лінії, прийнятті відбитого сигналу, порівнянні фаз прийнятого вимірювального сигналу з опорним, змінюванні частоти випробувального сигналу і обчисленні довжини електричної лінії за формулою. Відомий спосіб включає також змінювання частоти випробувального сигналу до одержання першого і наступного збігу фаз порівнюємих сигналів, вимірюванні першого f_1 і другого f_2 значень частоти, а обчислення довжини лінії здійснюється за формулою:

$$l_x = \frac{v}{f_2 - f_1},$$

де l_x - довжина електричної лінії передачі до місця пошкодження (неоднорідності);

v - швидкість поширення електромагнітної хвилі по електричній лінії передачі.

Відомий спосіб виключає можливість виникнення неоднозначностей в результатах фазових вимірювань і має високу чутливість, так як порівняння фаз здійснюється безпосередньо на високій частоті випробувального сигналу. Як видно з розрахункової формули результат визначення довжини електричної лінії передачі залежить від швидкості поширення електромагнітної хвилі, яка має різні значення в залежності від типу електричної лінії передачі. Крім того, швидкість поширення електромагнітної хвилі, навіть в однотипних електричних лініях передачі значно розрізняється в залежності від стану ізоляції, температури, механічних напруг тощо.

Проте необхідність змінювання випробувального сигналу в широкому діапазоні частот від f_1 до f_2 приводить до появи додаткових похибок при визначенні довжини електричної лінії передачі через немінучі фазочастотні похибки фазовимірювальної апаратури та частотної дисперсії швидкості поширення електромагнітної хвилі по досліджуваній лінії. Тому цей спосіб не забезпечує високу точність визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження.

Задачею винаходу є створення такого способу визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження, в якому введення нових операцій із зміною електричної лінії передачі і одержанням додаткових результатів вимірю-

вання фазового зсуву в межах одного фазового циклу дозволило б виключити вплив непостійності швидкості поширення електромагнітної хвилі та змін частоти і отже підвищити точність визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження, основаному на розділенні випробувального сигналу на опорний і вимірювальний, який посилюють в лінію, прийняті відбитого сигналу, порівнянні фаз прийнятого вимірювального сигналу з опорним, змінюванні частоти випробувального сигналу і обчислення довжини електричної лінії за формулою, згідно винаходу перед змінюванням частоти випробувального сигналу вимірюють різницю фаз α_1 прийнятого вимірювального сигналу з опорним сигналом на початковій частоті f , збільшують довжину електричної лінії на значення, рівне $0,01 - 0,1$ довжини хвилі випробувального сигналу, вимірюють збільшене значення різниці фаз α_2 , відновлюють початкову довжину електричної лінії, змінювання частоти випробувального сигналу здійснюють зменшенням її до одержання симетричного значення різниці фаз α_3 відносно значення α_1 , визначають зменшення частоти випробувального сигналу Δf , а довжину електричної лінії обчислюють за формулою

$$l_x = \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{\alpha_2 - \alpha_1} \frac{f}{\Delta f} \Delta l,$$

де l_x - довжина досліджуваної електричної лінії передачі до місця пошкодження;

Δl - довжина відрізка, на яку збільшують довжину досліджуваної електричної лінії передачі.

Саме збільшення довжини електричної лінії передачі на задане значення і одержання другого відліку різниці фаз між відбитим вимірювальним сигналом і опорним сигналом, вибір довжини відрізка електричної лінії, рівної $0,01 - 0,1$ від довжини хвилі випробувального сигналу, одержання третього, симетричного першому відліку, значення різниці фаз між тими ж сигналами шляхом зменшення частоти випробувального сигналу, обчислення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження за запропонованою формулою виключає вплив непостійності швидкості поширення електромагнітної хвилі по електричній лінії передачі, похибок вимірювання різниці фаз та змін частоти на результат обчислень, що підвищує точність визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження.

На рисунку зображена функціональна схема пристрою, з допомогою якого здійснюється спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження, наприклад, в коаксіальній кабельній лінії передачі.

Пристрій містить генератор 1 регульованої частоти, частотомір 2, блок 3 розділення падаючої і відбитої електромагнітної хвилі, відрізок 4 досліджуваної коаксіальної кабельної лінії передачі, досліджувана коаксіальна кабельна лінія передачі 5, кінцеве узгоджене навантаження 6, неузгоджене навантаження 7, ключі 8 і 9, електронний

фазометр 10, регульований атенюатор 11 і диференційний вольтметр 12.

Вихід генератора регульованої частоти 1 з'єднаний з входом частотоміра 2, входом блока 3 розділення падаючої та відбитої електромагнітної хвилі і входом регульованого атенюатора 11. До першого виходу блока 3 підключені послідовно відрізок коаксіальної кабельної лінії 4 та досліджувана коаксіальна кабельна лінія 5 з узгодженим навантаженням 6 на кінці. Ключ 9 шунтує відрізок 4 досліджуваної коаксіальної кабельної лінії передачі 5, а ключ 8 разом з неузгодженим навантаженням 7 створюють штучну неоднорідність на кінці відрізка 4. До виходу атенюатора 11 підключений першим входом електронний фазометр 10, другий вхід якого з'єднаний з другим виходом блока 3 розділення падаючої і відбитої електромагнітної хвилі. Паралельно входом фазометра 10 включений диференційний вольтметр 12.

Спосіб визначення довжини електричної лінії передачі до місця пошкодження здійснюється таким чином.

Частоту генератора 1 вибирають на основі потрібної точності визначення довжини лінії передачі до місця пошкодження і чутливості вибраного фазометра. Випробувальний сигнал генератора 1 з частотою f розділяють на опорний і вимірювальний, останній із яких посилюють через блок 3 розділення падаючої і відбитої електромагнітної хвилі, наприклад, направлений відгалужувач або циркулятор, в досліджувану електричну лінію передачі 4 і 5. Під впливом вимірювального сигналу по досліджуваній електричній лінії передачі поширюється електромагнітна хвиля довжиною

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (1)$$

де v - швидкість поширення електромагнітної хвилі по електричній лінії передачі. При справній лінії електромагнітна хвиля поглинається на узгодженому навантаженні 6, опір якого рівний хвильовому опору лінії передачі. Відрізок Δl електричної лінії передачі вибирається однотипним з досліджуваною лінією, довжина якого знаходиться в межах $\Delta l = (0,01 - 0,1)\lambda$. Електрична довжина відрізка контролюється електронним фазометром 10 при замкненому ключі 8 і розімкненому ключі 9.

Спочатку замикають ключ 9 і розмикають ключ 8, що забезпечує відключення відрізка 4 від досліджуваної лінії передачі 5. При наявності пошкодження або неоднорідності в досліджуваній електричній лінії передачі на відстані l_x від її входу виникає відбита електромагнітна хвиля, яка через блок 3 розділення падаючої і відбитої електромагнітної хвилі надходить на другий вхід фазометра 10. На перший вхід цього фазометра поступав опорний сигнал від генератора 1 через атенюатор 11, ослаблення якого установлюють на рівні затухання внесеного досліджуваною електричною лінією, що фіксується по нульовому показу диференційного вольтметра 12.

Повний фазовий зсув, який вноситься у відбиту електромагнітну хвилю, пропорціональний невідомому значенню довжини електричної лінії передачі l_x до місця пошкодження і може бути показаний у вигляді

$$\Phi = 2\pi f \frac{2l_x}{v} = 2\pi(n + p_1), \quad (2)$$

де n - ціле число повних фазових циклів в 2π ;

p_1 - дробова частина останнього фазового циклу.

Електронним фазометром 10 вимірюють фазу відбитого від місця пошкодження або неоднорідності електромагнітної хвилі. Показ електронного фазометра 10 пропорційний дробовій частині фазового циклу повного фазового зсуву (2)

$$\alpha_1 = S(1 + \gamma_1)2\pi p_1 + \delta_1 = S(1 + \gamma_1)(\Phi - 2\pi n) + \delta_1 = \\ = S(1 + \gamma_1)2\pi \left(f \frac{2l_x}{v} - n \right) + \delta_1, \quad (3)$$

де S - чутливість електронного фазометра;

$\gamma_1 = \Delta S_1/S$ - відносна похибка чутливості фазометра,

δ_1 - абсолютна похибка нуля фазометра (дрейф нуля).

Похибки електронного фазометра γ і δ обумовлені впливом нестабільності параметрів вимірювальної схеми і частоти на нахил та зміщення градуїровочної характеристики в процесі його експлуатації.

Регструють показ α_1 електронного фазометра 10 і значення частоти f з допомогою частотомира 2.

Потім розмикають ключ 9 і збільшують довжину електричної лінії передачі до місця пошкодження або неоднорідності на значення Δl . Фазовий зсув, який вноситься коротким відрізком 4, вибирають набагато меншим половини повного фазового циклу (2 π)

$$\Delta\Phi_1 < 2\pi \frac{2\Delta l}{v} < \pi, \quad (4)$$

звідки довжина відрізка

$$\frac{\Delta\Phi_1 v}{4\pi} < \Delta l < \frac{v}{4f}. \quad (5)$$

Тому показ електронного фазометра 10 збільшується в межах того ж фазового циклу до значення

$$\alpha_2 = S(1 + \gamma_2)2\pi p_2 + \delta_2 = S(1 + \gamma_2)2\pi \left[f \frac{2(l_x + \Delta l)}{v} - n \right] + \\ + \delta_2, \quad (6)$$

де p_2 - друге значення дробової частини останнього фазового циклу;

γ_2 і δ_2 - похибки вимірювання другого значення різниці фаз.

Регструють показ $\alpha_2 > \alpha_1$ електронного фазометра 10. Далі замикають ключ 9 і зменшенням частоти генератора 1 добиваються симетричного показу α_3 електронного фазометра 10 відносно початкового показу α_1 ($\alpha_3 < \alpha_1$). З урахуванням зменшення частоти випробувального сигналу одержуємо

$$\alpha_3 = S(1 + \gamma_3)2\pi p_3 + \delta_3 = S(1 + \gamma_3)2\pi \left[(f - \Delta f) \frac{2l_x}{v} - n \right] + \\ + \delta_3, \quad (7)$$

де p_3 - третє значення дробової частини останнього фазового циклу;

γ_3 і δ_3 - похибки вимірювання третього значення різниці фаз,

Δf - значення зменшення частоти випробувального сигналу.

Регструють показ α_3 фазометра 10 і визначають значення зменшення частоти

$$\Delta f = f - f', \quad (8)$$

де f - значення початкової частоти випробувального сигналу,

f' - нове значення частоти випробувального сигналу.

Різниця показів електронного фазометра 10 $\alpha_2 - \alpha_1$ і $\alpha_1 - \alpha_3$ малі і визначаються довжиною відрізка 4 досліджуваної лінії передачі, яку вибирають за умовою (5). Для контролю довжини Δl відрізка 4 розмикають ключ 9 і замикають ключ 8. В результаті штучно створеної неоднорідності в точці з'єднання відрізка кабелю 4 і кабельної лінії передачі 5 за рахунок неузгодженого навантаження 7 фазометром 10 вимірюють фазовий зсув, який безпосередньо вносить відрізок електричної лінії 4 на початковій частоті випробувального сигналу f . При необхідності електричну довжину відрізка 4 коректують підстроюванням початкової частоти f до одержання фазового зсуву, який перевищує адитивну складову похибки δ (поріг чутливості) електронного фазометра в 5-10 раз, але менше значення π з умови (4), що забезпечує стабільність фазових вимірювань.

При одержанні порогових змін показів електронного фазометра відносно початкового показу α_1 маємо

$$\alpha_2 - \alpha_1 \ll \alpha_1, \quad (9)$$

$$\alpha_1 - \alpha_3 \ll \alpha_1.$$

Тоді можна прийняти, що похибки вимірювання близьких значень різниці фаз приблизно однакові

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma, \quad (10)$$

$$\delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta.$$

З урахуванням співвідношень (9) і (10) перша різниця показів фазометра

$$\alpha_2 - \alpha_1 = S(1 + \gamma)2\pi \frac{2\Delta l}{v}, \quad (11)$$

а друга

$$\alpha_1 - \alpha_3 = S(1 + \gamma)2\pi \Delta f \frac{2l_x}{v}. \quad (12)$$

Визначають відношення різниць показів електронного фазометра (12) і (11)

$$\frac{\alpha_1 - \alpha_3}{\alpha_2 - \alpha_1} = \frac{\Delta l_x}{f \Delta l} \quad (13)$$

Із рівняння (13) визначають довжину досліджуваної електричної лінії передачі

$$l_x = \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{\alpha_2 - \alpha_1} \frac{f}{\Delta f} \Delta l. \quad (14)$$

Із одержаної розрахункової формули (14) випливає, що результат вимірювання не залежить від поточного значення швидкості v поширення електромагнітної хвилі в досліджуваній лінії передачі.

Зменшення діапазону перестроювання частоти випробувального сигналу в порівнянні з відомим способом можна визначити із порівняння різницевої частоти, необхідних для реалізації пропонуємого способу і способу-прототипу. Так при визначенні однієї і тієї ж довжини електричної лінії передачі l_x з допомогою способу-прототипу

$$\Delta f_1 = \frac{v}{l_x}, \quad (15)$$

а з допомогою пропонуємого способу із співвідношення (14) маємо

$$\Delta f_2 = \frac{\alpha_1 - \alpha_3}{\alpha_2 - \alpha_1} \frac{f}{l_x} \Delta l. \quad (16)$$

Так як симетричні покази фазометра приблизно однакові, можна уважати $\alpha_1 - \alpha_3 = \alpha_2 - \alpha_1$. Тоді

$$\Delta f_2 = f \frac{\Delta l}{l_x}. \quad (17)$$

Стиснення діапазону перестроювання частоти випробувального сигналу визначається відношенням різницевої частот

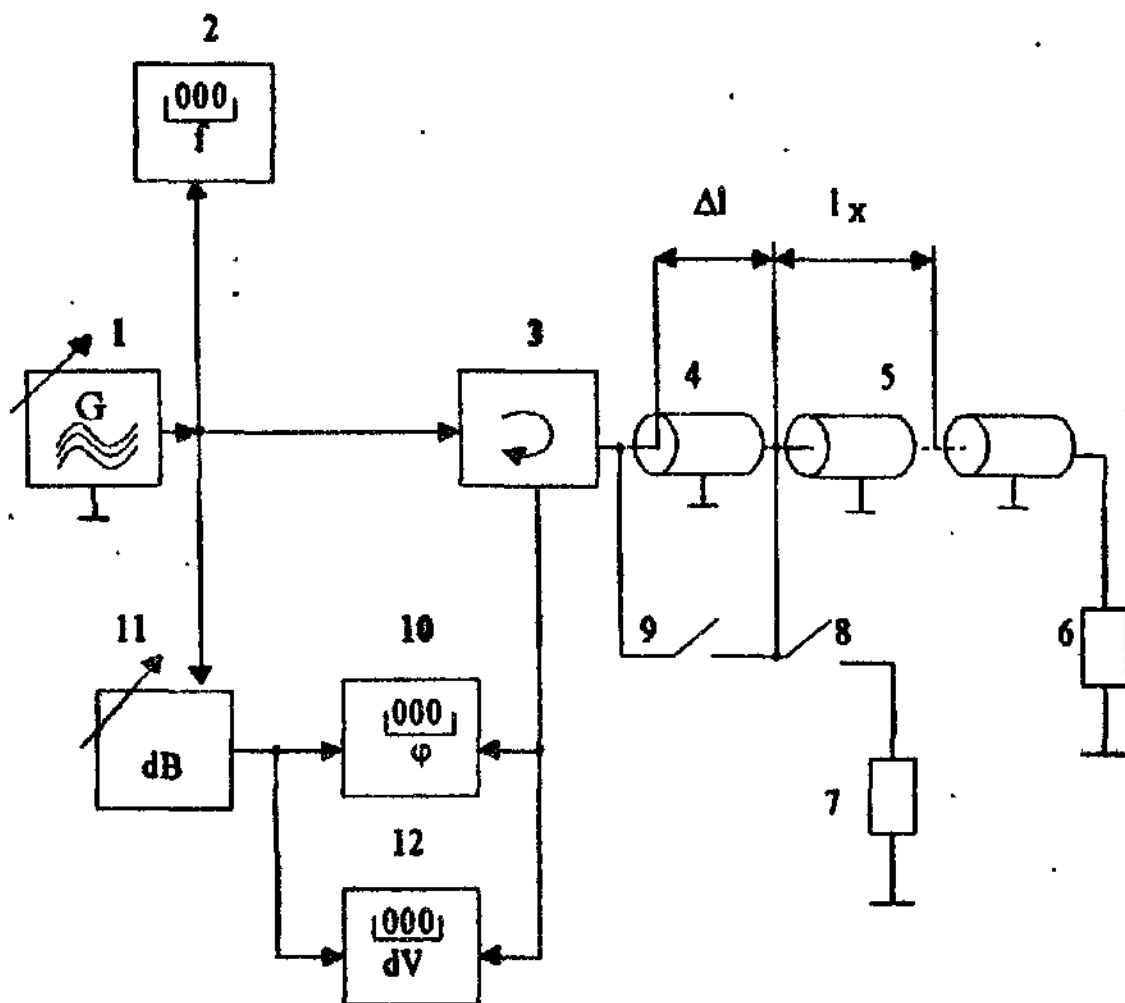
$$\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = \frac{v}{f \Delta l}. \quad (18)$$

Якщо вибрати довжину відрізка 4 досліджуваної електричної лінії передачі за умовою $\Delta l = 0,01\lambda = 0,01v/f$, що відповідає співвідношенням (5) і (8), то відношення (18) набуває значення

$$\frac{\Delta f_1}{\Delta f_2} = 100. \quad (19)$$

Таким чином, вибором достатньо короткого відрізка досліджуваної електричної лінії передачі за умовою (5) можна в десятки і сотні раз зменшити діапазон перестроювання частоти випробувального сигналу. Це дозволяє звести до мінімуму фазочастотні похибки електронного фазометра і практично виключити вплив частотної дисперсії швидкості поширення електромагнітної хвилі при виявленні дефектів в електричних лініях передачі.

Використання способу, який пропонується, дозволяє визначити відстань до виникнувшого пошкодження або неоднорідності в різних електричних лініях передачі з високою точністю без попереднього визначення конкретного значення швидкості поширення електромагнітних хвиль. При цьому похибки використовуємого фазометра не впливають на точність визначення довжини до місця пошкодження електричної лінії передачі, що дає можливість працювати на високих і надвисоких частотах, де похибки фазометрів великі.



Тираж 50 екз

Відкрите акціонерне товариство «Патент»

Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101

(03122) 3 - 72 - 89 (03122) 2 - 57 - 03