

Устройство обработки поляризационных сигналов

Р.В. Первушин

Муромский институт (филиал) ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская д.23. E-mail: prv@pochta.ru

В докладе излагается принцип построения устройства обработки сигналов в поляризационных измерителях. Предложены варианты построения поляриметра с полным поляризационным анализом.

The report sets out the principle of the device for signal processing in the polarization measuring devices. The variants of the construction of the polarimeter with a full polarization analysis are proposed.

Необходимость увеличения информативности радиолокационных измерений в дистанционном зондировании окружающей среды, с целью дальнейшего её изучения, требует перехода от классической радиолокации, применяющей узкополосные зондирующие сигналы с монополяризацией, к технике использующей широкополосные и сверхширокополосные сигналы, а также применению анализа поляризационной структуры отражаемых и излучаемых природными объектами электромагнитных волн (ЭМВ) [1]. Полное представление о состоянии поляризации принимаемого радиотеплового излучения позволяет усовершенствовать алгоритмы восстановления пространственного распределения метеообъектов, получать новую информацию об их фазовом составе, о параметрах распределения в пространстве составляющих их частиц, и, следовательно, повысить достоверность радиометрических измерений [2].

Для построения мобильных РЛС метеорологического назначения чаще всего применяют инерционные поляризационные измерители с вращателем плоскости поляризации (ВПП) на эффекте Фарадея. Основным недостатком подобных измерителей является невозможность осуществления полного поляризационного анализа.

Предлагаемая модель поляризационного измерителя, позволяющего осуществлять полный поляризационный анализ, в качестве основного поляризационного модулятора использует волноводный ВПП на эффекте Фарадея. Для расширения функциональных возможностей (осуществление полного поляризационного анализа ЭМВ) в качестве рефлектора антенной системы применяется рефлектор с управляемой отражаемостью, который в зависимости от управляющего сигнала выполняет функции либо простого рефлектора, либо твистрефлектора. Таким образом, антенна совместно с Фарадеевским ВПП представляют собой последовательную цепь поляризационных преобразователей, которая изменяет поляризацию проходящего сигнала в соответствии с управляющими сигналами.

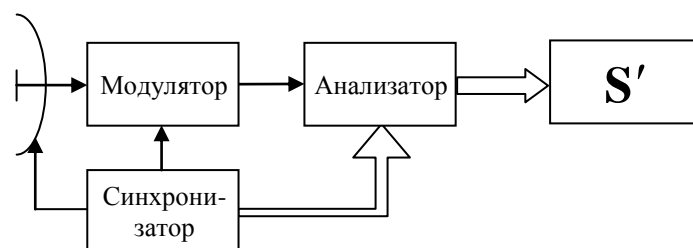


Рис.1. Структурная схема поляриметра

Применение энергетических параметров Стокса I, Q, U, V , позволяет описывать изменение поляризации волны в антенно-волноводных трактах, при приеме широкополосных и сверхширокополосных сигналов. Входные и выходные параметры Стокса антенно-волноводных элементов описываются при помощи известной матрицы Мюллера, которая представляет собой квадратную 4×4 -матрицу \mathbf{M} , связывающую четырехкомпонентные вектора Стокса \mathbf{S}' электромагнитной волны, прошедшей через элемент с поляризационным преобразованием, с вектором Стокса \mathbf{S} исходной волны

$$\mathbf{S}' = \mathbf{M} \times \mathbf{S}, \quad (1)$$

где

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix}, \quad \mathbf{S}' = \begin{pmatrix} I' \\ Q' \\ U' \\ V' \end{pmatrix}, \quad \mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix}.$$

Взаимодействие совокупности n поляризационных элементов на ЭМВ с вектором Стокса \mathbf{S} описывается произведением соответствующих матриц Мюллера

$$\mathbf{S}' = \mathbf{M}_n \times \mathbf{M}_{n-1} \times \dots \times \mathbf{M}_2 \times \mathbf{M}_1 \times \mathbf{S}, \quad (2)$$

причём матрицы элементов, последовательно проходимых ЭМВ, располагаются в соответствующей последовательности, справа налево. Знание матриц Мюллера отдельных элементов, расположенных на пути распространения ЭМВ, позволяет путём простых преобразований определить поляризационное состояние (вектор Стокса) ЭМВ, прошедшей через поляризационные преобразователи.

Под воздействием управляющего сигнала управляемый рефлектор антенной системы работает либо в режиме простого рефлектора, либо в режиме твистрефлектора, и его матрица Мюллера \mathbf{M}_P принимает соответственно вид

$$\mathbf{M}'_P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad \text{либо} \quad \mathbf{M}''_P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Для реализации управления отражаемостью рефлектора необходимо сформировать управляющий сигнал, описываемый переключательной функцией, который синхронизирован с сигналом, управляющим ВПП. Сигнал управления ВПП представляет, как правило, гармоническую функцию вида $\xi = \phi_m \sin(\Omega t)$, где ϕ_m - глубина поляризационной модуляции. Тогда сигнал управления для рефлектора можно представить в виде

$$F(t) = \frac{(1 + \text{sign}(\sin(0,5\Omega t)))}{2}.$$

Матрица Мюллера для СВЧ тракта поляриметра будет иметь вид

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \xi & -F(t) \cdot \sin \xi & -(1-F(t)) \sin \xi \\ 0 & \sin \xi & F(t) \cos \xi & -(1-F(t)) \cos \xi \\ 0 & 0 & -(1-F(t)) & -F(t) \end{pmatrix},$$

а развернутое выражение (1) примет вид

$$\begin{pmatrix} I' \\ Q' \\ U' \\ V' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \xi & -F(t) \cdot \sin \xi & -(1-F(t)) \sin \xi \\ 0 & \sin \xi & F(t) \cos \xi & -(1-F(t)) \cos \xi \\ 0 & 0 & -(1-F(t)) & -F(t) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} I \\ Q \\ U \\ V \end{pmatrix}.$$

Мощность сигнала, поступающая на анализатор, определяется выражением

$$\bar{P} = \frac{1}{2}(I' + Q') = \frac{1}{2}I + \frac{1}{2}Q \cos \xi - \frac{1}{2}U \cdot (F(t) \sin \xi) - \frac{1}{2}V \cdot ((1 - F(t)) \sin \xi). \quad (3)$$

В этом выражении, как нетрудно заметить, присутствуют все поляризационные компоненты (параметры Стокса) исследуемой ЭМВ.

Дальнейшая обработка сигнала происходит в анализаторе. Разложение (3) в ряд Фурье дает выражение

$$\bar{P} = \frac{1}{2} \left[I + QJ_0(\phi_m) \right] - UJ_1(\phi_m)F(t) \sin \Omega t - VJ_1(\phi_m)(1 - F(t)) \sin \Omega t + QJ_2(\phi_m) \cos 2\Omega t + \dots, \quad (4)$$

что позволяет сделать вывод о возможности применения в качестве анализатора поляризационных характеристик анализатор спектра сигнала. Основная задача при этом выбор базисных функций для анализатора спектра.

Традиционно в качестве базисных функций такого анализатора применяются гармонические сигналы. Анализ выражения (4), с целью определения необходимого значения глубины поляризационной модуляции сигнала в ВПП для получения оптимальных соотношений выходных параметров на выходе анализатора, позволяет сделать следующие выводы. Максимальная глубина модуляции в сигнале для параметров Стокса U и V составляет 0,29 при модуляции угла плоскости поляризации $\pm 53^\circ$, а для параметра Стокса Q - 0,462 при модуляции угла плоскости поляризации $\pm 87,5^\circ$. Для регистрации перечисленных параметров с равными уровнями глубин модуляции (0,28) глубина модуляции угла плоскости поляризации должна составить $\pm 50^\circ$.

Однако подобный набор опорных сигналов анализатора спектра не является оптимальным. Это обусловлено применением в настоящее время для обработки информации электронные средства содержащие элементы, работающие в ключевом режиме, например синхронный детектор или синхронный интегратор, либо те или иные вычислительные средства.

При использовании вычислительных средств для осуществления спектрального анализа, широко используются преобразования, содержащие в качестве ортогонального базиса кусочно-постоянные, знакопеременные функции. Подобные функции легко реализуются с помощью вычислительных средств, причем как аппаратно, так и программно, а их использование минимизирует время обработки, из-за значительного снижения количества операций умножения и сложения. Наибольшее распространение среди кусочно-постоянных, знакопеременных функций, используемых как базис для решения поставленной или аналогичных задач, получили функции Уолша.

При выборе в качестве демодулирующего базиса функции Уолша, максимальная глубина модуляции в сигнале для параметра Стокса U и V составляет 0,4 при модуляции угла плоскости поляризации $\pm 57^\circ$, для параметра Стокса Q - 0,61 при модуляции угла плоскости поляризации $\pm 87,5^\circ$. Для равенства параметров Стокса U, V и Q - глубин модуляции составляет 0,39 при глубине модуляции угла плоскости поляризации должна составить $\pm 86,5^\circ$.

Таким образом, применение поляризационного измерителя с управляемым отражателем апертурной антенны позволяет осуществить полный поляризационный анализ исследуемых ЭМВ. Переход к обработке информации в модуляционных поляриметрах средствами вычислительной техники и применение в измерителе анализатора спектра с базисными сигналами, которые описываются функциями Уолша, позволяет увеличить чувствительность по отдельным поляризационным каналам, в зависимости от режима работы на 32-38%, а при измерении всех параметров Стокса с одинаковой чувствительностью почти на 40%.

Литература

1. *Козлов Н.И., Логвин А.И., Сарычев В.А.* Поляризация радиоволн. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. – М.: Радиотехника. 2005. – 704 с.: ил. (Сер. Поляризация радиоволн. Ред. Серии А.И.Козлов).
2. *Первушин Р.В.* Спектральный анализ при поляризационных измерениях в радиотеплолокации // Радиотехнические и телекоммуникационные системы, -2011, - №1. С.53-55.
3. *Первушин Р.В.* Модернизированный поляризационный измеритель // Методы и устройства передачи и обработки информации, -2011, -№13. С.77-80.