



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42511 (13) A

(51) 7 G01R31/08

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ ДО МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧ

(21) 2001031893

(22) 21 03 2001

(24) 15 10 2001

(33) UA

(46) 15 10 2001, Бюл. № 9, 2001 р

(72) Скрипник Юрій Олексійович, Кузнецов Олександр Юрійович

(73) КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ, UA

(57) Пристрій для визначення відстані до місця пошкодження електричних ліній передач, що містить генератор регульованої високої частоти, генератор низької фіксованої частоти, блок розподілу падаючого і відбитого сигналів, до другого виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач-обмежувач високої частоти і сигнальним входом фазовий детектор, опорний вхід якого з'єднаний з входом блока розподілу падаючого і відбитого сигналів, фільтр нижніх і фільтр верхніх частот, входами підключені до виходу фазового детектора, вихід фільтра нижніх частот через підсилювач постійної напруги з'єднаний із входом першого електричного інтегратора, вихід якого підключений до керуючого входу генератора регульованої високої частоти, вихід фільтра верхніх частот через підсилювач змінної напруги і фазочутливий випрямляч з'єднаний із входом другого електричного інтегратора, два автоматичних перемикачі, один з яких входом підключений до першого виходу блока розподілу падаючого і відбитого сигналів, електронно-рахунковий частото-

мір, одним із входів підключений до виходу генератора регульованої високої частоти, який відрізняється тим, що в нього введені широкосмуговий квадратурний фазорозщеплювач високої частоти, входом підключений до виходу генератора регульованої високої частоти, два балансових модуляторів, сигнальні входи яких з'єднані з виходами широкосмугового квадратурного фазорозщеплювача високої частоти, суматор, входи якого з'єднані з виходами балансових модуляторів, вихід суматора з'єднаний з входом блока розподілу падаючого і відбитого сигналів, генератор низької регульованої частоти, широкосмуговий квадратурний фазорозщеплювач низької частоти, входом з'єднаний з виходом генератора низької регульованої частоти, третій автоматичний перемикач, входи якого з'єднані з протилежними входами другого автоматичного перемикача і з'єднані з виходами широкосмугового квадратурного фазорозщеплювача низької частоти, виходи другого і третього автоматичних перемикачів з'єднані з керуючими входами першого і другого балансових модуляторів відповідно, вихід другого електричного інтегратора з'єднаний з керуючим входом генератора низької регульованої частоти, керуючі входи автоматичних перемикачів і фазочутливого випрямляча з'єднані між собою паралельно і підключені до генератора низької фіксованої частоти, а другий вхід електронно-рахункового частотомиру підключений до виходу генератора низької регульованої частоти

Винахід відноситься до радіовимірювальної техніки і може бути використаний для визначення відстані до місця пошкодження ліній передач по фазі відбитого випробувального сигналу від місця пошкодження чи дефекту

Відстань до місця пошкодження (обриви, замикання) чи дефекту (порушення ізоляції, витік, неоднорідність тощо) найбільш точно визначається по фазі відбитого випробувального сигналу, який вводиться в досліджувану лінію передачі (див. Маевський С.М., Батуревич Е.К., Баженів В.Г., Грохольський Е.В. Прецизионное измерение длины кабельных линий связи. Фазовые изме-

рения в радиотехнике // М. Тр. РИ АН СССР - 1977 - № 27 - С. 110-114)

Фаза відбитого сигналу вимірюється за допомогою електронного фазометра з чутливістю 0,1-0,01°, що дозволяє, в принципі, вимірювати відстань з похибкою не більш десятих часток електричної довжини хвилі випробувального сигналу. Однак існуючі фазометри можуть вимірювати фазові зсуви тільки в межах 0-360°, тобто електричну довжину однієї хвилі, виражену в градусах чи радіанах. Тому при відстані до дефекту, більшому ніж довжина хвилі виникає фазова неоднозначність результатів виміру, що викликає великі похибки у визначенні відстані. Збільшення довжини

(19) UA (11) 42511 (13) A

хвилі випробувального сигналу, тобто зниження його частоти, викликає труднощі в розподілі відбитої та падаючої хвилі і зменшує чутливість фазових вимірів

Відомий пристрій для визначення відстані до місця пошкодження електричних ліній передач (див. Маевский С.М., Баженов В.Г., Батуревич Е.К., Куц В.В. Применение методов фазометрии для прецензионного измерения расстояний - К. Вища школа. Изд-во при Киев. ун-те, 1983 - С. 54-56), що містить генератор регульованої частоти, керуючий вхід якого з'єднаний з генератором пилкоподібної напруги, фазовимірювальний блок, один вхід якого з'єднаний через контрольовану лінію передачі з виходом генератора регульованої частоти, який безпосередньо з'єднаний із другим входом фазовимірювального блока, блок рахунку числа фазових циклів, блок керування і блок індикації, один вхід якого з'єднаний з виходом фазовимірювального блока, другий вхід з'єднаний з виходом блока рахунку числа фазових циклів, входи якого підключені до виходів фазовимірювального блока, а виходи блока керування з'єднані з керуючими входами генератора пилкоподібної напруги, блока рахування числа фазових циклів і блока індикації

У цьому пристрої здійснюється лінійна зміна частоти випробувального сигналу в межах від заданої низької частоти ω_n до високої частоти ω_b . У процесі повільної зміни частоти вимірюється ціле число фазових циклів у 360° , яке фіксується в розрахунковому блоці. Фазовимірювальним блоком фіксується дробова частина останнього фазового циклу, менша 360° . При цьому відстань ℓ_x до місця чи дефекту пошкодження визначається по формулі

$$\ell_x = \frac{\left[\Phi_n \frac{\omega_b}{\omega_n} \right]^+ + \Phi_b}{2\omega_b} v,$$

де

Φ_n - фазовий зсув на низькій частоті ω_n ,

Φ_b - фазовий зсув на високій частоті ω_b ,

$\left[\Phi_n \frac{\omega_b}{\omega_n} \right]^+$ - ціле число фазових циклів у 2π ,

v - швидкість поширення випробувального сигналу уздовж лінії передачі

Через процеси старіння ізоляції, виникнення механічних напруг, коливань температури, змін вологості і т.п. швидкість поширення v не залишається постійною, що призводить до великих похибок виміру відстані ℓ_x . Крім того, при відсутності будь-якої інформації про місце пошкодження лінії важко здійснити вибір частот ω_n і ω_b , що може призвести до появи фазової неоднозначності вимірів, особливо при великих відносинах частот ω_b/ω_n .

Відомий також пристрій для визначення відстані до місця пошкодження електричних ліній передач (див. Скрипник Ю.О., Скирута М.А., Кузнецов О.Ю. Пристрій для визначення місця пошкодження електричних ліній передач. Рішення від 15.04.2000 про видачу патенту України за заявкою № 99/126954 від 20.12.1999), що містить генератор

регульованої високої частоти, генератор низької фіксованої частоти, блок розподілу падаючого та відбитого сигналів, до другого виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач-обмежувач високої частоти і - сигнальним входом - фазовий детектор, опорний вхід якого з'єднаний із входом блоку розподілу сигналів, фільтр нижніх і фільтр верхніх частот, входами підключені до виходу фазового детектора, вихід фільтра нижніх частот через підсилювач постійної напруги з'єднаний із входом електричного інтегратора, вихід якого підключений до керуючого входу генератора регульованої високої частоти, вихід фільтра верхніх частот через підсилювач перемінної напруги і фазочутливий випрямляч з'єднаний з входом другого електричного інтегратора, два автоматичних перемикачі, один з яких входом підключений до першого виходу блоку розподілу сигналів, вихід автоматичного перемикача з'єднаний з входом відрізка випробуваної лінії і входом самої лінії передачі, що працює на погоджене навантаження, і електронно-рахунковий частотомір, одним із входів підключений до виходу генератора регульованої високої частоти. Крім того, відомий пристрій містить другий генератор регульованої високої частоти, балансовий змішувач, входи якого з'єднані з виходами першого і другого генераторів регульованої високої частоти, і фільтр нижніх частот, підключений до виходу балансового змішувача. При цьому електронно-рахунковий частотомір одним із входів підключений до виходу фільтра нижніх частот балансового змішувача.

Підключення відрізка випробуваної лінії до вихідного автоматичного перемикача пристрою дозволяє визначити відстань до дефекту лінії незалежно від значення швидкості поширення випробувального сигналу уздовж досліджуваної лінії. Результат виміру ℓ_x визначається тільки двома значеннями частот (f_1 і f_2) випробувального сигналу і довжиною відрізка контрольованої лінії ($\Delta\ell$).

У випадку визначення дефекту на протяжних лініях частота другого генератора f_2 прагне до частоти першого генератора, тому що згідно з формулою

$$\ell_x = \frac{f_2}{f_1 - f_2} \Delta\ell$$

Якщо дефект виникає наприкінці лінії, а відстань ℓ_x набагато більше відрізка лінії ($\Delta\ell(\ell_x \gg \Delta\ell)$), то різниця частот $(f_1 - f_2) \rightarrow 0$. Практично це означає синхронізацію двох високочастотних генераторів близьких частот, і вимір стає неможливим. Навіть якщо не настає синхронізація двох генераторів, то різниця частот $f_1 - f_2$ стає невизначеною через флуктуацію частот f_1 і f_2 двох незалежних генераторів. У результаті цього точність виміру великих відстаней до дефекту лінії різко знижується.

Задачею винаходу є створення такого пристрою для визначення місця пошкодження електричних ліній передач, у якому введення нових елементів і електричних зв'язків забезпечило б можливість виміру великих відстаней до місця пошкодження лінії передачі з високою точністю.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для визначення відстані до місця пошкодження ліній передач, що містить генератор регульованої високої частоти, генератор низької фіксованої частоти, блок розподілу падаючого і відбитого сигналів, до другого виходу якого підключені послідовно з'єднані підсилювач-обмежувач високої частоти і - сигнальним входом - фазовий детектор, опорний вхід якого з'єднаний з входом блоку розподілу падаючого і відбитого сигналів, фільтр нижніх і фільтр верхніх частот, входами підключені до виходу фазового детектора, вихід фільтра нижніх частот через підсилювач постійної напруги з'єднаний із входом першого електричного інтегратора, вихід якого підключений до керуючого входу генератора регульованої високої частоти, вихід фільтра верхніх частот через підсилювач змінної напруги і фазочутливий випрямляч з'єднаний із входом другого електричного інтегратора, два автоматичних перемикачі, один з яких входом підключений до першого виходу блоку розподілу падаючого і відбитого сигналів, електронно-рахунковий частотомір, одним із входів підключений до виходу генератора регульованої високої частоти, що відрізняється тим, що в нього введені широкопasmовий квадратурний фазорозщеплювач високої частоти, входом підключений до виходу генератора регульованої високої частоти, два балансових модуляторів, сигнальні входи яких з'єднані з виходами широкопasmового квадратурного фазорозщеплювача високої частоти, суматор, входи якого з'єднані з виходами балансових модуляторів, вихід суматора з'єднаний з входом блоку розподілу падаючого і відбитого сигналів, генератор низької регульованої частоти, широкопasmовий квадратурний фазорозщеплювач низької частоти, входом з'єднаний з виходом генератора низької регульованої частоти, третій автоматичний перемикач, входи якого з'єднані з протилежними входами другого автоматичного перемикача і з'єднані з виходами широкопasmового квадратурного фазорозщеплювача низької частоти, виходи другого і третього автоматичних перемикачів з'єднані з керуючими входами першого і другого балансних модуляторів, відповідно, вихід другого електричного інтегратора з'єднаний з керуючим входом генератора низької регульованої частоти, керуючі входи автоматичних перемикачів і фазочутливого випрямляча з'єднані між собою паралельно і підключені до генератора низької фіксованої частоти, а другий вхід електронно-рахункового частотоміра підключений до виходу генератора низької регульованої частоти.

Саме введення в схему відомого пристрою широкопasmового квадратурного фазорозщеплювача високої частоти, двох балансних модуляторів, суматора, генератора низької регульованої частоти, широкопasmового квадратурного фазорозщеплювача низької частоти і третього автоматичного перемикача, з'єднаних зазначеним чином, дозволило сформувати послідовно в часі два іспитових сигнали високої частоти, зміщених за частотою один відносно одного сигналом низької частоти в протилежні сторони, що дозволило зондувати випробувальну лінію передачі сигналами двох близьких частот із заданою стабільною різницевою частотою, що автоматично встановлюється в залежності від розташування дефекту на протяжних

лініях передачі незалежно від швидкості поширення випробувальних сигналів і стабільності частоти високочастотного генератора, що забезпечує можливість виміру великих відстаней до місця пошкодження лінії передачі з високою точністю.

На кресленні (фіг.) зображена функціональна схема пристрою для визначення відстані до місця пошкодження електричних ліній передач.

Пристрій містить генератор 1 регульованої високої частоти, широкопasmовий квадратурний фазорозщеплювач 2 високої частоти, балансні модулятори 3 і 4, суматор 5, блок розподілу 6 падаючого і відбитого сигналів, перший автоматичний перемикач 7, підсилювач-обмежувач 8 високої частоти, фазовий детектор 9, фільтр 10 нижніх частот, фільтр 11 верхніх частот, підсилювач 12 постійної напруги, підсилювач 13 перемінної напруги, фазочутливий випрямляч 14, перший електричний інтегратор 15, другий електричний інтегратор 16, генератор 17 регульованої низької частоти, генератор 18 фіксованої низької частоти, широкопasmовий квадратурний фазорозщеплювач 19 низької частоти, другий автоматичний перемикач 20, третій автоматичний перемикач 21 і електронно-рахунковий частотомір 22.

Позицією 23 на кресленні (фіг.) позначений відрізок випробуваної лінії передачі, а позицією 24 - сама випробувана лінія. Позицією 25 позначене погоджене навантаження на кінці випробуваної лінії.

До виходу генератора 1 регульованої високої частоти підключений широкопasmовий квадратурний фазорозщеплювач 2 високої частоти, до виходів якого підключені сигнальним входом балансових модуляторів 3 і 4, виходами з'єднані з входом суматора 5. Блок розподілу 6 падаючого і відбитого сигналів входом підключений до виходу суматора 5. Вихід блоку розподілу 6 з'єднаний із входом першого автоматичного перемикача 7, другим виходом з'єднаний через підсилювач-обмежувач 8 високої частоти із сигнальним входом фазового детектора 9, опорний вхід якого з'єднаний із входом блоку розподілу 6. До виходу фазового детектора 9 підключені входи фільтра 10 нижніх частот і фільтра 11 верхніх частот. Вихід фільтра 10 через підсилювач постійної напруги 12 з'єднаний із входом першого електричного інтегратора 15, виходом з'єднаний з керуючим входом генератора 1. Вихід фільтра 11 через підсилювач 13 перемінної напруги, фазочутливий випрямляч 14 з'єднаний із входом другого електричного інтегратора 16, виходом з'єднаний із входом генератора 17 регульованої низької частоти. Генератор 18 низької фіксованої частоти з'єднаний з керуючими входами фазочутливого випрямляча 14 і керуючими входами автоматичних перемикачів 7, 20 і 21. Протилежні входи автоматичних перемикачів 20 і 21 з'єднані між собою і через широкопasmовий квадратурний фазорозщеплювач 19 низької частоти з'єднані з виходом генератора 17 регульованої низької частоти.

Виходи автоматичного перемикача 7 з'єднані з виходом відрізка 23 випробуваної лінії передачі і входом самої лінії передачі 24, вихід якої має погоджене навантаження 25.

Пристрій працює таким чином
Напруга генератора 1 регульованої високої частоти

$$U_1(t) = U_m \cos(\omega_1 t + \varphi) \quad (1)$$

розділяється за допомогою широкосмугового квадратурного фазорозщеплювача 2 високої частоти на дві рівних напруги, зсунутих по фазі на 90°

$$U_2(t) = U_{m2} \cos(\omega_1 t + \varphi), \quad (2)$$

$$U_3(t) = U_{m3} \sin(\omega_1 t + \varphi), \quad (3)$$

причому амплітуди цих напруг роблять рівними $U_{m2}=U_{m3}$. Квадратурні напруги $U_2(t)$ і $U_3(t)$ надходять на сигнальні входи балансових модуляторів 3 і 4, виходи яких з'єднані із входами суматора 5

Напруга генератора 17 регульованої низької частоти

$$U_4(t) = U_{m4} \cos(\Omega_1 t + \Phi), \quad (4)$$

також розділяється за допомогою широкосмугового квадратурного фазорозщеплювача 19 низької частоти на дві рівних напруги, зсунутих по фазі на 90°

$$U_5(t) = U_{m5} \cos(\Omega_1 t + \Phi), \quad (5)$$

$$U_6(t) = U_{m6} \sin(\Omega_1 t + \Phi), \quad (6)$$

причому $U_{m5}=U_{m6}$

При зазначеному на кресленні положенні перемикачів 20 і 21 низькочастотні напруги $U_5(t)$ і $U_6(t)$ частоти $\Omega_1 \ll \omega_1$ надходять на керуючі входи балансових модуляторів 3 і 4. У результаті балансової модуляції високочастотних напруг низькочастотними напругами формуються двочастотні високочастотні напруги різницевої і сумарної частот

$$U_7(t) = S_1 U_2(t) U_5(t) = 0,5 S_1 U_{m2} U_{m5} \{ \cos[(\omega_1 - \Omega_1)t + \varphi - \Phi] + \cos[(\omega_1 + \Omega_1)t + \varphi + \Phi] \}, \quad (7)$$

$$U_8(t) = S_2 U_3(t) U_6(t) = 0,5 S_2 U_{m3} U_{m6} \{ \cos[(\omega_1 - \Omega_1)t + \varphi - \Phi] - \cos[(\omega_1 + \Omega_1)t + \varphi + \Phi] \}, \quad (8)$$

де S_1 і S_2 - крутість перетворення балансових модуляторів 3 і 4, причому з-за їхньої однотипності $S_1=S_2$

Гармонійна складова різницевої частоти $\omega_2 = \omega_1 - \Omega_1$ являє собою коливання нижньої бокової несучої частоти ω_1 , а гармонійна складова сумарної частоти $\omega_3 = \omega_1 + \Omega_1$ - коливання верхньої бокової несучої частоти ω_1 модульованих по амплітуді коливань. Для виділення коливань тільки однієї бічної частоти високочастотні модульовані напруги (7) і (8) сумуються в суматорі 5

У результаті підсумовування напруг $U_7(t)$ і $U_8(t)$ на виході суматора 5 створюється напруга тільки однієї різницевої частоти

$$U_9(t) = S_1 U_{m2} U_{m5} \cos(\omega_2 t + \varphi - \Phi) \quad (9)$$

При протилежному положенні перемикачів 20 і 21 відбувається взаємне заміщення модулюючих

напруг, тобто напруги $U_4(t)$ і $U_5(t)$ міняються місцями на входах балансових модуляторів 3 до 4. Двочастотні напруги різницевої і сумарної частот при цьому приймають вигляд

$$U_7(t) = S_1 U_2(t) U_6(t) = 0,5 S_1 U_{m2} U_{m5} \{ \sin[(\omega_1 + \Omega_1)t + \varphi - \Phi] - \sin[(\omega_1 - \Omega_1)t + \varphi - \Phi] \}, \quad (10)$$

$$U_8(t) = S_2 U_3(t) U_5(t) = 0,5 S_1 U_{m2} U_{m5} \{ \sin[(\omega_1 - \Omega_1)t + \varphi - \Phi] + \sin[(\omega_1 + \Omega_1)t + \varphi + \Phi] \} \quad (11)$$

У результаті складання напруг (10) і (11) на виході суматора 5 створюється напруга тільки однієї сумарної частоти

$$U_9(t) = S_1 U_{m2} U_{m5} \sin(\omega_3 t + \varphi + \Phi), \quad (12)$$

При безупинній роботі перемикачів 20 і 21 пакети напруг (9) і (12) по черзі проходять через блок розподілу 6 і надходять на автоматичний перемикач 7, що працює синхронно з автоматичними перемикачами 20 і 21, тому що вони усі керуються однією напругою генератора 18 низької фіксованої частоти $\Omega_2 \ll \Omega_1$. Завдяки синхронній роботі перемикачів пакет напруги (9) різницевої частоти ω_2 надходить у випробувану лінію 24 через короткий відрізок 23, а пакет напруги (12) сумарної частоти - безпосередньо в лінію 24

На обраний частоті випробувального сигналу ω_1 короткий відрізок виділяють із самої випробуваної лінії з такого розрахунку, щоб фазовий зсув, внесений цим відрізком довжиною $\Delta \ell$, вносив у відбитий сигнал додатковий фазовий зсув не більше 90°

$$\Delta \varphi = \frac{2\Delta \ell}{v} < \frac{\pi}{2}, \quad (13)$$

де v - швидкість поширення випробувального сигналу уздовж лінії передачі

Звичайно, фазовий зсув $\Delta \varphi$ обирають у 10-100 разів більше порога чутливості $\Delta \varphi_0$ використуваного фазового детектора 9. Тоді довжина короткого відрізка

$$\Delta \ell = \frac{(10-100)\Delta \varphi_0 v}{\omega_1} \ll \frac{\lambda}{2}, \quad (14)$$

де λ - довжина хвилі випробувального сигналу

Якщо досліджувану лінію передачі 24 не пошкоджено, то відбитий сигнал відсутній, тому що лінія має погоджене навантаження 25. При наявності пошкодження чи виникненні дефекту, від місця його перебування відбивається частина або весь випробувальний сигнал. Відбитий сигнал через блок розподілу 6 поступає на другий вихід, де він підсилюється та стабілізується по амплітуді підсилювачем-обмежувачем 8 і далі йде на сигнальний вхід фазового детектора 9. На опорний вхід цього фазового детектора подається напруга падаючого сигналу з входу блоку розподілу 6

Повний фазовий зсув відбитого сигналу щодо падаючого визначається виразом

$$\Delta\Phi_1 = \omega_2 \frac{2(\ell_x + \Delta\ell)}{v} = 2\pi(n_1 + P_1), \quad (15)$$

де

ℓ_x - відстань до місця пошкодження лінії передачі,

n_1 - ціле число фазових циклів у 360° , тобто ціле число хвиль по довжині лінії передачі,

P_1 - дробова частина останнього фазового циклу ($P_1 < n_1$)

При протилежному положенні автоматичних перемикачів 7, 20 та 21 безпосередньо в досліджувану лінію 24 вводиться досліджувальний сигнал (12) сумарної частоти ω_3

Повний фазовий зсув відбитого сигналу відносно падаючого приймає вигляд

$$\Delta\Phi_2 = \omega_3 \frac{2\ell_x}{v} = 2\pi(n_2 + P_2), \quad (16)$$

де n_2 і P_2 - ціле і дробове числа фазових циклів на частоті ω_3

Вихідна напруга фазового детектора 9 пропорційна тільки дробовій частині останнього фазового циклу, тому що на ціле число фазових циклів детектор не реагує. Тому при одному положенні автоматичних перемикачів 7, 20 та 21 на виході фазового детектора з лінійною характеристикою відповідно до вираження (15) формується імпульс напруги з амплітудою

$$U_{10} = S_3 U_0 P_1 = S_3 U_0 \left(\omega_2 \frac{2(\ell_x + \Delta\ell)}{v} - 2\pi n_1 \right), \quad (17)$$

де

S_3 - чутливість фазового детектора 9,

U_0 - рівень обмеження підсилювача-обмежника 8

При протилежному положенні автоматичних перемикачів відповідно до вираження (16) формується імпульс напруги з амплітудою

$$U_{11} = S_3 U_0 P_2 = S_3 U_0 \left(\omega_3 \frac{2\ell_x}{v} - 2\pi n_2 \right), \quad (18)$$

З послідовності імпульсів з амплітудами U_{10} і U_{11} і фільтром 10 нижніх частот виділяється постійна складова напруги

$$U_{12} = K_1 \frac{U_{10} + U_{11}}{2} = 0,5K_1 S_3 \left[2\frac{\ell_x}{v} (\omega_2 + \omega_3) + 2\frac{\Delta\ell}{v} \omega_2 - 2\pi(n_1 + n_2) \right], \quad (19)$$

де K_1 - коефіцієнт передачі фільтра 10 нижніх частот

Напруга U_{12} підсилюється підсилювачем 12 постійної напруги та заряджає електричний інтегратор 15. Вихідна напруга інтегратора поступає на керуючий вхід генератора 1 і підстроює частоту ω_1 несучих коливань. Процес автоматичного регулювання частоти триває доти, поки постійна складова напруги U_{12} імпульсної послідовності не звер-

неться в нуль. Дорівнюючи вираження (19) нулю, отримаємо рівняння

$$2\frac{\ell_x}{v} (\omega_2 + \omega_3) + 2\frac{\Delta\ell}{v} \omega_2 - 2\pi(n_1 + n_2) = 0, \quad (20)$$

З послідовності імпульсів з амплітудами U_{10} і U_{11} і фільтром 11 верхніх частот виділяється змінна складова напруги частоти переключень Ω_2 з амплітудою

$$U_{13} = K_2 \frac{U_{11} - U_{10}}{2} = 0,5K_2 S_3 \left[2\frac{\ell_x}{v} (\omega_3 - \omega_2) - 2\frac{\Delta\ell}{v} \omega_2 - 2\pi(n_2 - n_1) \right], \quad (21)$$

де K_2 - коефіцієнт передачі фільтра 11 верхніх частот

Змінна напруга (21) з амплітудою U_{13} підсилюється підсилювачем 13 перемінної напруги і випрямляється фазочутливим випрямлячем 14, що керується напругою генератора 18 частоти Ω_2 . Випрямлена напруга заряджає електричний інтегратор 16, вихідна напруга якого впливає на керуючий вхід генератора 17 регульованої низької частоти. Автоматичне регулювання генератора 17 продовжується доти, поки змінна складова напруги імпульсної послідовності (23) не звернеться в нуль. Дорівнюючи вираження (21) нулю, одержуємо рівняння вигляду

$$2\frac{\ell_x}{v} (\omega_3 - \omega_2) - 2\frac{\Delta\ell}{v} \omega_2 - 2\pi(n_2 - n_1) = 0, \quad (22)$$

Вирішивши рівняння (22) відносно шуканої відстані ℓ_x , отримуємо

$$\ell_x = \frac{2\Delta\ell\omega_2 + 2\pi(n_2 - n_1)v}{2(\omega_3 - \omega_2)} \quad (23)$$

Рівняння (20) з урахуванням значень частот ω_2 і ω_3 можна представити у вигляді системи двох рівнянь

$$\begin{cases} \frac{2(\ell_x + \Delta\ell)}{v} (\omega - \Omega_1) = 2\pi n_1, & (24) \\ \frac{2\ell_x}{v} (\omega + \Omega_1) = 2\pi n_2 & (25) \end{cases}$$

При одночасному регулюванні частот ω_1 генератора 1 високої частоти і Ω_1 генератора 17 низької частоти рівняння (24) означає, що на різниці частот $\omega_1 - \Omega_1$ на довжині лінії з відрізком $\ell_x + \Delta\ell$ укладається ціле число n_1 фазових циклів (довжин хвиль різниці частот). А на довжині самої лінії і сумарній частоті $\omega_1 + \Omega_1$ також укладається ціле число фазових циклів n_2 (довжин хвиль сумарної частоти), що впливає з рівняння (25). Але тому що додаткове фазове зрушення (13) на короткому відрізку лінії довжиною $\Delta\ell$ за умови (14) набагато менше $\pi(2)$ чверті довжини хвилі, то цілі числа фазових циклів n_1 і n_2 рівні ($n_1 = n_2$). Це означає, що

одне і те ж число цілих фазових циклів укладається на рівних довжинах лінії за рахунок модульованої частоти Ω_1 , що змінює частоту випробувального сигналу

Вирішуючи рівняння (23) за умови $n_1=n_2$, одержимо

$$\ell_x = \frac{\omega_2}{\omega_3 - \omega_2} \Delta \ell, \quad (26)$$

або з обліком значень $\omega_2 = \omega_1 - \Omega$ і $\omega_3 = \omega_1 + \Omega$ маємо

$$\ell_x = \frac{\omega_1 - \Omega_1}{2\Omega_1} \Delta \ell \quad (27)$$

При великих відстанях до місця пошкодження лінії ($\ell_x \gg \Delta \ell$) значенням частоти Ω_1 у чисельнику (27) можна зневажити ($\Omega_1 \ll \omega_1$)

Тоді остаточно одержимо

$$\ell_x = \frac{\omega_1}{2\Omega} \Delta \ell = \frac{f}{2F} \Delta \ell, \quad (28)$$

де

f - стала частота високочастотного генератора 1,

F - стала частота низькочастотного генератора 17

Напруга генератора 1 високої частоти надходить на один вхід електронно-рахункового частотоміра 22, на другий вхід якого надходить напруга генератора 17 низької частоти. Якщо електронно-рахунковий частотомір 22 працює в режимі ділення високої частоти на низьку (f/F), то його показання при $\Delta \ell = \text{const}$ пропорційно відстані до місця пошкодження лінії. При цьому мінливість швидкості поширення v випробувального сигналу уздовж лінії не впливає на результат виміру, тому що v у розрахунковій формулі (28) відсутня.

Використання одного високочастотного генератора замість двох незалежних генераторів дозволяє сформулювати два випробувальних сигнали близьких частот за рахунок малого значення частоти модулюючої напруги низькочастотного генератора. Завдяки цьому можливий високоточний вимір великих відстаней до місця пошкодження

без мертвих зон по частотах випробувальних сигналів. Нестабільність частоти ω_1 генератора регульованої високої частоти також не впливає на значення різницевої частоти двох випробувальних сигналів, що задається подвоєним значенням частоти $2\Omega_1$ генератора низької частоти.

Приклад. Вимірювалася відстань до місця пошкодження радіочастотного кабелю довжиною $\ell_x = 10$ км, навантаженого на погоджене навантаження, яка дорівнювала його хвильовому опору. Частота випробувального сигналу обрана в смузі пропускання кабелю і складала $f_1 = 50$ МГц. Пошкодження кабелю було імітоване коротким замиканням на відстані 8000 м від початку кабелю.

На досліджуваному кабелі була виділена ділянка, довжиною згідно з вираженням (14) при порозі чутливості фазового детектора $\Delta \varphi_0 = 0,1^\circ$ (10^{-3} радіан) і швидкості поширення хвилі випробувального сигналу ($v = 3 \cdot 10^8$ м/с)

$$\Delta \ell = \frac{100 \Delta \varphi_0}{2\pi f_1} v = \frac{100 \cdot 10^{-3} \pi}{2\pi \cdot 50 \cdot 10^6} \cdot 3 \cdot 10^8 \approx 0,3 \text{ м}$$

Обмірюване значення частоти модульованої напруги за частотоміром була $F = 939,5$ Гц.

Відстань до місця пошкодження визначено за формулою (28)

$$\ell_x = \frac{f}{2F} \Delta \ell = \frac{50 \cdot 10^6}{2 \cdot 939,5} \cdot 0,3 = 7983,4 \text{ м}$$

Відносна погрішність виміру відстані

$$\gamma = \frac{\ell_x - \ell_{\text{н}}}{\ell_x} \cdot 100 = \frac{7983 - 8000}{8000} \cdot 100 = -0,2\%$$

Таким чином, похибка виміру відстані до місця дефекту кабелю не перевищила 0,2%. При цьому різницева частота F стосовно частоти випробувального сигналу f_1 складала всього 0,0018%, що порівняно з частотними флуктуаціями високочастотного генератора, але результат виміру стабільний.

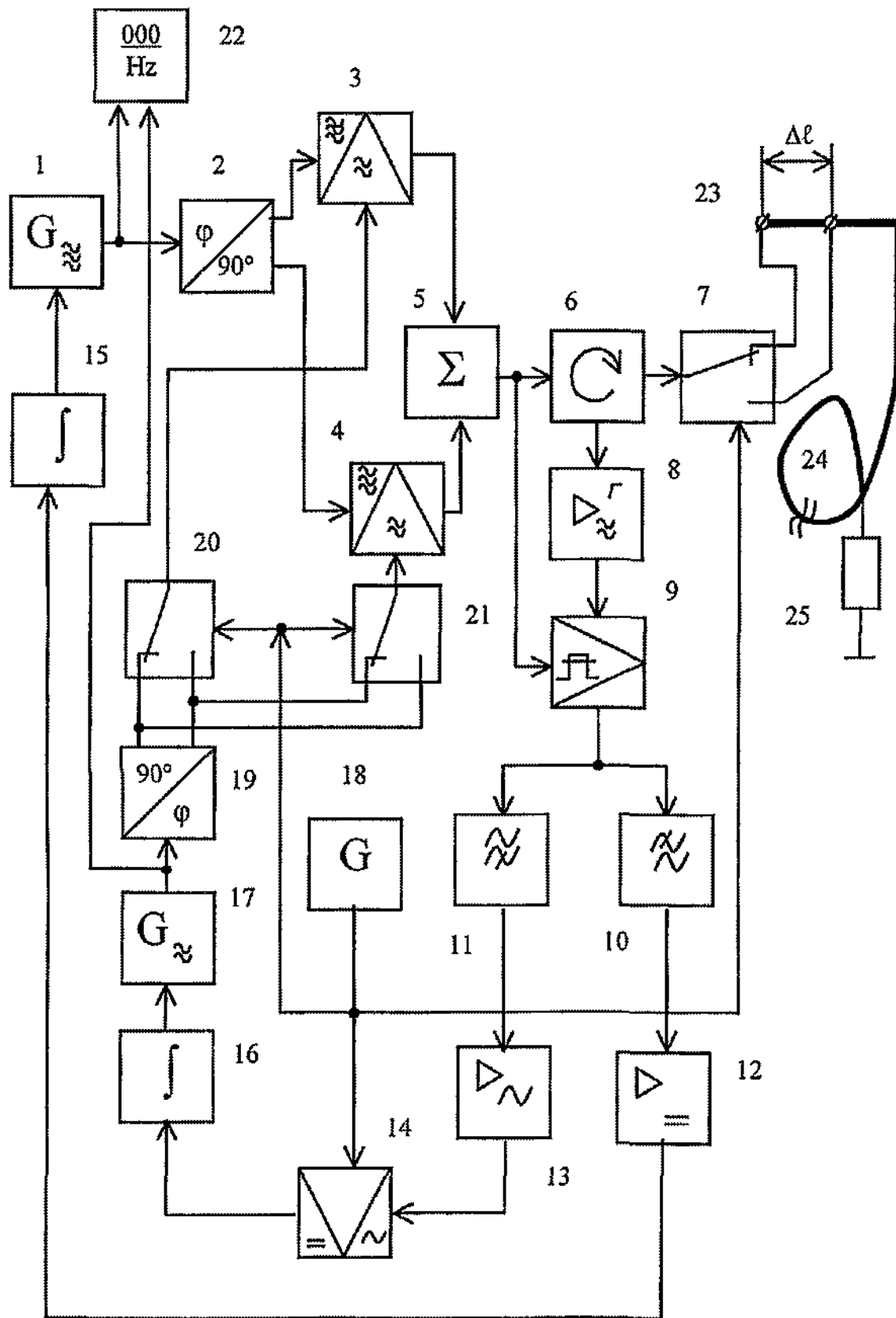


Fig.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8
Обсяг _____ обл.-вид арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180
(044) 268-25-22
