



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 104604

(13) C2

(51) МПК

G01R 27/04 (2006.01)

G01R 25/04 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

(21) Номер заявки: а 2011 08784	(72) Винахідник(и): Трушкін Олександр Миколайович (UA)
(22) Дата подання заявки: 12.07.2011	(73) Власник(и): СЕВАСТОПОЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Університетська, 33, м. Севастополь, 99053 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.02.2014	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2005083644 A1; 09.09.2005 US 2010312506 A1; 09.12.2010 US 2008186032 A1; 07.08.2008 US 2005234661 A1; 20.10.2005 US 2005234662 A1; 20.10.2005 GB 2409049 A; 15.06.2005 US 4721901 A; 26.01.1988 US 5083090 A; 21.01.1992
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.01.2013, Бюл.№ 2	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.02.2014, Бюл.№ 4	

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОГО КОЕФІЦІЄНТА ВІДБИТТЯ ДВОПОЛЮСНИКА**(57) Реферат:**

Спосіб визначення комплексного коефіцієнта відбиття належить до радіовимірювальної техніки й може бути використаний при створенні вимірників амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик антен і інших радіотехнічних пристроїв. Спосіб заснований на поділі вимірювального сигналу на дві складові, формуванні модульованих по амплітуді НВЧ сигналів на частотах Ω_1 і Ω_2 , формуванні опорного й вимірювального каналів для кожної із цих складових, виділенні, вимірі, запам'ятовуванні калібрувальних сигналів на частотах Ω_1 , Ω_2 , $\Omega_1 + \Omega_2$ і вимірювальних сигналів на частоті $\Omega_1 + \Omega_2$ і використанні цієї інформації для визначення модуля й фази коефіцієнта відбиття досліджуваного двополюсника.

UA 104604 C2

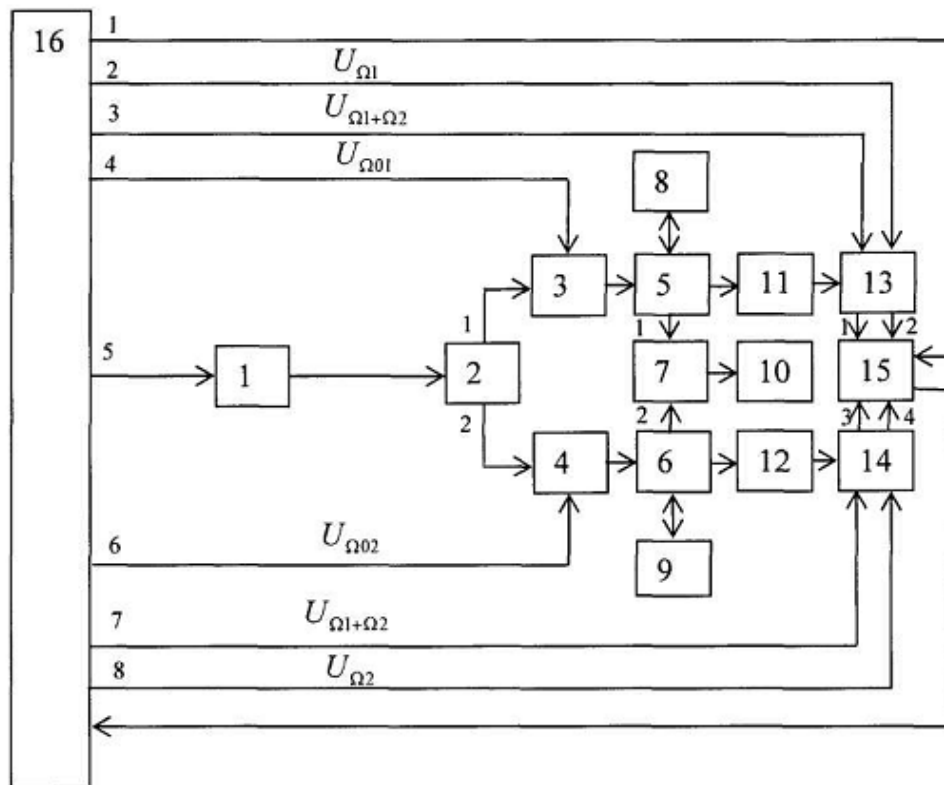


Fig. 1

Спосіб вимірювання належить до радіовимірювальної техніки і може бути використаний при створенні вимірників амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик антен та інших радіотехнічних пристроїв.

Технічною задачею винаходу є підвищення точності вимірювання амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик антен та інших радіотехнічних пристроїв у широкому діапазоні частот.

Суть способу полягає в поділі безперервного НВЧ сигналу на дві складові, амплітудної модуляції НВЧ сигналу першою складовою частотою Ω_1 , другою складовою частотою Ω_2 , формуванні з кожної промодульованої складової сигналів опорного і вимірювального каналів, попередньому виділенні сигналу першого опорного каналу з частотою Ω_1 від першої складової при короткозамикачі в першому опорному каналі, узгоджених навантаженнях замість досліджуваного двополюсника і короткозамикача в другому опорному каналі при відсутності сигналів від другої складової та вимірюванні амплітуди $U_{оп1}$, аналогічному виділенні сигналу другого опорного каналу з частотою Ω_2 від другої складової при короткозамикачі в другому опорному каналі, узгоджених навантаженнях замість досліджуваного двополюсника і короткозамикача в першому опорному каналі при відсутності сигналу від першої складової і вимірі амплітуди $U_{оп2}$, попередньому виділенні сигналу вимірювального каналу з частотою Ω_2 від другої складової при узгоджених навантаженнях у першому і другому опорних каналах, короткозамикачі і замість досліджуваного двополюсника при відсутності сигналу від першої складової і вимірі амплітуди $U_{вим1}$, аналогічному попередньому виділенні сигналу вимірювального каналу з частотою Ω_1 , від першої складової при узгоджених навантаженнях у першому і другому опорних каналах, короткозамикачі замість досліджуваного двополюсника при відсутності сигналу від другої складової і вимірі амплітуди $U_{вим2}$ попередньому виділенні сигналів з частотою $\Omega_1 + \Omega_2$ від першої і другої складових при трьох короткозамикачах, включених у перший і другий опорні канали і замість досліджуваного двополюсника, вимірі амплітуд U_1 , U_2 , виділенні сигналів з частотою $\Omega_1 + \Omega_2$ від першої і другої складових при двох короткозамикачах, включених у перший і другий опорні канали і досліджуваному двополюснику, вимірі амплітуд U_{x1} , U_{x2} , і визначенні Γ_x і α_x за такими формулами:

$$\Gamma_x = \left[K_1 U_{x1} + K_2 U_{x2} + K_3 + \left(K_4 U_{x1}^2 + K_5 U_{x2}^2 + K_6 U_{x1} U_{x2} + K_7 U_{x1} + K_8 U_{x2} + K_9 \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\sin \alpha_x = \frac{q_2 \cos \beta_1 - q_1 \cos \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)};$$

$$\cos \alpha_x = \frac{q_2 \sin \beta_1 - q_1 \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)}.$$

Отримана інформація використовується для визначення комплексного коефіцієнта відбиття двополюсника.

Винахід відноситься до радіовимірювальної техніки і може бути використаний при створенні вимірювачів комплексного коефіцієнта відбиття для дослідження амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик антен та інших радіотехнічних пристроїв.

Відомий спосіб вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття двополюсника, заснований на порівнянні падаючої і відбитої від досліджуваного двополюсника хвиль (Barnett EF A New Precision X-Band Phase-Shifter. Trans. IRE of Instrumentation. October 1955, PII-4, p. 150-154., Bachman L., A Waveguide Impedance Meter for Automatic Display of Complex Reflection Coefficient Transaction, IRE, vol. MTT-3, N1, 1955.). Максимальна похибка при вимірюванні модуля і фази коефіцієнта відбиття в автоматичному режимі подібного пристрою становить $\pm 12\%$ по модулю і 10° по фазі в межах 12% смуги частот.

Відомий спосіб вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття двополюсника (авторських свідоцтво SU № 2069862, кл. G01R 27/04, 1996) прийнятий як прототип. У пристрої за цим способом НВЧ сигнал поділяють на дві складові, модулюють першу з складових частотою Ω_1 , другу складову частотою $\Omega_2 \neq \Omega_1$ підсумовують обидві складові, виділяють сигнали різницевої частоти і сигнали з частотами $2\Omega_1$, $2\Omega_2$, вимірюють їх амплітуди, за якими визначають шукані параметри.

Основним джерелом похибки приладу, що реалізує цей спосіб, при роботі в широкому діапазоні частот є велика похибка вимірювання, обумовлена кінцевою спрямованістю відгалужувачів. Зазначена складова похибки різко збільшується при зменшенні модуля коефіцієнта віддзеркалення досліджуваної навантаження. Підвищення спрямованості

відгалужувачів, як відомо, обмежується можливостями сучасних технологій і, отже, призводить до суттєвого підвищення собівартості вимірника в цілому, особливо в міліметровому діапазоні хвиль. Іншим недоліком цього способу є значна похибка виміру, обумовлена використанням для визначення шуканих параметрів досліджуваного пристрою сигналів з частотами $2\Omega_1$, $2\Omega_2$.

5 Формування напруг з частотами $2\Omega_1$, $2\Omega_2$, відбувається не тільки за рахунок інформаційної складової, але за рахунок не лінійності модуляційної характеристики, наприклад, р-і-п модуляторів (з'являються другі гармоніки через не лінійність модуляторів). Природно, при цьому спотворюється результат вимірювання.

10 На фіг. 1 надана структурна схема вимірювача комплексного коефіцієнта відбиття, за допомогою якого реалізується пропонований спосіб.

На фіг. 2 представлена електрична схема надвисокочастотної частини вимірювача. Пристрій для вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття містить НВЧ генератор 1, дільник потужності 2, входом з'єднаний з виходом НВЧ генератора 1, модулятори 3, 4, входами з'єднані з першим і другим виходами дільника потужності 2 відповідно, подвійні хвилевідні трійники 5, 6, 15 Н-входами з'єднані з виходами амплітудних модуляторів 3, 4, відповідно, короткозамикач 8, підімкнений до першого бічного плеча подвійного хвилевідного трійника 5, короткозамикач 9, підімкнений до першого бічного плеча подвійного хвилевідного трійника 6, суматор 7, з'єднаний першим і другим входами з другими бічними плечима подвійних хвилевідних трійників 5, 6, відповідно, досліджуваний двополюсник 10, підімкнений до виходу суматора 7, НВЧ детектори 20 11, 12, з'єднані з Е-виходами подвійних хвилевідних трійників 5, 6, синхронні детектори 13, 14 інформаційними входами підімкнені до виходів НВЧ детекторів 11, 12, відповідно, електронний коммутатор 15, з'єднаний своїми входами з виходами синхронних детекторів 13, 14, блок керування й індикації 16, виходами підімкнений до керуючих входів НВЧ генератора 1, амплітудних модуляторів 3, 4, синхронних детекторів 13, 14, електронного комутатора 15, а 25 входом з'єднаний з виходом електронного комутатора 15.

Пристрій працює таким чином.

Режиму вимірювання передую режим калібрування.

На першому етапі калібрування модулятор 3 працює в режимі амплітудної модуляції, а модулятор 4 закритий і електромагнітна хвиля, яка надходить на нього з другого виходу 30 дільника потужності 2, повністю в ньому поглинається. При цьому замість досліджуваного двополюсника 10 і короткозамикача 9 у НВЧ тракт вимірювача включаються узгоджені навантаження, а короткозамикач 8 підімкнений.

Напруга $U_{оп1}$ на виході синхронного детектора 14, налаштованого на частоту Ω_1 , має вигляд

$$U_{оп1} = K_{д11} E_0^2 K_2^2 M_3^2 \Gamma_{кз}^2 K_{13}, \quad (2)$$

35

де $K_{д11}$ - коефіцієнт перетворення детектора 11; K_2 - модуль коефіцієнта передачі шляху від виходу генератора 1 до НВЧ детектора 11; M_3 - коефіцієнт модуляції модулятора 3; K_{13} - коефіцієнт перетворення синхронного детектора 13; $\Gamma_{кз}$ - модуль коефіцієнта відбиття короткозамикача.

40 На другому етапі калібрування модулятор 3 закритий і електромагнітна хвиля, яка надходить на нього з першого виходу дільника потужності 2, повністю в ньому поглинається, модулятор 4 працює в режимі амплітудної модуляції. При цьому замість досліджуваного двополюсника 10 і короткозамикача 8 у НВЧ тракті включені узгоджені навантаження, а короткозамикач 9 підключений.

45 Напруга $U_{оп2}$ на виході синхронного детектора 14, налаштованого на частоту Ω_2 , має вигляд

$$U_{оп2} = K_{д12} E_0^2 K_3^2 M_4^2 \Gamma_{кз}^2 K_{14}$$

де $K_{д12}$ - коефіцієнт перетворення детектора 12; K_3 - модуль коефіцієнта передачі шляху від виходу генератора 1 до НВЧ детектора 12; M_4 - коефіцієнт модуляції модулятора 4; K_{14} - коефіцієнт перетворення синхронного детектора 14.

50 На третьому етапі калібрування модулятор 4 працює в режимі амплітудної модуляції, модулятор 3 закритий і електромагнітна хвиля, яка надходить на нього з другого виходу дільника потужності 2, повністю в ньому поглинається. При цьому замість досліджуваного двополюсника 10 у НВЧ тракт включений короткозамикач. Замість короткозамикачів 8, 9 підключені погоджені навантаження. Напруга $U_{вим}$ на виході синхронного детектора 13, 55 налаштованого на частоту Ω_2 , має вигляд

$$U_{вим} = K_{д11} E_0^2 K_4^2 M_4^2 \Gamma_{кз}^2 K_{13}, \quad (4)$$

де K_4 - модуль коефіцієнта передачі шляху від виходу генератора 1 до НВЧ детектора 11.

На четвертому етапі калібрування модулятор 3 працює в режимі амплітудної модуляції, модулятор 4 закритий і електромагнітна хвиля, яка надходить на нього з другого виходу дільника потужності 5, повністю в ньому поглинається. При цьому замість досліджуваного
5 двополюсника 10 у НВЧ тракті залишається увімкненим короткозамикач. Замість короткозамикачів 8, 9 підключені узгоджені навантаження. Напряга $U_{\text{вим}2}$ на виході синхронного детектора 14, налаштованого на частоту Ω_1 , має вигляд

$$U_{\text{вим}2} = K_{d12} E_0^2 K_5^2 M_3 \Gamma_{K3}^2 K_{14}, \quad (5)$$

10 де K_5 - модуль коефіцієнта передачі шляху від виходу генератора 1 до НВЧ детектора 13.

На п'ятому етапі калібрування модулятори 3, 4 працюють у режимі амплітудної модуляції. У НВЧ тракт включені короткозамикачі 8, 9 і замість досліджуваного двополюсника 10 у НВЧ тракті залишається увімкненим короткозамикач. Напряги U_1 , U_2 на виходах синхронних
15 детекторів 13, 14, налаштованих на частоту $\Omega_1 + \Omega_2$, мають вигляд:

$$U_1 = U_{\text{оп}1} + U_{\text{изм}1} + 2\sqrt{U_{\text{оп}1}U_{\text{изм}1}} \cos \beta_1; \quad (6)$$

$$U_2 = U_{\text{оп}2} + U_{\text{изм}2} + 2\sqrt{U_{\text{оп}2}U_{\text{изм}2}} \cos \beta_2, \quad (7)$$

де β_1 β_2 - диференціальні фазові зсуви між сигналами опорних і вимірювальних каналів, обумовлені нерівністю електричних довжин цих каналів.

20 Однозначність визначення β_1 β_2 , забезпечується умовами:

$$0 \leq \beta_1 < \pi/4;$$

$$\pi/4 < \beta_2 \leq \pi/2.$$

На цьому калібрування закінчується.

У режимі вимірювання в НВЧ тракт вимірювача включені короткозамикачі 8, 9 і
25 досліджуваний двополюсник 10.

Напряги на виходах синхронних детекторів 13, 14 мають вигляд:

$$U_{x1} = U_{\text{оп}1} + U_{\text{вим}1} \Gamma_x^2 + 2\sqrt{U_{\text{оп}1}U_{\text{вим}1}} \Gamma_x \cos(\alpha_x + \beta_1); \quad (8)$$

$$U_{x2} = U_{\text{оп}2} + U_{\text{вим}2} \Gamma_x^2 + 2\sqrt{U_{\text{оп}2}U_{\text{вим}2}} \Gamma_x \cos(\alpha_x + \beta_2), \quad (9)$$

30 де Γ_x , α_x - модуль і фаза коефіцієнта відбиття досліджуваного двополюсника 10. Блок керування й індикації 16 реалізує алгоритми:

$$\Gamma_x = \left[K_1 U_{x1} + K_2 U_{x2} + K_3 + \left(K_4 U_{x1}^2 + K_5 U_{x2}^2 + K_6 U_{x1} U_{x2} + K_7 U_{x1} + K_8 U_{x2} + K_9 \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}; \quad (10)$$

$$\sin \alpha_x = \frac{q_2 \cos \beta_1 - q_1 \cos \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)}; \quad (11)$$

$$\cos \alpha_x = \frac{q_2 \sin \beta_1 - q_1 \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)}, \quad (12)$$

35

$$\begin{aligned} \text{де } K_1 &= \frac{\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим}1} q_3}; & K_2 &= \frac{b - \sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим}2} q_3}; & K_3 &= \frac{\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{оп}1} U_{\text{вим}2} q_3}; & K_4 &= \frac{(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})^2}{U_{\text{вим}1}^2 q_3^2} - \frac{U_{\text{оп}2}}{U_{\text{вим}1} q_3}; \\ K_5 &= \frac{(b - \sqrt{\alpha b \gamma})^2}{U_{\text{вим}1}^2 q_3^2} - \frac{U_{\text{оп}1}}{U_{\text{вим}2} q_3}; & K_6 &= \frac{2(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})(b - \sqrt{\alpha b \gamma})}{U_{\text{вим}1} U_{\text{вим}2} q_3^2} + \frac{2\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим}1} U_{\text{вим}2} q_3}; \end{aligned}$$

$$K_7 = \frac{2(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим1}}^2 U_{\text{вим2}} q_3} + \frac{2(b - \sqrt{\alpha b \gamma})U_{\text{оп2}}}{U_{\text{вим1}} U_{\text{вим2}} q_3}; \quad K_8 = \frac{2(b - \sqrt{\alpha b \gamma})\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим2}}^2 U_{\text{вим1}} q_3} + \frac{2(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})U_{\text{оп1}}}{U_{\text{вим1}} U_{\text{вим2}} q_3};$$

$$K_9 = \frac{(\gamma^2 - 1)\alpha b}{U_{\text{вим1}}^2 U_{\text{вим2}}^2}; \quad \alpha = U_{\text{изм1}} U_{\text{оп2}}; \quad b = U_{\text{оп1}} U_{\text{оп2}}; \quad q_3 = \alpha + b - 2\sqrt{\alpha b \gamma}; \quad \gamma = \cos(\beta_1 - \beta_2);$$

$$\cos \beta_1 = \frac{U_1 - U_{\text{опт1}} - U_{\text{вим1}}}{2\sqrt{U_{\text{оп1}} U_{\text{вим1}}}}; \quad \cos \beta_2 = \frac{U_2 - U_{\text{опт2}} - U_{\text{вим2}}}{2\sqrt{U_{\text{оп2}} U_{\text{вим2}}}}; \quad q_1 = \frac{U_{x1} - U_{\text{опт1}} - U_{\text{вим1}} \Gamma_x^2}{2\sqrt{U_{\text{оп1}} U_{\text{вим1}} \Gamma_x}};$$

$$q_2 = \frac{U_{x2} - U_{\text{опт2}} - U_{\text{вим2}} \Gamma_x^2}{2\sqrt{U_{\text{оп2}} U_{\text{вим2}} \Gamma_x}}.$$

5 З урахуванням знаків для $\sin \alpha_x$ і $\cos \alpha_x$ у виразах (11), (12) фаза коефіцієнта відбиття досліджуваного двополюсника обчислюється в діапазоні від нуля до 360 градусів.

Аналіз виразів (1)...(12) показує, що при амплітудній модуляції НВЧ сигналу першої складової частотою Ω_1 , другої складової частотою Ω_2 , формуванні з кожної про модульованої складової сигналів опорного і вимірювального каналів вдається виділити на частоті $\Omega_1 + \Omega_2$ вимірювальну інформацію про модуль і фазу коефіцієнта відбиття. При цьому паразитні складові, обумовлені неідеальною розв'язкою між бічними плечима і між Н-плечем і Е-плечем хвилевідних трійників, придушуються виборчою системою (синхронними детекторами). Завдяки цьому забезпечується підвищення точності виміру. Диференціальні фазові зсуви між сигналами опорних і вимірювальних каналів β_1 , β_2 , обумовлені нерівністю електричних довжин цих каналів, при калібруванні визначаються на кожній із заданих частот, що сприяє підвищенню точності вимірювання. Крім того, вартість вимірника, що реалізує запропонований спосіб, значно знижується за рахунок використання подвійних хвилевідних трійників порівняно невисокої якості. Дійсно, виділення вимірювального сигналу на частоті $\Omega_1 + \Omega_2$ і заглушення інших бічних складових, що утворюються за рахунок неідеальної розв'язки трійників, допускає знизити вимоги до якості виробництва подвійних трійників.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб вимірювання комплексного коефіцієнта відбиття, заснований на поділі безперервного НВЧ сигналу на дві складові частоти Ω_1 та Ω_2 , амплітудної модуляції НВЧ сигналу першою складовою частотою Ω_1 та другою складовою частотою Ω_2 , який **відрізняється** тим, що з кожної промодельованої складової формують сигнали опорних і вимірювального каналів, попередньо виділяють сигнал першого опорного каналу з частотою Ω_1 при короткозамикачеві в першому опорному каналі та узгоджених навантаженнях та вимкнених досліджуваного двополюсника та короткозамикача в другому опорному каналі, і вимірюють амплітуду $U_{\text{оп1}}$, також попередньо виділяють сигнал другого опорного каналу з частотою Ω_2 при короткозамикачеві в другому опорному каналі та узгоджених навантаженнях та вимкнених досліджуваного двополюсника та короткозамикача у першому опорному каналі, і вимірюють амплітуду $U_{\text{оп2}}$, крім того попередньо виділяють сигнал вимірювального каналу з частотою Ω_2 при узгоджених навантаженнях у першому і другому опорних каналах та короткозамикачеві та вимкненого досліджуваного двополюсника, і вимірюють амплітуду $U_{\text{вим1}}$, попередньо виділяють сигнали вимірювального каналу з частотою Ω_1 при узгоджених навантаженнях у першому і другому опорних каналах та короткозамикачеві та вимкненого досліджуваного двополюсника, і вимірюють амплітуду $U_{\text{вим2}}$, попередньо виділяють сигнали з частотою $\Omega_1 + \Omega_2$ при трьох короткозамикачах, включених у перший і другий опорні канали та вимкненого досліджуваного двополюсника, вимірюють амплітуди U_1 та U_2 , виділяють сигнали з частотою $\Omega_1 + \Omega_2$ при двох короткозамикачах, включених у перший і другий опорні канали, та досліджуваного двополюсника, вимірюють амплітуди U_{x1} та U_{x2} , а модуль Γ_x і фазу α_x досліджуваного двополюсника визначають за такими формулами:

$$45 \quad \Gamma_x = \left[K_1 U_{x1} + K_2 U_{x2} + K_3 + (K_4 U_{x1}^2 + K_5 U_{x2}^2 + K_6 U_{x1} U_{x2} + K_7 U_{x1} + K_8 U_{x2} + K_9) \right]^{\frac{1}{2}};$$

$$\sin \alpha_x = \frac{q_2 \cos \beta_1 - q_1 \cos \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)};$$

$$\cos \alpha_x = \frac{q_2 \sin \beta_1 - q_1 \sin \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)};$$

$$\text{де } K_1 = \frac{\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим1}} q_3}; \quad K_2 = \frac{b - \sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим2}} q_3}; \quad K_3 = \frac{\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{оп1}} U_{\text{вим2}} q_3}; \quad K_4 = \frac{(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})^2}{U_{\text{вим1}}^2 q_3^2} - \frac{U_{\text{оп2}}}{U_{\text{вим1}} q_3};$$

$$K_5 = \frac{(b - \sqrt{\alpha b \gamma})^2}{U_{\text{вим1}}^2 q_3^2} - \frac{U_{\text{оп1}}}{U_{\text{вим2}} q_3};$$

$$K_6 = \frac{2(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})(b - \sqrt{\alpha b \gamma})^2}{U_{\text{вим1}} U_{\text{вим2}} q_3^2} + \frac{2\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим1}} U_{\text{вим2}} q_3};$$

$$K_7 = \frac{2(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим1}}^2 U_{\text{вим2}} q_3} + \frac{2(b - \sqrt{\alpha b \gamma})U_{\text{оп2}}}{U_{\text{вим1}} U_{\text{вим2}} q_3};$$

$$K_8 = \frac{2(b - \sqrt{\alpha b \gamma})\sqrt{\alpha b \gamma}}{U_{\text{вим2}}^2 U_{\text{вим1}} q_3} + \frac{2(\alpha - \sqrt{\alpha b \gamma})U_{\text{оп1}}}{U_{\text{вим1}} U_{\text{вим2}} q_3};$$

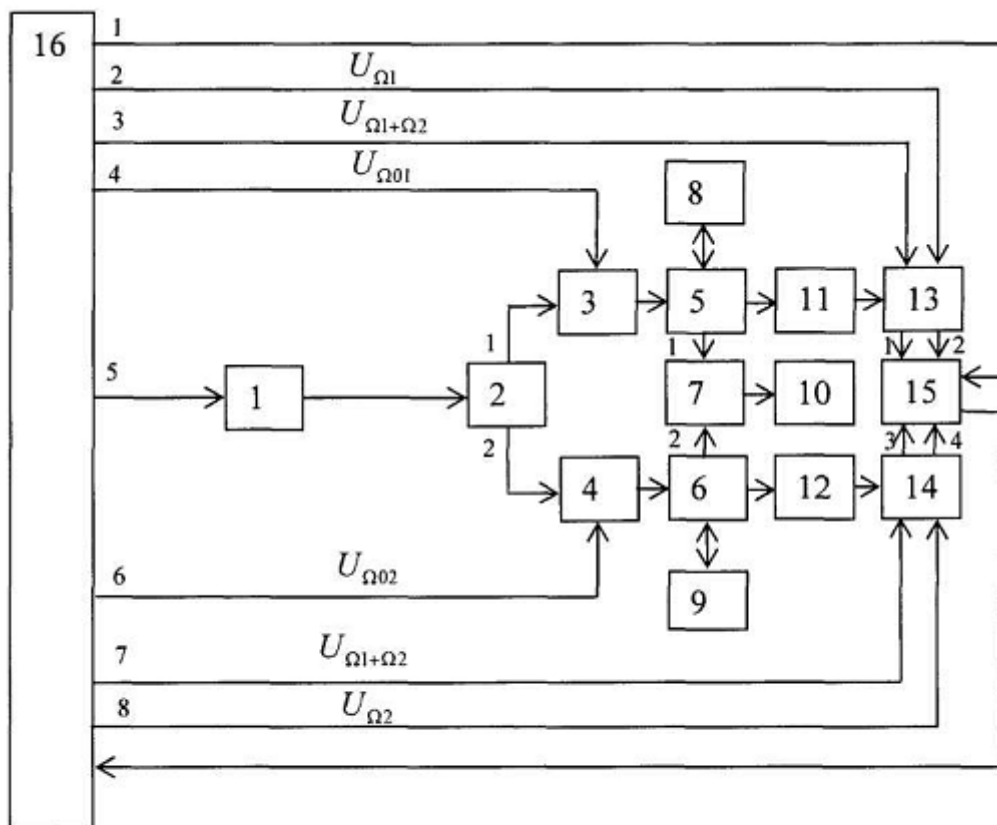
$$K_9 = \frac{(\gamma^2 - 1)\alpha b}{U_{\text{вим1}}^2 U_{\text{вим2}}^2}; \quad \alpha = U_{\text{вим1}} U_{\text{оп2}}; \quad b = U_{\text{оп1}} U_{\text{оп2}}; \quad q_3 = \alpha + b - 2\sqrt{\alpha b \gamma}; \quad \gamma = \cos(\beta_1 - \beta_2);$$

$$\cos \beta_1 = \frac{U_1 - U_{\text{опт1}} - U_{\text{вим1}}}{2\sqrt{U_{\text{оп1}} U_{\text{вим1}}}};$$

$$\cos \beta_2 = \frac{U_2 - U_{\text{опт2}} - U_{\text{вим2}}}{2\sqrt{U_{\text{оп2}} U_{\text{вим2}}}};$$

$$q_1 = \frac{U_{x1} - U_{\text{опт1}} - U_{\text{вим1}} \Gamma_x^2}{2\sqrt{U_{\text{оп1}} U_{\text{вим1}} \Gamma_x}};$$

$$q_2 = \frac{U_{x2} - U_{\text{опт2}} - U_{\text{вим2}} \Gamma_x^2}{2\sqrt{U_{\text{оп2}} U_{\text{вим2}} \Gamma_x}}.$$



Фиг. 1

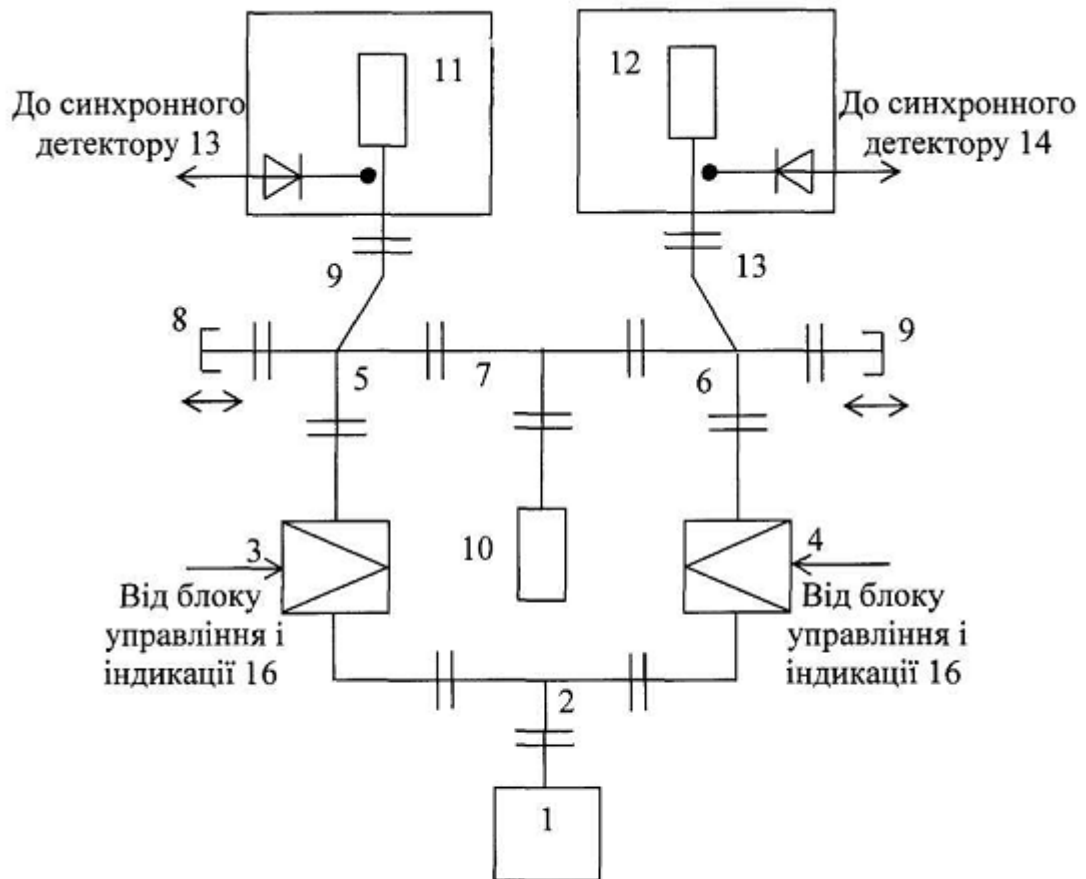


Fig. 2

Комп'ютерна верстка М. Ломалова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601