

УДК 621.317.7

А.С. Иванов, Р.О. Рязанцев, А.М. Александрин, К.В. Лемберг, Ю.П. Саломатов

Диагностика линзовых антенн с использованием сканера ближнего поля

Описана конструкция плоского сканера ближнего поля и приведены примеры исследования с его помощью амплитудно-фазовых распределений двух типов линзовых антенн. Показано, что разработанный сканер позволяет эффективно выявлять причины неудовлетворительных характеристик антенн при их разработке.

Ключевые слова: сканирование ближнего поля, амплитудно-фазовое распределение, линзовые антенны.

При разработке сложных антенных систем на этапе макетирования перед разработчиком зачастую встает задача выяснения причин неудовлетворительных характеристик разрабатываемого изделия, например повышенного уровня боковых лепестков апертурной антенны. Наиболее полную информацию о причинах неудовлетворительной работы такой антенны можно получить, изучив амплитудно-фазовое распределение (АФР) в ее раскрыве. Для измерения амплитудно-фазового распределения может быть использован сканер ближнего поля, состоящий из устройства позиционирования, измерительного зонда, прибора для измерения комплексных коэффициентов передачи и системы управления сканированием. Сканирование может осуществляться по поверхностям различной формы. Для апертурных, в частности линзовых антенн, наиболее подходящим является сканирование на плоскости, которое, кроме того, проще всего реализуется технически. Использование сканирования ближнего поля для диагностики антенн и расчета их характеристик известно с 70-х годов прошлого века [1], а в настоящее время измерительные комплексы для ближнепольных измерений серийно выпускаются рядом фирм [2, 3]. В данной работе описана конструкция сканера ближнего поля, который был разработан для целей проведения диагностики апертурных антенн. Сканер отличается от существующих аналогов отсутствием в конструкции датчиков положения зонда, что позволяет существенно упростить и удешевить ее.

Сканер представляет собой комплекс аппаратуры, находящейся под управлением специальной компьютерной программы. Блок-схема комплекса приведена на рис. 1. В его состав входят векторный анализатор цепей (ВАЦ), набор измерительных зондов и устройство позиционирования зонда, изготовленное из станочного алюминиевого профиля.

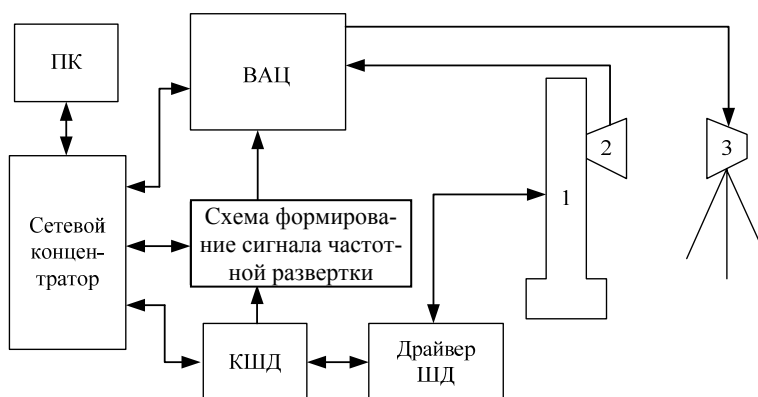


Рис. 1. Блок-схема сканера ближнего поля: 1 – плоский сканер; 2 – зонд; 3 – измеряемая антенна

Для перемещения зонда используются шаговые двигатели (ШД), управление которыми осуществляется при помощи контроллера и драйвера ШД. Управляющее программное обеспечение написано на языке C++/CLI и установлено на персональном компьютере (ПК). Связь ПК с контроллером и ВАЦ осуществляется через сеть Ethernet. В качестве измерительного зонда используется отрезок прямоугольного волновода с открытым концом. Коэффициент перекрытия по частоте такого зонда

составляет около 1,6, что позволяет исследовать широкополосные антенны сразу во всей рабочей полосе.

Особое внимание при разработке сканера было уделено реализации режима непрерывного сканирования без использования датчиков положения зонда. При непрерывном сканировании измерение коэффициента передачи проводится в процессе движения зонда без его остановки, что позволяет существенно увеличить скорость измерения АФР. При этом зонд движется от одного края области сканирования к другому с фиксированной скоростью, например вдоль вертикальной координаты, затем смещается вдоль горизонтальной координаты и движется в обратном направлении вдоль вертикальной координаты с той же скоростью. В процессе измерения при движении зонда в обратном направлении используется обратная частотная развертка для того, чтобы измерения, выполненные на одной частоте, лежали в пространстве на одной линии.

Для реализации возможности непрерывного сканирования необходима синхронизация движения измерительного зонда и процесса измерения коэффициента передачи. Для этого следует обеспечить, во-первых, подачу в нужный момент времени сигнала старта частотной развертки на вход векторного анализатора цепей, и, во-вторых, получение измеренных данных от ВАЦ после окончания развертки.

Для формирования сигнала частотной развертки было использовано отслеживание текущего положения зонда по сигналам, приходящим на драйвер шаговых двигателей. Такое решение обеспечивает высокое быстродействие и точность без использования каких-либо датчиков положения. На драйвер ШД приходят сигналы направления вращения (сигнал «DIR») и сигнал поворота на угол, определяемый конструкцией двигателя и драйвера (сигнал «STEP»). Для подачи сигнала развертки в нужное время в разработанной схеме применен подсчет количества импульсов «STEP», приходящих на соответствующий вход драйвера ШД. Подсчет начинается синхронно с началом движения зонда. Счетчик импульсов реализован на микроконтроллере ATmega328, команда начала и окончания счета передается на счетчик по сети Ethernet из основной программы. Сигнал развертки с выхода счетчика подключен к входу внешней развертки ВАЦ с использованием опторазвязки (см. рис. 1).

Получение измеренных данных после окончания частотной развертки было реализовано посредством специальной программы, устанавливаемой на анализатор цепей и собирающей данные после каждого измерения в собственный буфер. Сигналом для сбора данных при этом служит программное событие, генерируемое ВАЦ после каждого измерения. В конце каждого столбца (строки), пока зонд движется перпендикулярно направлению сканирования, происходит отправка всех данных по сети в основную программу и очистка буфера. Максимальная скорость движения зонда в процессе сканирования при этом ограничивается в первую очередь не механическими параметрами сканера, а параметрами измерения: числом точек в области сканирования, расстоянием между ними, шириной фильтра ПЧ измерительного прибора. Скорость, с которой движется зонд при непрерывном сканировании, выбирается такой, чтобы векторный анализатор успел до прихода следующего сигнала развертки произвести измерение и сохранение данных.

За исключением векторного анализатора цепей разработанный сканер состоит из недорогих доступных компонентов. Он установлен в безэховой камере и имеет размер области сканирования 2700×2000 мм², при этом точность позиционирования зонда по каждой из трех осей не хуже 0,1 мм, а отклонение поверхности сканирования от плоскости не более 0,5 мм. Внешний вид сканера показан на рис. 2.

С помощью разработанного сканера возможно проведение диагностики линзовых антенн. Линза Люнеберга, предложенная в [3], состоит из плоских слоев диэлектрика различного диаметра, набранных на одной оси таким образом, чтобы эффективная диэлектрическая проницаемость по радиусу линзы изменялась по заданному закону. Макет такой линзы показан на рис. 3, а. При проведении испытаний данного макета измерения в дальней зоне по-

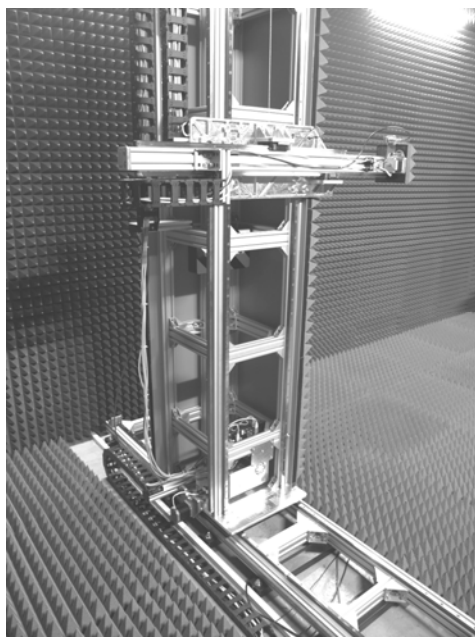


Рис. 2. Внешний вид плоского сканера

казали, что он имеет повышенный уровень боковых лепестков относительно расчетного. Причиной этого могут быть как неточности в наборе слоев линзы, так и, например, переоблучение ее края. Для выяснения причин повышенного уровня боковых лепестков был использован разработанный сканер ближнего поля. Было установлено, что амплитудное и фазовое распределения в раскрыве антенны имеют существенную неравномерность вследствие слишком уплотненного расположения диэлектрических слоев в центральной области линзы (рис. 3, а, б).

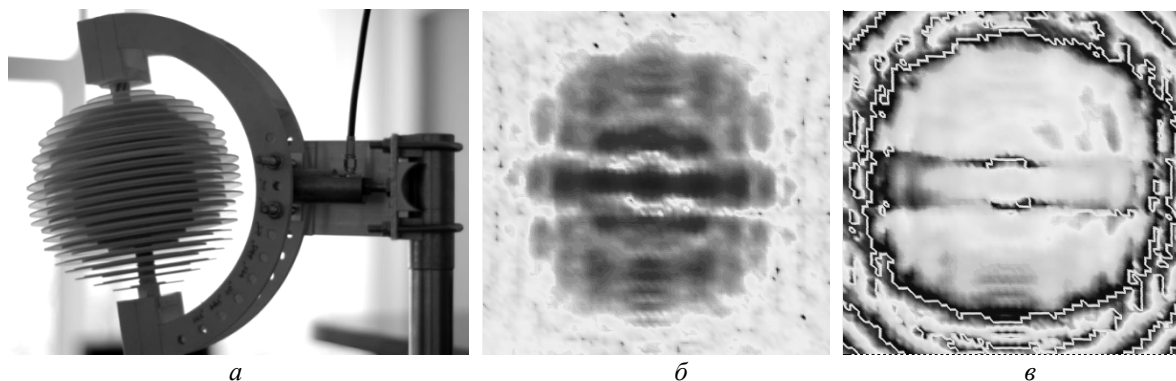


Рис. 3. Макет линзы Лунеберга (а), амплитудное (б) и фазовое (в) распределения в ее раскрыве

Еще один пример использования сканера – диагностика антенной решетки, состоящей из линз Микаэляна (рис. 4, а) [5, 6]. Решетка состоит из четырех подрешеток, между которыми мощность разделяется с помощью волноводного делителя. В данном случае причиной низкого коэффициента усиления являлось неравномерное деление мощности и расфазировка подрешеток, что хорошо видно из измеренных амплитудно-фазовых распределений (рис. 4, б, в).

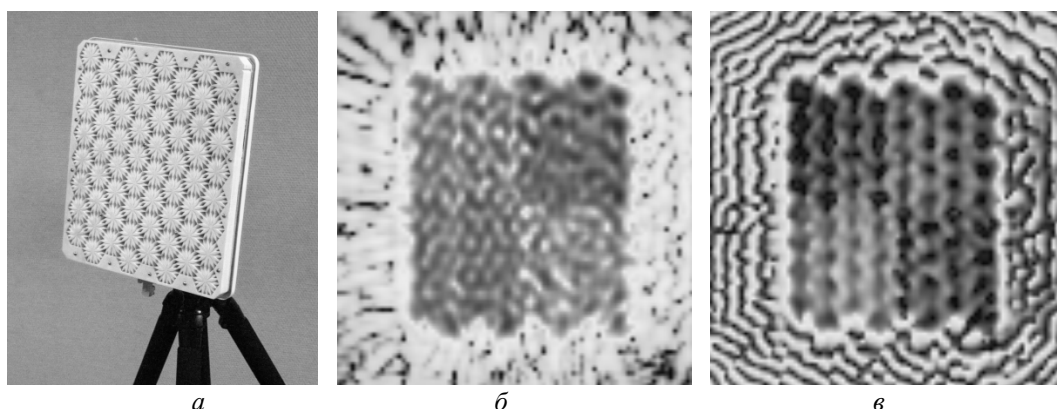


Рис. 4. Макет антенной решетки линзовых излучателей (а), амплитудное (б) и фазовое (в) распределения в ее раскрыве

Таким образом, разработанный сканер ближнего поля позволяет выполнять задачи диагностики апертурных, и в частности линзовых антенн. При этом за счет примененных технических решений он отличается простотой реализации и невысокой стоимостью компонентов. В дальнейшем планируется разработка алгоритмов и программного обеспечения для расчета по измеренным амплитудно-фазовым распределениям диаграмм направленности в дальней зоне измеряемой антенны, что позволит существенно расширить возможности разработанного комплекса.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (базовая часть НИР, выполняемой по государственному заданию в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», договор № 02.G25.31.0041).

Литература

1. Бахрах Л.Д. Методы измерения параметров излучающих систем в ближней зоне / Л.Д. Бахрах, С.Д. Кременецкий, А.П. Курочкин и др. – Л.: Наука, 1985. – 272 с.

2. Nearfield systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nearfield.com/products/Near-FieldSystems.aspx>, свободный (дата обращения: 03.09.2014).
3. Комплексы для измерения параметров антенн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://trimcom.ru>, свободный (дата обращения: 03.09.2014).
4. Пат. 2 485 646 РФ, МПК Н 01 Q 15/02. Устройство для фокусировки типа «Линза Люнеберга» / Р.О. Рязанцев, Ю.П. Саломатов (РФ). – № 2 012 109 411 / 08; заявл. 12.03.12; опубл. 20.06.13, Бюл. № 16. – 3 с.
5. Александрин А.М., Саломатов Ю.П. Широкополосная антенная решётка с использованием структур из искусственного неоднородного диэлектрика // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2012. – Т. 26, № 2. – С. 7–10.
6. Пат. 2 504 056 РФ, МПК Н 01 Q 15/08. Цилиндрическая линза / А.М. Александрин, Ю.П. Саломатов (РФ). – № 2 012 126 433 / 08; заявл. 25.06.12; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1. – 3 с.

Иванов Александр Сергеевич

Аспирант каф. радиотехники Сибирского федерального университета (СФУ)

Тел.: 8 (391-2) 91-22-78

Эл. почта: iwanow_s@mail.ru

Рязанцев Роман Олегович

Инженер каф. радиотехники СФУ

Тел.: 8 (391-2) 91-22-78

Эл. почта: ryazantzev@sfu-kras.ru

Александрин Антон Михайлович

Ассистент каф. радиотехники СФУ

Тел.: 8 (391-2) 91-22-78

Эл. почта: aalexandrin@sfu-kras.ru

Лемберг Константин Вячеславович

Канд. физ.-мат. наук, ст. преп. каф. радиотехники СФУ

Тел.: 8 (391-2) 91-22-78

Эл. почта: klemberg@sfu-kras.ru

Саломатов Юрий Петрович

Канд. техн. наук, зав. каф. радиотехники СФУ

Тел.: 8 (391-2) 91-22-78

Эл. почта: ysalomatov@sfu-kras.ru

Ivanov A.S., Ryazantzev R.O., Alexandrin A.M., Lemberg K.V., Salomatov Y.P.

Lens antenna diagnostics using nearfield scanner

The paper describes the construction of a planar near-field scanner and shows the examples of amplitude and phase distributions analysis using this scanner. The analysis was carried out for two types of lens antennas. It is shown that the developed scanner can help effectively to identify the causes of poor antenna performance during design process.

Keywords: nearfield scanning, amplitude and phase distribution, lens antennas.