



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 56024

(13) A

(51) 7 G01R29/08

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

## (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЯРИЗАЦІЇ

1

2

(21) 2002086972

(22) 23 08 2002

(24) 15 04 2003

(46) 15 04 2003, Бюл. № 4, 2003 р.

(72) Тичинський Анатолій Володимирович,  
Ільницький Людвиг Якович, Фецул Андрій Володи-  
мирович(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ, УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
ЦЕНТР РАДІОЧАСТОТ ТА НАГЛЯДУ ЗА  
ЗВ'ЯЗКОМ

(57) 1 Пристрій для вимірювання параметрів поляризації, що містить перший, другий, третій та четвертий амплітудні детектори, який відрізняється тим, що в нього введена лінійна антенна система, перший вихід якої підключений до першого комутатора, а другий вихід - до другого комутатора, вихід першого комутатора підключений до першого блока визначення знаку, вихід якого підключений до першого підсилювача, вихід першого підсилювача підключений до сумарно-різницевого моста та до першого амплітудного детектора, вихід від першого амплітудного детектора підключений до блока визначення знаку до блока обробки сигналів, вихід якого підключений до індикатора, вихід від другого

комутатора підключений до другого блока визначення знаку, вихід якого підключений до другого підсилювача, вихід від другого підсилювача підключений до сумарно-різницевого моста та до другого амплітудного детектора, вихід якого підключений до блока обробки сигналів, перший вихід сумарно-різницевого моста підключений до третього амплітудного детектора, вихід якого підключений до блока обробки сигналів, другий вихід від сумарно-різницевого моста підключений до четвертого амплітудного детектора, вихід якого підключений до блока обробки сигналів, перший вихід від блока обробки сигналів підключений до блока керування підсилювачами та до блока керування комутаторами, вихід від блока керування комутаторами підключений до першого та другого комутаторів, до яких підключені перший та другий виходи генератора, другий вихід від блока обробки сигналів підключений до блока керування, вихід якого підключений до першого та другого блоків визначення знаку

2 Пристрій для вимірювання за п. 1, який відрізняється тим, що лінійна антенна система виконана як турнікетна, рупорна або дзеркальна антени

Винахід відноситься до радіовимірювань і може бути використаний в системах зв'язку, електромагнітній сумісності, радіовимірюваннях, антенній техніці

Відомим є пристрій для вимірювання поляризації електромагнітних хвиль [1], що містить послідовно з'єднану турнікетну антену, два подільника потужності, перший поляризаційний розділювач, чвертьхвильовий поляризатор, другий поляризаційний розділювач, перший амплітудний детектор, послідовно з'єднані другий подільник потужності та третій амплітудний детектор, послідовно з'єднані суматори потужності, четвертий амплітудний детектор, а також п'ятий амплітудний детектор, причому входи першого та другого подільника потужності з'єднані відповідно з другим та третім виходами першого поляризаційного розділювача,

другі виходи першого та другого подільника потужності з'єднані відповідно з першим та другим входами суматора потужності, а вхід п'ятого амплітудного детектора з'єднаний з другим виходом другого поляризаційного розділювача. Недоліком пристрою є вузька смуга вимірювань

Найбільш відомими за технічною сутністю до заявленого пристрою є вибраний в якості прототипу пристрій для вимірювання параметрів поляризації [2], що містить послідовно з'єднану антену, два подільника потужності, перший поляризаційний розділювач, чвертьхвильовий поляризатор, другий поляризаційний розділювач, перший амплітудний детектор, послідовно з'єднані другий подільник потужності та третій амплітудний детектор, послідовно з'єднані суматори потужності, четвертий амплітудний детектор, а також п'ятий ампліту-

(13) A

(11) 56024

(19) UA

дний детектор, причому входи першого та другого подільника потужності з'єднані відповідно з другим та третім виходами першого поляризаційного розділювача, другі виходи першого та другого подільника потужності з'єднані відповідно з першим та другим входами суматора потужності, а вхід п'ятого амплітудного детектора з'єднаний з другим виходом другого поляризаційного розділювача та шостого амплітудного детектора, суматор потужності, що виконаний у вигляді подвійного Т моста, причому шостий амплітудний детектор з'єднаний з Е плечем подвійного Т моста

Недоліком є те що, в схемі використовується сигнал з частотою прийнятої радіохвилі. Для збереження інформації про поляризацію обробка сигналу проводиться в вузлах побудованих на круглих хвильоводах. Круглі хвильоводи, що використані у пристрої не зберігають еліптичну поляризацію. Коефіцієнт перекриття по діапазону яких менше 2, що дає можливість проводити вимірювання тільки у вузькій смузі частот. У процесі обробки сигналу з'являється позовжня складова при поширенні в хвильоводі, що призводить до похибки, оскільки частина інформаційного сигналу втрачається на формування третьої складової. Відсутність підсилювачів у пристрої призводить до неможливості обробляти слабкі сигнали. Крім того не забезпечується повнота вимірювань поляризаційних характеристик радіохвилі, а саме кута нахилу поляризаційного еліпса.

В основу винаходу покладено завдання удосконалити пристрій для вимірювання параметрів поляризації шляхом введення до схеми лінійної антенної системи, конверторів, підсилювачів, сумарно-різницевого моста, блоку обробки сигналів, блока керування комутатором, блока керування підсилювачем, блоків визначення знаку, блоку обробки сигналу, індикатора, що дозволить забезпечити вимірювання кута нахилу поляризаційного еліпса, коефіцієнт перекриття принципово не обмежений нічим, обробку сигналу на низькій частоті та слабких сигналів і за рахунок цього отримаємо повноту вимірювань поляризації, широкосмуговий вимірювач, пристрій з високою чутливістю, обробку сигналу з незмінними параметрами поляризації вже після прийому сигналу лінійною антенною системою.

Пристрій для вимірювання параметрів поляризації містить перший, другий, третій та четвертий амплітудні детектори згідно з винаходом в нього введена лінійна антенна система, перший вихід якої підключений до першого комутатора, а другий вихід якої підключений до другого комутатора, вихід першого комутатора підключений до першого блоку визначення знаку, вихід якого підключений до першого підсилювача, вихід першого підсилювача підключений до сумарно-різницевого моста та до першого амплітудного детектора, вихід від першого амплітудного детектора підключений до блоку визначення знаку до блоку обробки сигналів, вихід якого підключений до індикатора, вихід від другого комутатора підключений до другого блоку визначення знаку, вихід якого підключений до другого підсилювача, вихід від другого підсилювача підключений до сумарно-різницевого моста та до другого амплітудного детектора, вихід

якого підключений до блоку обробки сигналів, перший вихід сумарно-різницевого моста підключений до третього амплітудного детектора, вихід якого підключений до блоку обробки сигналів, другий вихід від сумарно-різницевого моста підключений до четвертого амплітудного детектора, вихід якого підключений до блоку обробки сигналів, перший вихід від блоку обробки сигналів підключений до блоку керування підсилювачами та до блоку керування комутаторами, вихід від блоку керування комутаторами підключений до першого та другого комутаторів до яких підключені перший та другий виходи генератора, другий вихід від блоку обробки сигналів підключений до блоку керування, вихід якого підключений до першого та другого блоку визначення знаку.

Лінійна антенна система виконана на турнікетній, рупорній або дзеркальній антенах.

На фіг. представлена функціональна схема пристрою для вимірювання параметрів поляризації.

Пристрій для вимірювання параметрів поляризації складається з послідовно з'єднаної лінійної антенної системи [1], першого комутатора [2], першого блоку визначення знаку [3], першого підсилювача [4], сумарно-різницевого моста [5], першого амплітудного детектора [6], блоку обробки сигналу [7], індикатора [8], другий вихід від сумарно-різницевого моста [5] підключений до другого амплітудного детектора [9], вихід від якого підключений до блоку обробки сигналу [7], між першим підсилювачем [4] та блоком обробки сигналу підключеним є третій амплітудний детектор [10]. Окрім того пристрій містить послідовно з'єднану до лінійної антенної системи [1] другий комутатор [11], другий блок визначення знаку [12], другий підсилювач [13], вихід від якого підключений як до сумарно-різницевого моста [5] так і до четвертого амплітудного детектора [14]. Перший вихід від блоку обробки сигналу підключений до блоку керування [15] та до блоку керування комутаторами [16], блоку керування підсилювачами [17], вихід від блоку керування [15] підключений до першого блоку визначення знаку [3] та до другого блоку визначення знаку [12], блок керування комутаторами [16] підключений до першого комутатора [2] та до другого комутатора [11], блок керування підсилювачами [17] підключений до першого підсилювача [4] та до другого підсилювача [13], генератор [18], підключений до першого комутатора [2] та до другого комутатора [11].

Пристрій працює наступним чином на затискачах лінійної антенної системи [1] будуть наводитися електрорушійні сили

$$e_{\theta} = E_{\theta} \cos \omega t$$

$$e_{\varphi} = E_{\varphi} \cos(\omega t + \psi), \quad (1)$$

де індекси  $\theta$  і  $\varphi$  відносяться до відповідних антен (наприклад, з вертикальною і горизонтальною лінійною поляризацією),  $E_{\theta}$ ,  $E_{\varphi}$  - амплітуди коливань,  $\omega$  - колова частота,  $\psi$  - фазовий зсув,  $t$  - поточний час.

Використовуючи значення амплітуд  $E_{\theta}$  і  $E_{\varphi}$  і фазового зсуву  $\psi$ , знаходимо основні параметри поляризаційного еліпса [4]. Кут нахилу великої осі еліпса відносно осі  $\theta$

$$\gamma = \frac{1}{2} \arctg \frac{2m \cos \psi}{m^2 - 1} \quad (2)$$

і коефіцієнт еліптичності

$$K_\theta = \pm \sqrt{\frac{m \sin^2 \gamma - \sin 2\gamma \cos \psi + (1/m) \cos^2 \gamma}{m \cos^2 \gamma + \sin 2\gamma \cos \psi + (1/m) \sin^2 \gamma}} \quad (3)$$

де  $m = E_\theta / E_\varphi$  - відношення амплітуд взаємно перпендикулярних складових

Знак коефіцієнта еліптичності визначається фазовим зсувом  $\psi$ , який задає напрям обертання вектора напруженості електричного поля, що створюється досліджуваною хвилею

Отже, для визначення поляризаційних характеристик поля необхідно виміряти три величини  $E_\theta$ ,  $E_\varphi$  і  $\psi$ . Для цього пропонується використати схему, яка зображена на фіг. Для отримання електрорушійних сил згідно виразу (1) необхідно використати лінійну антенну систему, яка розкладає хвилю в лінійно-ортогональній базисі. У якості такої лінійної антенної системи можуть бути використані турнікетна антена, рупорна антена або дзеркальна антена. Розглянемо виконання лінійної антенної системи на прикладі турнікетної антени. Турнікетна антена [1], що складається з двох симетричних вібраторів  $A_\theta$  і  $A_\varphi$ , як було зазначено вище, може виконуватися по-різному в залежності від діапазону хвиль та умов експлуатації пристрою. Але незалежно від способу реалізації система повинна задовольняти таким умовам:

а) поляризаційна розв'язка між антенами  $A_\theta$  і  $A_\varphi$  повинна бути досить великою (більшою 30дБ),

б) діючі довжини антен  $A_\theta$  і  $A_\varphi$  повинні бути однаковими. Різниця діючих довжин вносить безпосередню похибку в визначення відношення  $m$ ,

в) узгодження кожної з антен з навантаженням повинно бути однаковим.

Чим точніше виконуються вказані вимоги, тим точніше визначаються напруги, що пропорційні напруженостям поля (1).

З затискачів антен  $A_\theta$  і  $A_\varphi$  напруги

$$\begin{aligned} U_\theta &= C_\theta e_\theta \\ U_\varphi &= C_\varphi e_\varphi \end{aligned} \quad (4)$$

передаються за допомогою фідерів  $\Phi$  на входи першого комутатора [2] і другого комутатора [11].

Постійні коефіцієнти  $C_\theta$  і  $C_\varphi$  для вірно збудованої турнікетної антени задовольняють рівність

$$C_\theta = C_\varphi \quad (5)$$

в положенні "вимірювання" перший комутатор [2] та другий комутатор [11] приєднують 1-ші входи до своїх виходів, завдяки чому напруги (4) безперешкодно (перший блок визначення знаку [3] і другий блок визначення знаку [12] не впливають на сигнали) подаються на перший підсилювач [4] і другий підсилювач [13], де підсилюються підсилювачами з ідентичними амплітудно-фазовими характеристиками.

Підсилені напруги

$$\begin{aligned} U_\theta &= k_\theta C_\theta e_\theta \\ U_\varphi &= k_\varphi C_\varphi e_\varphi \end{aligned} \quad (6)$$

підводяться до входів сумарно-різницевого моста (СРМ) [5] і до входів першого амплітудного детектора [10] та другого амплітудного детектора [14]. На вхід третього амплітудного детектора [9]

подається сумарна напруга від СРМ [5] у вигляді

$$\begin{aligned} U_c &= U_\Sigma \cos(\omega t + \psi_\Sigma) \\ U_\Sigma &= \sqrt{U_a^2 + U_b^2}, \\ U_a &= K_\theta C_\theta E_\theta + K_\varphi C_\varphi E_\varphi \cos \psi, \\ U_b &= K_\varphi C_\varphi E_\varphi \sin \psi, \\ \psi_\Sigma &= \arccos \frac{U_a}{\sqrt{U_a^2 + U_b^2}} \end{aligned} \quad (7)$$

Ця напруга подається на вхід третього амплітудного детектора [9].

На вхід четвертого амплітудного детектора [6] подається різницева напруга від СРМ [5] у вигляді  $U_p = U_\Delta \cos(\omega t - \psi_\Delta)$ ,

де

$$\begin{aligned} U_\Delta &= \sqrt{U_d^2 + U_b^2}, \quad U_d = K_\theta C_\theta E_\theta - K_\varphi C_\varphi E_\varphi \cos \psi, \\ \psi_\Delta &= \arccos \frac{U_d}{\sqrt{U_d^2 + U_b^2}} \end{aligned} \quad (8)$$

Різницева напруга подається на вхід четвертого амплітудного детектора [6]. На виході першого амплітудного детектора [10] утворюється напруга  $U_\theta = k_{d1} K_\theta C_\theta E_\theta = a_1 E_\theta$

де  $k_{d1}$  - коефіцієнт передачі амплітудного детектора [10],

$a_1$  - постійний множник.

На виході третього амплітудного детектора [9] отримуємо напругу  $U_{d2} = a_2 U_\Sigma$ .

На виході четвертого амплітудного детектора [6] отримуємо напругу  $U_{d3} = a_3 U_\Delta$ .

Тут  $a_2$  і  $a_3$  - постійні множники, зміст яких зрозумілий з принципової схеми пристрою.

Нарешті, з виходу другого амплітудного детектора [14] знімається напруга  $U_\varphi = a_4 U_\varphi$ .

де

$$a_4 = k_{d4} k_\varphi C_\varphi - \text{постійний множник} \quad (10)$$

Всі ці напруги подаються в блок обробки сигналів (БОС) [7], де виконуються такі операції: напруги  $U_{d2}$  і  $U_{d3}$  підносяться до квадрату і обчислюються всі параметри поляризаційного еліпсу. Щоб показати процес перетворення сигналів, приймемо, що  $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 1$ , тобто будемо розглядати нормалізовані сигнали  $U_\theta$ ,  $U_\varphi$ ,  $U_{d2}$  та  $U_{d3}$ . В цьому випадку, як видно з виразів (7), (8), (9), (10)

$$U_\theta = E_\theta \quad (11)$$

$$U_\varphi = E_\varphi \quad (12)$$

$$U_{d2} = \sqrt{E_\theta^2 + 2E_\theta E_\varphi \cos \psi + E_\varphi^2}, \quad (13)$$

$$U_{d3} = \sqrt{E_\theta^2 - 2E_\theta E_\varphi \cos \psi + E_\varphi^2}, \quad (14)$$

Піднесемо  $U_{d2}$  (13) і  $U_{d3}$  (14) в квадрат і знайдемо їх різницю

$$U_{d2}^2 - U_{d3}^2 = 4E_\theta E_\varphi \cos \psi \quad (15)$$

Використовуючи (11), (12) і (5) знаходимо

$$\cos \psi = \frac{U_{d2}^2 - U_{d3}^2}{4U_\theta U_\varphi} \quad (16)$$

Кут  $\psi$  може приймати додатні та від'ємні значення, але з формули (16) значення кута  $\psi$  визначається в межах від 0 до  $\pi$  при невизначеному знаку. Щоб визначити знак кута  $\psi$  використовується

ся перший блок визначення знаку (БВЗ) [3] і другий блок визначення знаку [12], який в основному режимі вимірювання під дією керуючих сигналів з блоку керування (БК) [15] замикає входні затискачі з вихідними, але при роботі в режимі визначення знаку кута  $\psi$  згідно з програмою блока БОС [7] входні затискачі від'єднуються від вихідних і між цими двома парами затисків вмикається фіксований фазообертач (може бути відрізок лінії передачі). Цей фазообертач зсуває фазу напруги  $U_{\phi}$  на постійний кут  $\psi_0$ . З виразу (16) в режимі вимірювання маємо

$$\psi \pm \psi_0 = \arccos \frac{(U'_{d2})^2 - (U'_{d3})^2}{4U_{\phi}U_{\phi}}, \quad (18)$$

де  $U'_{d2}$ ,  $U'_{d3}$  - амплітуди сумарного і різницевого сигналу при введенні зсуву  $\psi_0$ . Знак мінус береться, коли спрацьовує перший блок визначення знаку [3] і знак плюс, коли спрацьовує другий блок визначення знаку [12], тобто збільшується фазове запізнення напруги  $U_{\phi}$ . Якщо напруга  $e_{\phi}$  зсувається на кут  $\psi_0$  і виконується нерівність  $|\psi| > |\psi + \psi_0|$ , то кути  $\psi$  і  $\psi_0$  мають різні знаки, якщо  $|\psi| < |\psi + \psi_0|$ , то кути  $\psi$  і  $\psi_0$  мають однакові знаки. Коли спрацьовує перший блок визначення знаку [3], то при від'ємному куті  $\psi$  отримаємо  $|\psi| < |\psi - \psi_0|$ , а при додатному куті  $\psi$  задовольняється нерівність  $|\psi| > |\psi - \psi_0|$ . Два блоки визначення знаку [3] і [12] потрібні тому, що у випадку, коли  $\psi - \psi_0 < \pi$  потрібно змінити знак зсуву  $\psi_0$ . Після цієї операції на індикаторі І [8] з'являється інформація про значення і знак кута  $\psi$ , який змінюється по абсолютному значенню від 0 до  $\pi$ .

Параметр  $m$  визначається як

$$m = \frac{U_{\theta}}{U_{\phi}} = \frac{U_{d1}}{U_{d4}} \quad (19)$$

За формулами (2) і (3) обчислюється кут нахилу поляризаційного еліпса та коефіцієнт еліптичності. Знак в формулі (3) вибирається таким, який визначено для кута  $\psi$ , тому що при  $\psi < 0$  вектор  $E$  обертається по годинниковій стрілці, а при  $\psi > 0$  вектор  $E$  досліджуваного поля обертається проти годинникової стрілки.

Для того, щоб задовольнити умову  $a_1 = a_2 = a_3 = a_4$ , використовується схема калібрування, яка складається з генератора [18], який виробляє стабільну по амплітуді і фазі напругу, комутаторів  $K_{\theta}$  і  $K_{\phi}$ , блока керування комутаторами (БКК) [16] і блока керування підсилювачами (БКП) [17]. В режимі "калібрування" одна і та ж напруга подається на входи двох комутаторів, які передають цю напругу до підсилювачів. Сигнал калібрування проходить

той же шлях, що і турнікетною антеною, тому всі блоки вимірювального пристрою повністю контролюються.

На входах третього детектора [10], другого детектора [9], першого детектора [6], четвертого детектора [14] повинні задовольнятися такі умови калібрування

$$U_{d1} = U_{d4}, \quad (20)$$

$$U_{d2} = 2U_{d1} = 2U_{d4}, \quad (21)$$

$$U_{d3} = 0 \quad (22)$$

З умови (20) в блоку обробки сигналів виробляється сигнал нев'язку

$$U_d^{\varepsilon} = U_{d1} - U_{d4}, \quad (23)$$

який використовується для створення сигналу керування коефіцієнтів підсилення за допомогою БКП [17]. Якщо не задовольняється умова (22), то сигнал з виходу БОС [7]  $U_d^{\varepsilon} = \varepsilon$ , (24), де  $\varepsilon$  - мала величина, ініціює утворення в БКП [17] сигналів керування фазовими характеристиками підсилювачів останні будуть змінювати параметри фазо-коректуючих ланцюгів, щоб якомога точніше виконати умову (22). Умова (21) використовується для контролю правильності функціонування сумарно-різницевого моста. Тут також виробляється сигнал нев'язку

$$U_d^{\delta} = U_{d2} - 2U_{d1}, \quad (25)$$

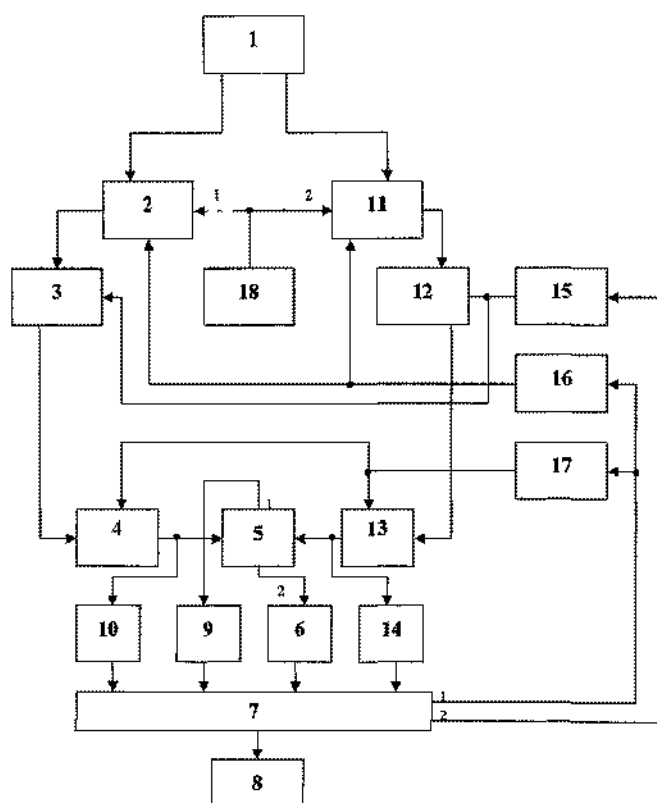
який служить для настройки моста.

Отже, при наявності схеми калібрування похибки вимірювання параметрів поляризації будуть визначатися напругами нев'язки (23), (24) і (25) в першу чергу. Тому потрібно збільшувати чутливість схеми калібрування і точність обробки сигналів в БОС [7]. Крім того, загальна похибка буде залежати від лінійності амплітудно-фазових характеристик підсилювачів, моста і детекторів.

Пристрій, що заявляється, забезпечить повноту вимірювань параметрів поляризації в широкому частотному та амплітудному діапазоні сигналів і за рахунок цього можна здійснити поляризаційну розв'язку і узгодження передавальних та приймальних антен, дослідження характеристик поширення радіохвиль зі складним рельєфом та сертифікацію антен.

#### ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

- 1 Авторське свідоцтво СРСР №1137897, кл G01R25/08, 1983р (аналог)
- 2 Авторське свідоцтво СРСР №1561050, кл G01R29/08, 1990р (прототип)



Функціональна схема пристрою для вимірювання параметрів  
поляризації

Fig.