

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.317.7.023 : 621.3.088 : 53.088

Алькевич
Юрий Святославович

Методика проведения измерений фазового распределения
фазированных антенных решеток

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-45 80 01 «Системы, сети и устройства телекоммуникаций»

Научный руководитель
Ревин Валерий Тихнович
Кандидат технических наук, доцент

Минск 2015

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Большинство экспериментальных измерений, выполняемых над антеннами, связаны с определением таких характеристик антенн как входное сопротивление, диаграмма направленности антенны в дальней зоне и усиление антенны. Однако возникают ситуации, когда требуется знать более глубокие свойства, а именно информацию о распределении поля в ближней зоне, то есть поля в непосредственной близости от антенны.

Существует большой класс измерений, которые выполняются в пределах промежуточной ближней зоны. К таким измерениям можно отнести, к примеру, измерения излучения, выполняемые для очень больших апертур или антенных решеток, когда оказывается невозможным или непрактичным выполнять измерения на расстояниях достаточно больших, чтобы находиться в дальней зоне.

Для аттестации фазированной антенной решетки (ФАР), как антенного устройства используются в основном традиционные характеристики – диаграмма направленности, коэффициент усиления и др. В то же время процесс измерений характеристик ФАР имеет существенные особенности.

Фазированная антенная решетка является электрически управляемой антенной. Сканирующий луч ФАР занимает различные положения относительно ее раскрытия. Вследствие этого возникает зависимость характеристик ФАР от положения луча. Поэтому характеристики ФАР следует измерять, строго говоря, для множества положений луча, что резко увеличивает объем измерений.

Объем измерений при испытаниях ФАР дополнительно растет из-за того, что современные антенные решетки являются, как правило, многофункциональными, и поэтому требуется определять их характеристики в различных режимах работы.

Ввиду изложенного ясна необходимость разработки методик, позволяющих сократить объем измерений при испытаниях ФАР. Вместе с тем следует подчеркнуть исключительную важность применения автоматизированных средств для измерения их характеристик.

Целью данной работы является исследование источников погрешностей измерения, возникающих при измерении фазового распределения поля ФАР с помощью измерительного стенда, разрабатываемого в НИЛ 1.6 БГУИР, и разработка методики выполнения измерения данной характеристики.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

При появлении нежелательных искажений в диаграмме направленности ФАР необходимо в первую очередь установить причину их возникновения. Это можно сделать, если, например, удастся найти распределение амплитуд и фаз поля на раскрыве решетки. Для этого в ряде случаев может быть использован зондовый метод.

В диссертации излагаются основные методы определения амплитудно-фазового распределения. Обсуждаются основные источники погрешности измерения и способы их устранения. Рассматривается структура исследуемого измерительного стенда. Показано, что основным источником погрешности является система позиционирования зонда, сканирующего поле исследуемой антенны.

В диссертационной работе ставятся и решаются задачи:

- рассмотрения источников погрешностей при измерении фазового распределения поля ФАР;
- анализа влияния погрешностей на результат измерения и методов их устранения;
- анализа структуры разрабатываемого измерительного стенда для выполнения измерений распределения поля;
- разработка алгоритма проведения измерений с использованием данного стенда;
- получения математических соотношений для вычисления неопределенности результатов измерения фазового распределения поля;
- опробование методики выполнения измерений и расчет неопределенности измерения.

БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, даётся краткая характеристика её разработанности, определяются объект и предмет исследования, цель и задачи, указана теоретико-методологическая основа, отмечены элементы научной новизны, формулируются основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Первая глава «Обзор методов измерения распределения поля в ближней зоне» носит теоретический характер и состоит из четырех подразделов.

В подразделе 1.1. «Внешние поля излучающей антенны» описывается терминология применяемая для описания полей излучающих антенн.

В подразделе 1.2 «Методы измерения распределения поля в ближней зоне» описываются принципы, на которых основываются все методы измерения распределения поля. Показана зависимость полей в ближней и дальней зоне. Следующая формула определяет зависимость поля вне произвольной поверхности S , окружающей антенну в ближней зоне (рисунок 1), от полей \vec{E}_t и \vec{H}_t , направленных по касательной к S :

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{-ike^{ikr}}{4\pi r} \hat{r} \times \int_S (\vec{K}_m + Z_0 \hat{r} \times \vec{K}_e) e^{-ik\hat{r}\cdot\vec{r}'} dS, \quad (1)$$

$r \rightarrow \infty$

где $\vec{K}_e = \hat{n} \times \vec{H}$ и $\vec{K}_m = -\hat{n} \times \vec{E}$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, \hat{n} – единичный вектор нормали к поверхности S , \hat{r} – единичный вектор из начала координат в точку наблюдения, Z_0 – волновое сопротивление свободного пространства.

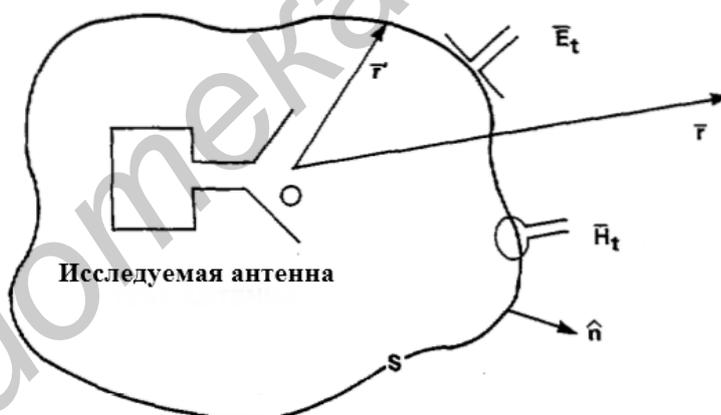


Рисунок 1 – Измерение с помощью идеального зонда по произвольной поверхности

Также рассмотрены особенности измерения по плоской, цилиндрической и сферической поверхности.

В подразделе 1.3 «Особенности измерений характеристик фазированных антенных решеток» рассмотрены методы определения дефектных излучателей ФАР по результатам измерения поля в ближней зоне. Основные методы определения амплитуды и фазы излучателей:

- зондовый метод;
- коммутационный метод;

- зондовый бесфазовый метод;
- метод взаимной связи.

В подразделе 1.4 «Обзор конструкции типового комплекса для сканирования поля в ближней зоне» рассмотрена типовая структура измерительного стенда для выполнения измерений распределения поля в ближней зоне антенны. Устройство стенда можно разделить на три большие группы:

1. Сканнер – выполняет перемещение измерительного зонда вдоль некоторой плоскости.
2. Радиочастотная часть – все радиочастотные устройства, отвечающие за возбуждение антенны и прием сигнала, полученного зондом. В эту группу входит и сам зонд.
3. Компьютерная система управления – отвечает за автоматизацию процедуры измерения и контроль параметров стенда.

Приведены рекомендации по выбору различных устройств, являющихся частью измерительного стенда.

Вторая глава «Источники погрешностей» носит теоретический обзорный характер. В данной главе представлены основные источники погрешности измерения распределения поля. Проведен сравнительный анализ влияния отдельных источников погрешности на результат измерения. Основным источником погрешности измерения является погрешность измерительного тракта стенда и погрешность позиционирования зонда по оси z . Рассмотрены ограничивающие факторы, которые неизбежно приводят к погрешности измерения. К таким факторам относят, например, конечные размеры области сканирования поля и взаимное влияние зонда и антенны. В конце главы приведены таблицы, в которых собраны все элементы конструкции стенда, которые следует контролировать, чтобы обеспечить точность измерений. Основные компоненты измерительной системы, которые влияют на точность измерений можно разделить на следующие категории:

- система позиционирования и контроля положения зонда;
- помещение, в котором находится система;
- радиочастотная система;
- сама исследуемая антенна;
- компьютерная система и ее программное обеспечение.

Третья глава «Структурная схема и принцип работы измерительного стенда» В данной главе представлено описание измерительного стенда и про-

граммного обеспечения, отвечающего за его работу. На рисунке 2 изображена структурная схема стенда.

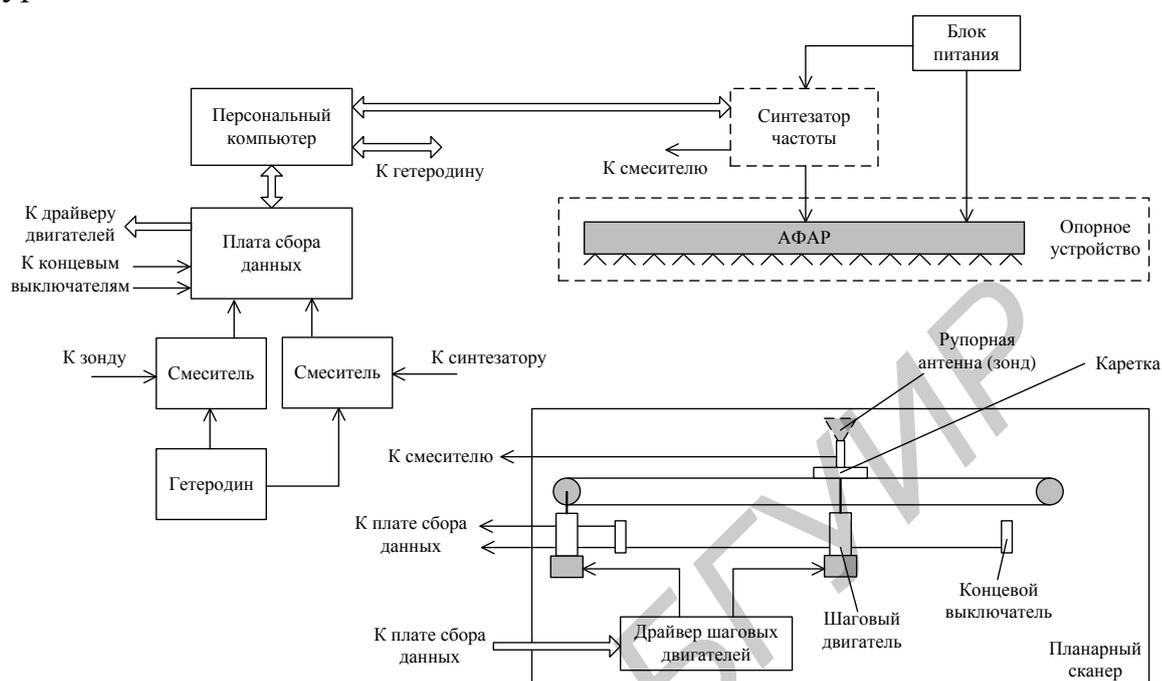


Рисунок 2 – Структурная схема измерительного стенда для определения распределения поля в ближней зоне

Исследуемая антенная решетка располагается на специальном опорном устройстве, которое позволяет регулировать положение плоскости раскрытия антенны относительно плоскости сканирования. Во время измерений антенна работает в режиме передачи. На вход антенны подается высокостабильный сигнал от синтезатора, частота которого регулируется программно в пределах от 8 до 12,5 ГГц. Настройка синтезатора частоты осуществляется через компьютер по интерфейсу RS-232. Измерение проводится на фиксированной частоте.

Электромагнитное поле, создаваемое АФАР, измеряется с помощью зонда, расположенного в ближней зоне на расстоянии 10 – 50 мм от излучателей. Зонд закреплен на подвижной каретке, которая в процессе измерений совершает линейное перемещение параллельно плоскости АФАР, выполняя функцию сканера. В качестве зонда используется небольшая рупорная антенна. Движение производится посредством линейного электромеханического привода на базе шагового двигателя и ременной зубчатой передачи по горизонтальной и по вертикальной оси. Шаговые двигатели работают под управлением драйвера, задающего скорость вращения, крутящий момент и режим микрошага.

Текущее положение каретки измеряется с помощью энкодера, установленного на валу шагового двигателя. Для контроля крайних положений и определения начала отсчета предусмотрены концевые выключатели.

Выходной сигнал зонда передается по коаксиальному кабелю к смесителю, где происходит преобразование частоты сигнала вниз до 2 МГц. В качестве гетеродина используется аналогичный синтезатор частоты, что и для источника возбуждения антенны.

На вход АЦП платы сбора данных поступает перенесенный на промежуточную частоту сигнал зонда. Оцифровка сигнала осуществляется с частотой дискретизации равной 10 МГц, что позволяет сохранить информацию о действительной амплитуде и мгновенной фазе сигнала.

Для получения информации о фазовом распределении поля в ближней зоне требуется опорный сигнал, относительно которого будет определяться фаза сигнала, полученного зондом. Для этого на вход второго АЦП платы подается сигнал промежуточной частоты от синтезатора, возбуждающего антенну. Оцифрованные данные передаются компьютеру, где осуществляется вычисление амплитудно-фазового распределения поля.

В четвертой главе «Метрологическое обеспечение измерительного стенда» описана методика выполнения измерений для определения фазового распределения (ФР) с помощью данного измерительного стенда. Так же описан алгоритм расчета неопределенности измерений с учетом все значимых влияющих величин.

В пятой главе представлены результаты опробования методики выполнения измерений. Было получен график ФР поля для антенной решетки из 4×8 элементов, возбужденных синфазно (рисунок 3). Погрешность измерения фазы составила $5,4^\circ$.

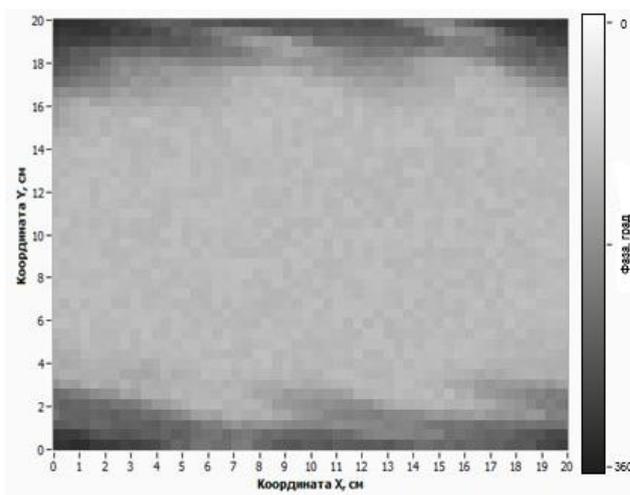


Рисунок 3 – График экспериментально полученного ФР

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа посвящена решению актуальной проблемы: анализу измерительного стенда для определения амплитудно-фазового распределения поля в ближней зоне антенны и разработке его метрологического обеспечения. Разработанный стенд будет служить для контроля излучающих элементов АФАР.

Основные результаты, полученные при выполнении магистерской работы можно сформулировать следующим образом:

- в процессе работы были рассмотрены принципы построения, достоинства и недостатки различных методов исследования поля в ближней зоне. На основании проделанной работы был обоснован способ построения измерительного стенда, включающий в себя объединение измерительного тракта и устройства позиционирования под управлением ЭВМ;

- были рассмотрены основные источники погрешности измерения фазы поля;

- благодаря используемому ПО обеспечивается полная автоматизация измерений и максимально упрощен процесс проведения измерений;

- разработана методика выполнения измерений и проведена обработка экспериментальных исследований.

Сочетание высокоточных СВЧ компонентов измерительного стенда под управлением ЭВМ позволило создать гибкую измерительную систему с хорошими метрологическими характеристиками.

Предполагается, что низкая цена по сравнению с аналогами и простота в использовании при высоких технических и соответствующих метрологических параметрах, позволит стенду найти широкое применение в производстве антенных решеток.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- Алькевич, Ю. С. Компьютерно-измерительная система для анализа АЧХ и ФЧХ четырехполюсников / Ю. С. Алькевич, В. Т. Ревин, В. А. Симоненко // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР: материалы конф. В 2 ч. Ч. 1. – Минск : БГУИР, 2014. – С. 148–149.

- Алькевич, Ю. С. Двухкоординатная позиционирующая система для проведения измерений распределения поля в ближней зоне антенной решетки / Ю. С. Алькевич, В. А. Симоненко // 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР: материалы конференции. – Минск : БГУИР, 2015 г. – С. 151–153.