



УКРАЇНА

(19) UA (11) 77744 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
G01R 27/02  
G01R 27/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИТТЯ МІКРОХВИЛЬОВИХ ДВОПОЛЮСНИКІВ

1

(21) 20040806470  
(22) 03.08.2004  
(24) 15.01.2007  
(46) 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007 р.  
(72) Гімплєвич Юрій Борисович, Смаїлов Юнус Якубович  
(73) СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
(56) SU 1679411 A1, 23.09.1991  
SU 1626193 A1, 07.02.1991  
SU 1626194 A1, 07.02.1991  
RU 2253874 C2, 27.03.2004  
DE 3111204 A1, 30.09.1982  
US 4812738, 14.03.1989  
GB 614259, 13.12.1948  
JP 61237065, 22.10.1986

2

(57) Пристрій для вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття мікрохвильових двополіусників, що містить генератор зондувального сигналу, вихід якого через двоспрямований відгалужувач підключений до вимірюваного мікрохвильового двополіусника, і датчик потужності, вихід якого з'єднаний з блоком обробки, який відрізняється тим, що в нього додатково введені керований дискретний фазообертач та двоплечий суматор, при цьому вхід датчика потужності підключений до виходу двоплечого суматора, перший вхід якого через керований дискретний фазообертач з'єднаний з виходом падаючої хвилі двоспрямованого відгалужувача, а другий вхід - з виходом відбитої хвилі двоспрямованого відгалужувача.

Пристрій відноситься до радіовимірювальної техніки НВЧ діапазону і може бути використаний при вимірах модуля й аргументу комплексного коефіцієнта відбиття мікрохвильових двополіусників, а також повного опору.

Відомий пристрій, виконаний на основі вимірювальної лінії, що представляє відрізок лінії передачі з подовжньою щільною, у яку введенний зонд, з'єднаний з входом датчика потужності (квадратична детекторна голівка), вихід якого з'єднаний з індикатором (див. [1], с. 323).

Недоліком такого пристрою є складність автоматизації процесу виміру, тому що для цього необхідно застосувати механізм зворотного поступального переміщення.

Цей недолік усунутий у пристрої, що використовує метод чотирьох зондів. Цей пристрій містить відрізок лінії передачі, у якому на відстані  $\lambda/8$  ( $\lambda$  – довжина хвилі в лінії передачі) уведено чотири нерухомих зонди, з'єднані з чотирма датчиками потужності, виходи яких підключені до пристрою обробки (див., [2] с. 12).

Недоліком цього пристрою є вузькосмуговість, оскільки електричні відстані між зондами змінюються при зміні частоти зондувального сиг-

налу, що приводить до погрешності при роботі в смузі частот, (див. [2], с. 15)

Цей недолік усунутий у пристроях 12-поліусного типу, заснованих на використанні широкосмугових мікрохвильових вузлів (спрямованих відгалужувачів, синфазних, протифазних і квадратурних розщеплювачів, див. [3], с. 316 і [4] с.186).

Найбільш близьким по технічній сутності є пристрій, що включає дільник потужності, виходи якого підключені до двох двоспрямованих відгалужувачів, причому перший відгалужувач навантажений на короткозамикач, а другий – на вимірюваний мікрохвильовий двополіусник. Вимірювальні виходи двоспрямованих відгалужувачів з'єднуються з входами двох  $90^\circ$  гібридних з'єднань, вихідні плечі яких підключені до входів двох  $180^\circ$  гібридних з'єднань, виходи яких з'єднуються з чотирма датчиками потужності, виходи яких з'єднуються з блоком обробки (див. [4] с. 189).

Недоліком прототипу є значні габарити мікрохвильового перетворювача і низька стабільність вимірів.

Мікрохвильовий перетворювач прототипу

(19) UA (11) 77744 (13) C2

містить одинадцять мікрохвильових вузлів: дільник потужності, два двоспрямованих відгалужувача, чотири гібридні з'єднання, чотири датчики потужності. Це приводить до значних габаритів мікрохвильового перетворювача.

У прототипі використовуються чотири датчики потужності. Під впливом різних дестабілізуючих факторів (наприклад, температури, радіації, вологості й ін.) змінюються коефіцієнти перетворення цих датчиків, що приводить до погіршеності через розкид цих коефіцієнтів. Таким чином, прототип має низьку стабільність вимірів і не може використовуватися в жорстких умовах експлуатації.

Технічною задачею винаходу є зменшення габаритів мікрохвильового перетворювача при одночасному підвищенні стабільності вимірів. Ця задача вирішується шляхом істотного зменшення кількості використовуваних мікрохвильових вузлів вимірювального перетворювача і використання одного датчика потужності. Для цього в пристрої для виміру комплексного коефіцієнта відображення мікрохвильових двополюсників додатково введені керований дискретний фазообертач і двоплечий суматор, при цьому вхід датчика потужності підключений до виходу двоплечого суматора, перший вхід якого з'єднаний з виходом падаючої хвилі двоспрямованого відгалужувача через керований дискретний фазообертач, а другий вхід з виходом відбитої хвилі двоспрямованого відгалужувача.

Заявлений пристрій містить чотири мікрохвильових вузла: один двоспрямований відгалужувач, керований дискретний фазообертач, суматор і один датчик потужності. У порівнянні з прототипом у пристрої, що заявляється, зменшена кількість використовуваних вузлів на сім (майже в три рази). Це приводить до істотного зменшення габаритів і маси пристрою.

У пристрої, що заявляється, присутній тільки один датчик потужності. Тому виключається погіршеність виміру через розкид параметрів детекторних голівок, що приводить до істотного підвищення стабільності.

На фіг. приведена функціональна схема пропонуваного пристрою.

Пристрій для виміру комплексного коефіцієнта відображення мікрохвильових двополюсників містить генератор зондувального сигналу 1, вихід якого через двоспрямований відгалужувач 2 підключений до вимірюваного мікрохвильовому двополюсника 3. Вихід падаючої хвилі двоспрямованого відгалужувача через керований дискретний фазообертач 4, з'єднаний з першим входом двоплечого суматора 5, другий вхід якого підключений до виходу відбитої хвилі двоспрямованого відгалужувача. Вихід двоплечого суматора з'єднаний із входом датчика потужності 6, вихід якого підключається до блоку обробки 7.

Пристрій для виміру комплексного коефіцієнта відбитку мікрохвильових двополюсників працює в такий спосіб. Для спрощення аналізу, розгляд проведемо для випадку, що відповідає ідеальним характеристикам мікрохвильових вузлів. Зондувальний сигнал від НВЧ генератора з комплексною

амплітудою  $E_r$  надходить на вхід <sup>(1)</sup> двоспрямованого відгалужувача. До виходу <sup>(2)</sup> двоспрямованого відгалужувача підключений вимірюваний мікрохвильовий двополюсник з комплексним коефіцієнтом відображення  $\Gamma$ . У результаті утворюється відбита хвиля з комплексною амплітудою

$E_{отр}$ . На виходах <sup>(3)</sup> і <sup>(4)</sup> двоспрямованого відгалужувача виникають коливання з комплексними амплітудами, рівними:

$$U_3 = E_r S_{31}; \quad (1)$$

$$U_4 = E_r \Gamma S_{42}, \quad (2)$$

де  $S_{31}$ ,  $S_{42}$  – елементи S-матриці двоспрямованого відгалужувача.

З виходу <sup>(3)</sup> сигнал, пропорційний падаючій хвилі, надходить на вхід керованого дискретного фазообертача, з виходу якого, з обліком (1), формується сигнал, що надходить на вхід <sup>(5)</sup> суматора. Комплексна амплітуда цього сигналу дорівнює:

$$U_5^{(i)} = E_r S_{31} \cdot e^{j\psi_i} \quad (3)$$

де  $\psi_i$  – фазове зрушення, внесені фазообертачем у i-ому стаціонарному стані;

i = 1, 2, 3, 4 – номер стаціонарного стану керованого дискретного фазообертача.

На вхід <sup>(6)</sup> суматора подається сигнал, пропорційний відбитій хвилі з виходу <sup>(4)</sup> двоспрямованого відгалужувача. Комплексна амплітуда цього сигналу дорівнює

$$U_6 = U_4 = E_r \Gamma S_{42}. \quad (4)$$

На виході <sup>(7)</sup> суматора формується сигнал, комплексна амплітуда якого в i-ому стаціонарному стані дорівнює

$$U_7^{(i)} = U_5^{(i)} + U_6 \quad (5)$$

З обліком (1)...(4) запишемо (5) у виді

$$U_7^{(i)} = E_r \Gamma S_{42} + E_r S_{31} e^{j\psi_i} = E_r (S_{42} + S_{31} e^{j\psi_i}) \quad (6)$$

Думаємо  $S_{31} = S_{42}$  вираження (6) запишемо у виді

$$U_7^{(i)} = E_r S_{31} (|\Gamma| e^{j\varphi} + e^{j\psi_i}) = E_r S_{31} e^{j\psi_i} (1 + |\Gamma| e^{j(\varphi - \psi_i)}) \quad (7)$$

де  $|\Gamma|$ ,  $\varphi$  – модуль і аргумент комплексного коефіцієнта відбитку  $\Gamma$  вимірюваного мікрохвильового двополюсника.

На виході <sup>(8)</sup> датчика потужності одержуємо напругу, пропорційну потужності вхідного сигналу. З обліком (7) ця напруга дорівнює

$$U_8^{(i)} = q|U_7^{(i)}|^2 = q|S_{31}|^2|E_r|^2|1 + \Gamma e^{j(\varphi - \psi_i)}|^2$$

$$= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + 2|\Gamma|\cos(\varphi - \psi_i)) \quad (8)$$

де  $q$  – коефіцієнт перетворення датчика потужності;  $K = q|S_{31}|^2$  – коефіцієнт пропорційності.

З (8) випливає, що вихідні напруги датчика потужності в різних стаціонарних станах ( $i = 1 \dots 4$ ) мають вид:

$$\left. \begin{aligned} U_8^{(1)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + |\Gamma|\cos(\varphi - \psi_1)) \\ U_8^{(2)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + |\Gamma|\cos(\varphi - \psi_2)) \\ U_8^{(3)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + |\Gamma|\cos(\varphi - \psi_3)) \\ U_8^{(4)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + |\Gamma|\cos(\varphi - \psi_4)) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

де  $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$  – фазові зрушення, внесені у відповідних стаціонарних станах керованим дискретним фазообертачем.

Ці фазові зрушення задаються за допомогою сигналів, що надходять із блоку керування. Розглянемо випадок, коли  $\psi_1=0^\circ$ ,  $\psi_2=90^\circ$ ,  $\psi_3=180^\circ$ ,  $\psi_4=270^\circ$ . У цьому випадку вираження (9) приводиться до наступного виду:

$$\left. \begin{aligned} U_8^{(1)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + |\Gamma|\cos(\varphi)) \\ U_8^{(2)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + |\Gamma|\cos(\varphi)) \\ U_8^{(3)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 - |\Gamma|\cos(\varphi)) \\ U_8^{(4)} &= K|E_r|^2(1 + |\Gamma|^2 + |\Gamma|\cos(\varphi)) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

У блоці обробки сигнали (10) можуть бути оброблені різними способами. Розглянемо найпростіший варіант. Здійснимо попарне вирахування рівнянь (10)

$$U_x = U_8^{(1)} - U_8^{(2)} = 4K|E_r|^2|\Gamma|(\cos(\varphi) - \sin(\varphi)) =$$

$$= 4\sqrt{2}K|E_r|^2|\Gamma|\sin\left(\frac{\pi}{4} + \varphi\right) \quad (11)$$

$$U_y = U_8^{(4)} - U_8^{(3)} = 4K|E_r|^2|\Gamma|(\cos(\varphi) + \sin(\varphi)) =$$

$$= 4\sqrt{2}K|E_r|^2|\Gamma|\cos\left(\frac{\pi}{4} + \varphi\right) \quad (12)$$

Для визначення модуля комплексного коефіцієнта відображення вимірюваного мікрохвильового двополюсника зведемо (11) і (12) у квадрат і витягнемо квадратний корінь із суми цих квадратів. У результаті одержуємо наступне

вираження для  $|\Gamma|$

$$|\Gamma| = \frac{1}{K_1} \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \quad (13)$$

де  $K_1 = 4\sqrt{2}K|E_r|^2$  – коефіцієнт  $K_1$  визначається при калібруванні пристрою по короткозамкнутому навантаженні.

Аргумент комплексного коефіцієнта відображення вимірюваного мікрохвильового двополюсника визначається з (11) і (12) у такий спосіб

$$\varphi = \arctg\left(\frac{U_y}{U_x}\right) - \frac{\pi}{4} \quad (14)$$

При проведенні вимірів на одній частоті як джерело зондувального сигналу можливе використання генератора стандартних сигналів типу Г4 відповідного діапазону, а при панорамних – світгенератора, наприклад, з комплексу панорамних вимірювачів КСХ і ослаблення (прилади групи Р2). У якості дво-спрямованого відгалужувача можна застосувати спарені відгалужувачі з комплексу панорамних вимірників КСХ і ослаблення, або окремий функціональний вузол, наприклад, модель із серії CD2-102-202-10S [5]. У якості керованого дискретного фазообертача можна використовувати модель ДР для відповідного діапазону [6]. У якості двоплечого суматора можна застосувати модель RFM-7020-26-SMA-79 [7]. Датчиком потужності може бути будь-яка НВЧ детекторна голівка з квадратичною характеристикою.

Бібліографія:

1. Кукуш В.Д. Электрорадионизмерения: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
2. Бондаренко И. К. Автоматизация измерений параметров СВЧ / И. К. Бондаренко, Г.А Дейнега, З.В. Магачев – М.: Сов. Радио, 1969. – 304 с.
3. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. пособие для радиотехнич. спец. Вуз-вУПод ред. В.И. Винокурова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 351 с.
4. Somlo P.I., Hunter D. A Six-Port Reflectometer and its Complete Characterization by Convenient Calibration Procedures // IEEE Trans. – 1982. – Vol. MTT-30.–№2.–P. 186-191.
5. Directional couplers, www.miteq.com.
6. Digital diode phase shifters, www.kditriangle.com.
7. Microwave components, adapters, cable assemblies, connectors. – Midwest Microwave, Printed in U.S.A. 1999. – 293 p.

