

АЛГОРИТМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ФАЗОВЫХ ДИАГРАММ РАССЕЙНИЯ В МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ КВАЗИОПТИЧЕСКОГО МИКРОКОМПАКТНОГО ПОЛИГОНА

С. В. Мизрахи

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: smizrakhy@ire.kharkov.ua

Представлены результаты разработки алгоритмов измерения и обработки фазовых диаграмм рассеяния в многоканальной системе автоматизации для квазиоптического поляриметрического микрокомпактного полигона, реализующего метод квазиоптического волноводного моделирования. Приведены программно реализованные алгоритмы и результаты испытаний, иллюстрирующие возможности комплекса. Ил. 6. Библиогр.: 7 назв.

Ключевые слова: поляризационная матрица рассеяния, масштабное физическое моделирование, ближний миллиметровый диапазон, микрокомпактный полигон, автоматизация измерений.

Для экспериментального изучения поляризационных характеристик обратного и прямого рассеяния физических объектов предложен метод квазиоптического волноводного моделирования (КВМ) [1]. Метод КВМ может быть использован для модельных измерений поляризационных матриц рассеяния в ближнем миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах волн.

Согласно методу КВМ, исследуемый рассеиватель размещается внутри полого диэлектрического лучевода (ПДЛ) [2], который формирует поле основной моды HE_{11} , имеющей практически плоский фазовый фронт и гладкое амплитудное распределение с максимумом на оси ПДЛ. Поляризационная изотропность ПДЛ позволяет передавать без искажения волны любых поляризаций, а использование квазиоптических принципов при построении средств реализации метода КВМ – микрокомпактных полигонов (МКП) [3] – обес-

печивает возможность проведения измерений поляризационных характеристик рассеяния.

В работе [4] представлен квазиоптический поляриметрический микрокомпактный полигон (ПМКП), упрощенная схема которого приведена на рис. 1. Автоматизированное управление измерениями, сбор, обработка и выдача данных осуществляется системой автоматизации 17, выполненной на базе *IBM PC* и крейта *SAMAC* с набором функциональных модулей. Указанная система автоматизации позволяет вести автоматизированные измерения в одноканальном режиме либо амплитудных характеристик прямого или обратного рассеяния, либо фазовых, что ограничивает возможности ПМКП. Кроме того, имеется ряд очевидных трудностей сопряжения системы *SAMAC* с современными *PC* как на программном, так и на аппаратном уровне.

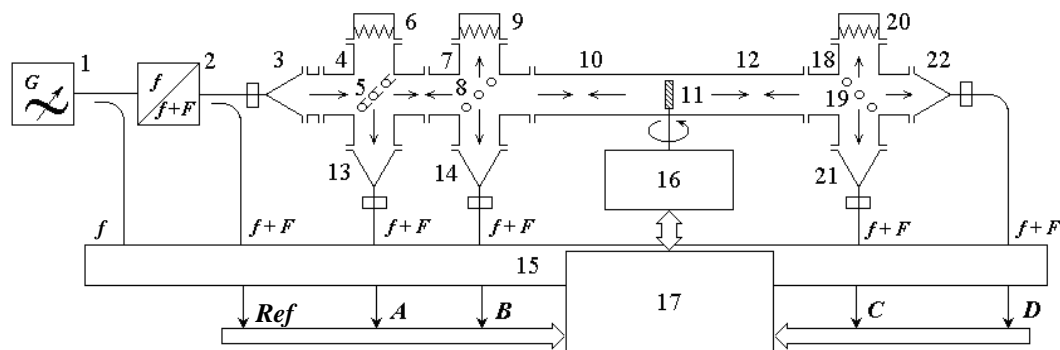


Рис. 1. Квазиоптический поляриметрический микрокомпактный полигон: 1 – генератор сигналов; 2 – фазовый сдвигатель частоты; 3, 13, 14, 21, 22 – возбуждители ПДЛ; 4, 7, 18 – квазиоптические направленные делители мощности; 5, 8, 19 – поляризующие проводящие решетки; 6, 9, 20 – согласованные нагрузки; 10, 12 – секции ПДЛ; 11 – измеряемый рассеиватель; 15 – приемная система; 16 – позиционер; 17 – система управления, сбора, обработки и выдачи данных

Поскольку промежуточная частота F , на которой ведется прием четырех измерительных синусоидальных сигналов A , B , C , D и опорного

сигнала Ref , (см. рис. 1), составляет несколько сотен герц и обработка должна осуществляться одновременно по пяти каналам, мы сочли целесо-

образным использовать в качестве устройства сбора и обработки информации относительно дешевый и производительный модуль E14–140 фирмы L-Card [5]. Устройство E14–140 представляет собой модуль с интерфейсом USB 1.1. Модуль содержит 14-битный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) с частотой дискретизации 100 кГц и обладает возможностью синхронизировать АЦП, которая программно реализуется на уровне управляющего микроконтроллера.

Цель данной работы – разработка программных алгоритмов измерения и обработки фазовых диаграмм рассеяния для многоканальной системы автоматизации измерений квазиоптического ПМКП.

1. Постановка задачи и метод решения.

Для одновременного измерения фазовых диаграмм рассеяния в четырех измерительных каналах A, B, C, D (рис. 1) разработан алгоритм, представленный на рис. 2, где использован известный метод, применяемый для измерения разности фаз двухлучевым осциллографом [6].

Так как устройство E14–140 является многоканальным АЦП и обладает встроенной программой синхронизации, то вначале измерений осуществляется синхронизация сигналов в каждом из каналов A, B, C, D по опорному сигналу канала Ref.

Рассмотрим работу алгоритма при измерении сигнала в каком-либо одном канале, например, в канале A.

Считаем, что оцифрованный опорный сигнал хранится в массиве Ref [N], где N – число дискрет, а оцифрованный сигнал канала A хранится в массиве Buf [N].

На первом этапе вычисляется период колебания T оцифрованного опорного сигнала Ref. Для этого вводится переменная-счетчик NulCNT, которая увеличивается на единицу каждый раз, когда синусоидальный сигнал переходит из области отрицательных значений в область положительных и наоборот. Таким образом, при начальном значении NulCNT = 0 периоду одного полного синусоидального колебания соответствует значение NulCNT = 2.

Затем измеряется время сдвига сигнала в канале A относительно Ref и проводится поиск единственно существующей точки pnul, до которой синусоидальный сигнал в канале A переходит из отрицательной области значений в положительную.

Далее вычисляется сдвиг фазы сигнала в канале A, относительно Ref по формуле $Phase = pnul / T * 360k$, где k – коэффициент, который определяется при градуировке показаний программного фазометра (рис. 2).

Параллельная обработка сигналов в каналах B, C, D проводится аналогично.

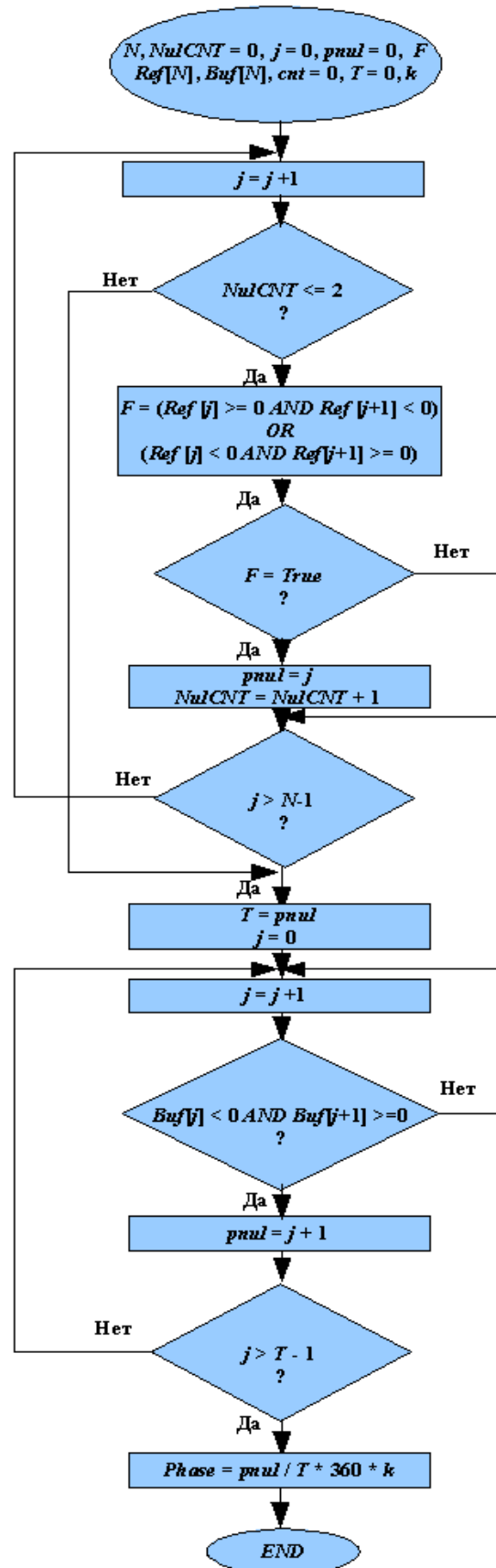


Рис. 2. Алгоритм измерения фазовой диаграммы рассеяния

Для проверки представленного алгоритма измерения фазовых диаграмм рассеяния было выполнено измерение амплитудно-фазовых диаграмм обратного рассеяния (ДОР) квадратных металлических пластин, для которых задача рассеяния достаточно точно решена методом геометрической теории дифракции (ГТД) [7]. Как видно из рис. 3, зная начальную фазу из расчета ДОР пластины по методу ГТД, легко совместить эксперимент и теорию. Однако, если необходимо исследовать характеристики рассеяния объекта сложной формы и состава, для которого не существует теории, как правило сложно или невозможно интерпретировать характер фазовых диаграмм рассеяния. Это связано с тем, что программно реализованный однопериодный фазометр (рис. 2) ограничен диапазоном измерения разности фаз, лежащим в области $0-360^\circ$. Для преодоления этого ограничения нами разработан алгоритм обработки ДОР (рис. 4), в котором происходит сшивание фазовой характеристики с учетом скачков фазы в пределах 360° .

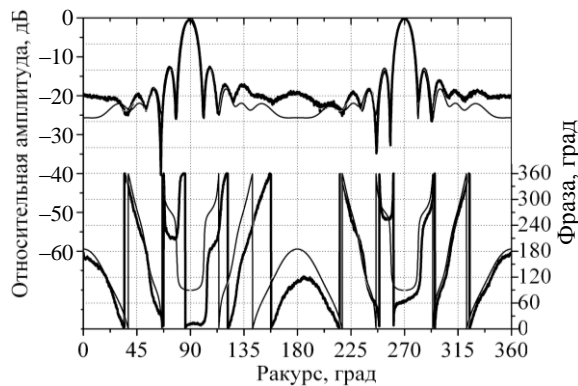


Рис. 3. Амплитудно-фазовая ДОР для металлической пластины 10×10 мм, VV-поляризация, 75 ГГц: тонкая линия – теория, ГТД; толстая – эксперимент

2. Алгоритм обработки ДОР. Полагаем, что измеренное системой автоматизации 17 (рис. 1) значение разности фаз между измерительным и опорным сигналами хранится в массиве $Phase[N]$, где N – число точек, приходящихся на полный оборот исследуемого объекта в азимутальной плоскости. На каждом шаге i вычисляется разность $Delta$ для текущего значения $Phase[i]$ и предыдущего $PreviousPhase$. Если значение $Delta$ находится в пределах $350-360^\circ$, то, учитывая ее знак, обрабатывается каждое последующее значение $Phase[i]$ согласно алгоритму, приведенному на рис. 4. Если $Delta < 0$, то из каждого последующего значения $Phase[i]$ вычитается величина $Delta \cdot cnt$; если $Delta > 0$, то к каждому последующему значению $Phase[i]$ добавляется величина $Delta \cdot cnt$, где cnt – счетчик скачков фазы в пределах $350-360^\circ$. Примеры работы алгоритма представлены на рис. 5 и 6.

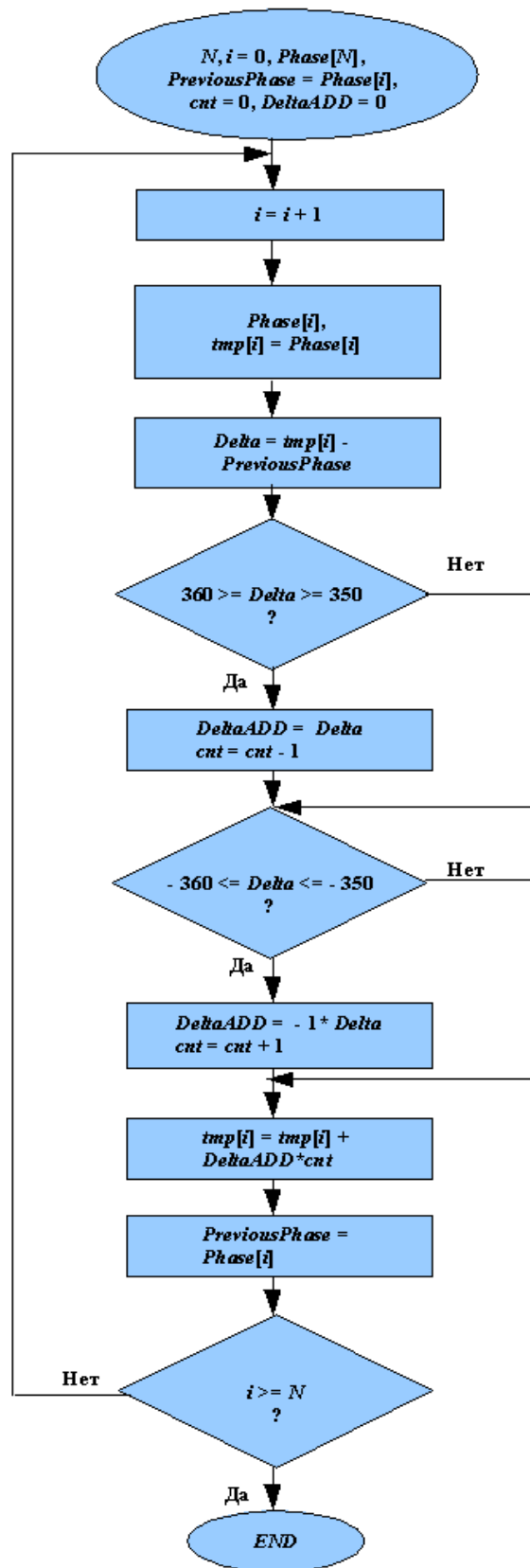


Рис. 4. Алгоритм обработки фазовой ДОР

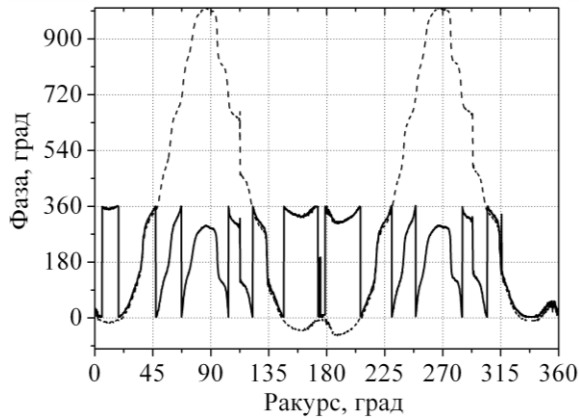


Рис. 5. Фазовая ДОР для металлической пластины 13×13 мм, VV-поляризация, 75 ГГц: пунктирная линия – обработанная экспериментально измеренная ДОР, сплошная линия – экспериментально измеренная ДОР

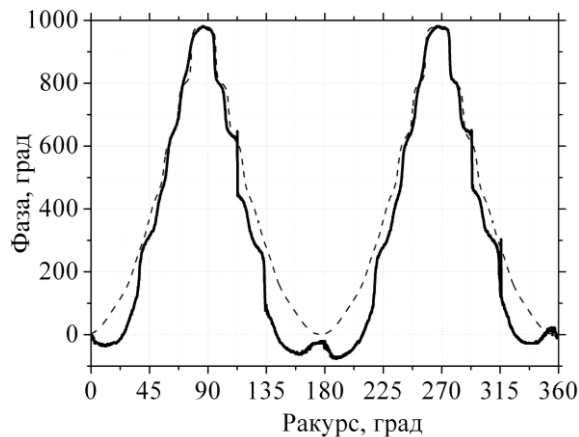


Рис. 6. Фазовая ДОР для пластины 13×13 мм, VV-поляризация, 75 ГГц: сплошная линия – экспериментально измеренная обработанная фазовая ДОР, пунктирная линия – обработанная теоретическая фазовая ДОР, метод ГТД

Выводы. В результате проведенной работы создана автоматическая пятиканальная система измерения амплитудно-фазовых характеристик рассеяния для микрокомпактного полигона, в которой программно реализованы алгоритмы измерения и обработки фазовых диаграмм.

По сравнению с предыдущими работами при использовании метода квазиоптического волноводного моделирования [3, 4] имеется возможность проводить одновременные измерения диаграмм двух амплитудных и двух фазовых компонент поляризационной матрицы рассеяния, что позволяет повысить скорость и точность измерений.

На примере сравнения экспериментальных характеристик обратного рассеяния для квадратной пластины с теорией ГТД [7] можно оценить точность измерений фазовых ДОР.

Разработанные алгоритмы измерения и обработки фазовых диаграмм рассеяния можно использовать в дальнейшем для проведения исследований с использованием ПМКП.

В заключение автор выражает благодарность В. К. Киселеву, П. К. Нестерову и Л. И. Красникову за полезные обсуждения и техническую помощь.

1. Кисельов В. К. Квазіоптичний хвилеводний метод дослідження характеристик розсіяння фізичних об'єктів у субміліметровому діапазоні електромагнітних хвиль // Доп. НАН України. – 1995. – № 11. – С. 60–62.
2. А. с. 302054 СССР. Диэлектрический лучевод субмиллиметрового диапазона волн / А. Н. Ахизер, А. И. Горошко, Б. Н. Князьков и др. // Открытия. Изобретения. – 1972. – № 8. – С. 235.
3. Kiseliov V. K., Kushta T. M., Nesterov P. K. "Quasi-Optical Waveguide Modeling Method and Micro-Compact Scattering Range for the Millimeter and Submillimeter Wave Bands" // IEEE Transactions on Antennas & Propagations. – 2001. – AP-49, No. 5. – P. 784–792.
4. Киселев В. К., Мизрахи С. В., Нестеров П. К. Квазиоптический поляриметрический микрокомпактный полигон для масштабного моделирования характеристик обратного и прямого рассеяния объектов в ближнем миллиметровом диапазоне волн // 17-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2007): Материалы конф. – Севастополь: Вебер, 2007. – С. 675–677.
5. <http://lcard.ru/products/external/e-140>
6. Дворяшин Б. В., Кузнецов Л. И. Радиотехнические измерения. – М.: Сов. радио, 1978. – С. 120–121.
7. Ross R. A. "Backscattering from Square Plates Illuminated With Vertical Polarization" // IEEE Transactions on Antennas & Propagations. – 2006. – AP-54, No. 1. – P. 272–275.

THE MEASUREMENT AND HANDLING ALGORITHMS OF PHASE SCATTERING DIAGRAMS IN THE MANY CHANNEL AUTOMATED SYSTEM OF QUASIOPTICAL MICROCOMPACT RANGE

S. V. Mizrakhly

The results of developing the measurement and handling algorithms of phase scattering diagrams in the many channel automated system of quasi-optical polarimetric microcompact range are presented. It is used for realizing the quasi-optical waveguide modeling method. The program algorithms and testing results describes the complex possibilities are presented.

Keywords: polarization scattering matrix, scale physical modeling, near millimeter range, microcompact range, measurements automatization.

АЛГОРИТМИ ВИМІРЮВАННЯ ТА ОБРОБКИ ФАЗОВИХ ДІАГРАМ РОЗСІЯННЯ В БАГАТОКАНАЛЬНІЙ СИСТЕМІ АВТОМАТИЗАЦІЇ КВАЗІОПТИЧНОГО МІКРОКОМПАКТНОГО ПОЛІГОНА

С. В. Мізрахі

Представлено результати розробки алгоритмів вимірювання та обробки фазових діаграм розсіяння в багатоканальній системі автоматизації квазіоптичного поляриметричного мікрокомпактного полігона, що реалізує метод квазіоптичного хвилеводного моделювання. Наведено програмні алгоритми та результати випробувань, що говорять про можливість комплексу.

Ключові слова: поляризаційна матриця розсіяння, масштабне фізичне моделювання, ближній міліметровий діапазон, мікрокомпактний полігон, автоматизація вимірювань.

Рукопись поступила 17 августа 2009 г.