Известия НАН Армении, Физика, т. 34, №4, с. 247-252 (1999)

УДК 621.396.96

# СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

## А.Г. ГУЛЯН, Г.А. ДВОЯН, Р.М. МАРТИРОСЯН, Г.А. ПИРУМЯН

#### Институт радиофизики и электроники НАН Армении

#### (Поступила в редакцию 23 сентября 1998 г.)

Предложен способ одновременного измерения четырех параметров Стокса (J, Q, U, V) СВЧ излучения, т.е. снятия полной поляризационной картины поля как для полностью и частично поляризованных, так и неполяризованных волн. Способ позволяет основную часть обработки СВЧ сигнала осуществить в одноканальном варианте, в результате чего существенно уменьшаются погрешности измерений. Приведена структурная схема поляриметра, основанного на изложенном способе.

Одной из актуальных задач современной радиофизики является измерение параметров Стокса, характеризующих поляризационные свойства СВЧ излучения. Для электромагнитного излучения, являющегося следствием стационарного физического процесса, одновременное определение параметров Стокса не существенно. Для электромагнитного излучения нестационарных процессов эти параметры должны определяться (измеряться) в таком временном интервале, в течение которого изменение поля несущественно (квазистационарное поле). Такое измерение поляризационных параметров назовем "одновременным".

Существующие СВЧ поляриметры или измеряют не все параметры Стокса, или многоканальны [1,2]. Для многоканальных СВЧ поляриметров из-за неидентичности каналов характерна невысокая точность измерений (относительно большие погрешности), а поляриметры, измеряющие не все параметры Стокса, не обеспечивают знание о полном поляризационном состоянии излучения. В настоящей работе предложен способ одновременного измерения четырех параметров Стокса как для полностью и частично поляризованного, так и для неполяризованного излучения. Данный способ позволяет основную часть обработки СВЧ сигнала осуществлять в одноканальном варианте, в результате чего существенно уменьшаются погрешности измерений.

Рассмотрим работу поляриметра при приеме сигнала наиболее общего вида – частично поляризованного (рис.1). В этом случае на выходах разделителя поляризации 5 имеем

$$\dot{E}_{x} = E_{0}e^{j[\alpha t + \varphi_{x}(t)]} + E_{x}e^{j[\alpha t + \varphi_{y}]},$$

$$\dot{E}_{y} = E_{0}e^{j[\alpha t + \varphi_{y}(t)]} + E_{y}e^{j[\alpha t + \varphi_{y}]},$$
(1)

где  $E_0$  – амплитуда напряженности,  $\varphi_x(t), \varphi_y(t)$  – случайные начальни фазы горизонтальной и вертикальной компонент неполяризованно части СВЧ сигнала,  $E_x, \varphi_y, E_y, \varphi_y$  – амплитуды напряженностей и на чальные фазы соответственно горизонтальной и вертикальной компонент поляризованной части СВЧ сигнала,  $\omega$  – циклическая частота принимаемого сигнала.



Рис.1. Структурная схема СВЧ-поляриметра.

Эти сигналы модулируются вторым 2 и третьим 3 модуляторами преобразовываются в смешанные сигналы щелевым мостом 6, затем повторно модулируются первым 1 и четвертым 4 модуляторами, сумми руются сумматором 8, усиливаются СВЧ усилителем 9 и подаются на вход детектора 10.

На вход детектора 10 поступает сигнал

$$\dot{E} = ke^{j\theta}A_4 \cdot A_3 \cdot A_2 \cdot A_1 \left\| \begin{array}{c} \dot{E}_x \\ \dot{E}_y \end{array} \right\|, \qquad (2)$$

где

 $A_{1} = \begin{bmatrix} f_{2}(t) & 0 \\ 0 & f_{3}(t) \end{bmatrix}$ 

- матрица преобразования второго 2 и третьего 3 модуляторов,

$$A_2 = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{vmatrix} 1 & -j \\ -j & 1 \end{vmatrix}$$

- матрица преобразования щелевого моста 6,

$$A_3 = \begin{vmatrix} f_1(t) & 0 \\ 0 & f_4(t) \end{vmatrix}$$

- матрица преобразования первого 1 и четвертого 4 модуляторов,

$$A_4 = \frac{\sqrt{2}}{2} \| 1 \|$$

– матрица преобразования сумматора 8, k – коэффициент усиления СВЧ усилителя 9,  $\theta$  – разность фаз, вносимая СВЧ усилителем 9,  $f_1(t) - f_4(t)$  – функции передачи первого, второго, третьего и четвертого модуляторов.

Модуляторы работают по принципу "да" или "нет". Когда на управляющий вход модулятора подается напряжение, тогда СВЧ сигнал поглощается, а при отсутствии напряжения СВЧ сигнал беспрепятственно проходит через него. Такие модуляторы могут быть выполнены на СВЧ поглощающих *p-i-n* аттенюаторах. По принципу "да" или "нет" работают также ключи (11-15), однако если на управляющем входе ключа есть напряжение, то низкочастотный сигнал проходит через него беспрепятственно, и наоборот, при отсутствии управляющего напряжения ключ разомкнут. Если учесть, что на управляющие входы модуляторов от формирователя сигналов 24 подаются импульсы, имеющие вид, показанный на рис.2 a,b,c,d то нетрудно видеть, что

$$f_1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при} \quad 2\pi n \le \Omega t \le \frac{2}{5}\pi + 2\pi n, \\ 1 & \text{при остальных значениях } \Omega t, \end{cases}$$

$$f_2(t) = \begin{cases} 0 & \text{при} & 2\pi n + \frac{2}{5}\pi \le \Omega t \le \frac{4}{5}\pi + 2\pi n, \\ 1 & \text{при остальных значениях } \Omega t, \end{cases}$$

$$f_{3}(t) = \begin{cases} 0 \quad при \quad 2\pi n + \frac{6}{5}\pi \le \Omega t \le \frac{8}{5}\pi + 2\pi n, \\ 1 \quad при \text{ остальных значениях } \Omega t, \end{cases}$$

$$f_4(t) = \begin{cases} 0 & \text{при} & 2\pi n + \frac{8}{5}\pi \le \Omega t \le 2\pi (n+1), \\ 1 & \text{при остальных значениях } \Omega t, \end{cases}$$

где Ω – циклическая частота модуляции.

На выходе детектора 10 имеем низкочастотный сигнал

$$U_D = \alpha \dot{E} \cdot \dot{E}^*, \tag{4}$$

(3)

огибающая которого показана на рис.2f, где  $\alpha$  — постоянный коэффициент, зависящий от параметров детектора.

Рассмотрим отдельные участки огибающей в отдельности. Участок  $U_{D1}$  (рис.2) получается, когда на управляющие входы второго модулятора 2 и первого ключа 11 подано напряжение, т.е. модулятор 2



Рис.2. Диаграммы управляющих импульсов (a,b,c,d) и огибающая низкочастотного сигнала (f).

заперт, а остальные модуляторы и ключи открыты. Тогда  $f_1(t) = 0$ ,  $f_2(t) = f_3(t) = f_4(t) = 1$ , и учитывая выражение (2), имеем

$$\dot{E}_{1} = ke^{j\theta} \frac{\sqrt{2}}{2} \|1 \| \cdot \| \cdot \| \frac{1}{0} \| \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \| \frac{1 - j}{-j} \| \cdot \| \frac{0}{0} \| \frac{0}{1} \| \cdot \| \frac{\dot{E}_{x}}{\dot{E}_{y}} \| = \frac{1}{2} ke^{j\theta} (1 - j)\dot{E}_{y}.$$
 (5)

С учетом уравнений (1), (4) и (5) напряжение  $U_{D1}$  будет

$$U_{D1} = \frac{\alpha k^2}{2} (E_0^2 + E_y^2).$$
 (6)

Так как в этом случае открыт только первый ключ 11, то сигнал  $U_{D1}$ , проходя через него и первый интегратор 16, преобразуется в постоянное напряжение, прямо пропорциональное  $U_{D1}$ , т.е.

$$U_1 = C(E_0^2 + E_v^2), (7)$$

где С – постоянный коэффициент.

Второй участок огибающей  $U_{D2}$  (рис.2) получается, когда заперт первый модулятор 1 и открыт второй ключ 12. Тогда  $f_1(t) = f_2(t) = f_3(t) = 1$ ,  $f_4(t) = 0$  и

Учитывая уравнения (1), (4), (8), имеем

$$U_{D2} = \frac{\alpha k^2}{4} \left( 2E_0^2 + E_x^2 + E_y^2 + 2E_x E_y \sin \Phi \right), \tag{9}$$

или аналогично выражению (7)

$$U_{2} = \frac{C}{2} (2E_{0}^{2} + E_{x}^{2} + E_{y}^{2} + 2E_{x}E_{y}\sin\Phi), \qquad (10)$$

где  $\Phi = \varphi_x - \varphi_y$  — разность фаз между горизонтальной и вертикальной составляющей поляризованной части СВЧ сигнала.

Аналогично выводам (7) и (10), получаем

$$U_5 = C(2E_0^2 + E_x^2 + E_y^2 + 2E_x E_y \cos \Phi);$$
(11)

$$U_{3} = \frac{C}{2} (2E_{0}^{2} + E_{x}^{2} + E_{y}^{2} - 2E_{x}E_{y}\sin\Phi), \qquad (12)$$

$$U_4 = C(E_0^2 + E_x^2). \tag{13}$$

Напряжения  $U_1, U_2, U_3, U_4, U_5$  с выходов интеграторов 16-20 подаются на входы устройства суммирования и вычитания 21, которое на выходе формирует сигналы, соответствующие параметрам Стокса

$$J = U_1 + U_4 = C(2E_0^2 + E_x^2 + E_y^2);$$
(14)

$$V = U_2 - U_3 = 2CE_x \cdot E_y \sin \Phi; \tag{15}$$

$$U = U_5 - (U_2 - U_3) = 2CE_x \cdot E_y \cos \Phi;$$
(16)

$$Q = U_1 - U_4 = C(E_x^2 - E_y^2).$$
<sup>(17)</sup>

Таким образом, на регистраторе 22 фиксируются все четыре параметра Стокса, т.е. полная поляризационная картина электромагнитного поля. Из выражений (14 – 17) видно, что для полностью поляризованной электромагнитной волны ( $E_0 = 0$ )

$$Q^2 + U^2 + V^2 = J^2; (18)$$

для частично поляризованной электромагнитной волны

$$Q^2 + U^2 + V^2 < J^2 ; (19)$$

для неполяризованной электромагнитной волны

$$Q = U = V = 0; J > 0.$$
 (20)

В лаборатории прикладной радиоастрономии ИРФЭ НАН РА был изготовлен макет поляриметра на длине волны 3 см, обеспечивающий следующие погрешности измерения параметров Стокса:  $\Delta U = \Delta J = 0,2 \text{ dB}, \ \Delta Q = \Delta V = 0,3 \text{ dB}.$  Работа выполнена в рамках темы 94 — 482, финансируемой из государственных централизованных источников РА.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Д.Б.Канарейкин и др. Поляризация локационных сигналов. М., Советское радио, 1966.
- 2. В.Н.Руденко, А.К.Корж. Поляриметр. АС СССР, №367393, кл G 01 R, 29. 08.1971.

# ԳՔՀ ԷԼԵԿՏՐԱՍԱԳԱԳՍԻՍԱԿԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՔԵՎԵՌԱՑՄԱՆ ԲՆՈՒՅՈՐ ԳՈՅԴԳՄՅՈՐՅ

# Ա.Գ. ՂՈՒԼՅՄՆ, Գ.Ա. ԴՎՈՅՄՆ, Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅՄՆ, Հ.Ա. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ

Առաջարկված է ԳՔՀ ճառագայթման Ստոքսի չորս պարամետրերի (J, Q, U, V) միաժամանակյա չափման եղանակ, որը թույլ է տալիս ստանալ ինչպես լրիվ և մասնակի բևեռացված, այնպես էլ չբևեռացված էլեկտրամագնիսական ալիքի բևեռացման լրիվ նկարագիրը։ Մեթոդը հնարավորություն է ընձեռում ԳՔՀ ազդանշանի մշակման զգալի մասը իրականացնել միուղի տարբերակով, ինչը էապես փոքրացնում է չափման սխալները։ Բերված է առաջարկված մեթոդի վրա հիմնված բևեռաչափի կառուցվածքային սխեման։

# METHOD OF POLARIZATION CHARACTERISTICS MEASUREMENT FOR THE MICROWAVE RADIATION

## A.G. GOULYAN, G.A. DVOYAN, R. M. MARTIROSSIAN, H.A. PIROUMYAN

A method for simultaneous measurement of four Stokes parameters (J, Q, U, V) for the microwave radiation is proposed. The method allows to obtain the complete polarization pattern for the completely and partially polarized, as well as unpolarized radiation. Measurement errors are significantly reduced due to application of a single-channel scheme. A structural scheme of such polarimeter is given.