

ОТЗЫВ

на диссертацию Анютина Николая Викторовича

«Разработка метода измерений характеристик антенн путем сканирования по неканоническим поверхностям в ближней зоне», представленной на соискание

ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.2.10 – «Метрология и метрологическое обеспечение»

Актуальность темы диссертации и соответствие специальности

Разработка и производство антенн и антенных решеток требуют постоянного контроля их характеристик. Одной из важнейших характеристик антенны является ее диаграмма направленности (ДН). Она может быть измерена на антенных измерительных комплексах (АИК) в дальней зоне (ДЗ) и ближней зоне (БЗ). Большая информативность и экономическая целесообразность делает АИК БЗ основным средством измерений ДН широкоапертурных антенн и антенных решеток.

В настоящее время на АИК БЗ широкое распространение получили классические методы измерений ДН, в которых электромагнитное поле исследуемой антенны сканируется с помощью зондовой антенны на канонических поверхностях: части плоскости, цилиндра или сферы. При этом отклонения зондовой антенны от канонической поверхности не должно превышать порядка сотой доли длины волны. С увеличением частоты уменьшается длина волны, а точность выставления зондовой антенны механическими позиционерами остается неизменной и составляет порядка 100 мкм. По этой причине на частотах свыше 50 ГГц канонические поверхности сканирования необходимо рассматривать как неканонические, а разработанные для канонических поверхностей сканирования методы измерений становятся неприменимыми.

В последнее десятилетие ведется разработка АИК БЗ, в которых зондовая антенна размещается на промышленных роботах, беспилотных летательных аппаратах и т.д. Сканирование электромагнитного поля по каноническим

поверхностям в этом случае существенно затруднено либо нецелесообразно. Повторение формы исследуемой антенны позволяет уменьшить количество точек сканирования, а значит и время измерений, и обеспечить лучшее отношение сигнал-шум. Разработанные для неканонических поверхностей сканирования методы измерений ДН сводятся к решению большой плохо обусловленной системы линейных алгебраических уравнений и реализуются в алгоритмах с большой вычислительной сложностью. Для решения практических задач существует потребность в разработке новых методов измерений ДН, лишенных названных недостатков. Таким образом, диссертация соответствует специальности, а ее тема является актуальной.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем и оформление работы соответствует требованиям ВАК для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Во введении диссертационной работы обозначены цель и основные задачи исследования, научная новизна, практическая ценность и положения, выносимые на защиту.

В первой вводной главе представлен подробный обзор литературы, в котором рассмотрены методы измерений ДН путем сканирования электромагнитного поля в БЗ, методы компенсации влияния характеристик зондовой антенны, имитационные модели измерений на АИК БЗ. Изложена теория взаимодействия антенн с использованием обоих решений уравнений электродинамики: запаздывающих и опережающих потенциалов. Получено новое асимптотическое уравнение связи между двумя антеннами, если одна из них находится в ДЗ.

Во второй главе разработан алгоритм коррекции по зондовой антенне, которые позволяет компенсировать влияние ДН зондовой антенны на результаты измерений. Также разработаны алгоритмы преобразования электромагнитного поля с поверхности сканирования на апертуру антенны и восстановления ДН.

Разработанные алгоритмы прошли апробацию в экспериментах по сканированию электромагнитного поля по неканоническим поверхностям с помощью шести координатного промышленного робота.

В третьей главе на основе нового асимптотического уравнения связи между антеннами разработана имитационная модель измерений характеристик антенн на АИК БЗ. Имитационная модель позволяет формировать входные данные для исследуемого алгоритма преобразования электромагнитного поля и сравнивать выходные данные с теми, что были изначально заложены в модель. Такой подход позволяет исследовать метрологически значимую часть программного обеспечения АИК БЗ, в частности реализацию коррекции результатов измерений по ДН зондовой антенны.

В четвертой главе с помощью разработанной имитационной модели исследуется методика измерений характеристик антенн путем сканирования по неканоническим поверхностям в БЗ, которая основывается на методах и алгоритмах из второй главы. Приведен перечень частных составляющих погрешности измерений и бюджет неопределенностей измерений. С их помощью обоснованы требования к входным данным и характеристикам оборудования, для которых оценены показатели точности измерений характеристик антенн для разработанной методики измерений.

В заключении сформулированы выводы, которые правильно отражают содержание полученных результатов.

Степень достоверности и обоснованности научных положений выводов

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации результатов подтверждена использованием апробированных вычислительных методов электродинамики, совпадением результатов, полученных теоретическими и экспериментальными методами.

Оценка новизны

Диссертант в качестве новых полученных результатов выдвигает следующие:

- формулу для прямого преобразования электромагнитного поля внутрь замкнутой поверхности, которая в отличие от известных не требует обращения матрицы оператора преобразования;

- асимптотическое уравнение связи между антеннами в ДЗ зондовой антенны, которое в отличие от известных применимо в БЗ исследуемой антенны;

- метод восстановления компонент вектора электромагнитного поля, входными данными для которого в отличие от известных служат измерения коэффициента передачи между антеннами в БЗ минимум в трех точках с разностью фаз не более 180° ;

- имитационную модель измерений характеристик антенн путем сканирования электромагнитного поля в произвольно заданном множестве точек в БЗ, которая в отличие от известных применима в промежуточной зоне и ДЗ.

В существенной части можно согласиться с этими утверждениями автора.

Практическая ценность работы определяется тем, что

разработанный метод измерений характеристик антенн путем сканирования по неканоническим поверхностям в БЗ при наличии средства измерений координат может использоваться на всех существующих и новых АИК БЗ;

имитационная модель измерений характеристик антенн на АИК БЗ может использоваться для аттестации методик измерений и испытаний антенных измерительных комплексов БЗ, промежуточной зоны и ДЗ.

Общие замечания

- Не удалось найти в диссертации и автореферате упоминания о свойствах поверхностей измерения: должна ли быть поверхность регулярной и должен ли радиус кривизны многократно превышать длину волны;

- Граница ближней зоны (1.21) сомнительна. Скорее это граница области реактивных полей;

- Критерий (1.26) характеризует границу апертурной области и хорошо выполняется для антенн с $D \geq 5\lambda$. Более раннее упоминание у П.М. Геруни ($0,6D\sqrt{\frac{D}{\lambda}}$);

- Применимость формулы (1.57) в ближней зоне вызывает сомнения, так как коэффициент связи пропорционален интегральному выражению от перемножения амплитудных спектров однородных плоских волн испытываемой антенны и зонда по всем векторам распространения (пространственным частотам);

- Амплитуда и фаза ближнего поля, в общем случае, не является плавно изменяющейся. Это можно допустить для рупорных антенн и рефлекторных параболических антенн, но не, например, для рефлекторных зонированных антенн Френеля и фазированных антенных решеток с большим дискретом фазы излучателей это условие не выполняется;

- Натурные исследования приведены только для планарной поверхности измерения, не являющейся неканонической. Неканонические поверхности рассматриваются только в моделировании измерений для оценки возможных инструментальных ошибок;

- Не рассмотрена детально методика определения коэффициента усиления испытываемой антенны;

- Не понятно из таблиц четвертой главы, как связаны инструментальные погрешности с длиной волны;

- В водной части упоминаются различные авторы, которые предлагали методы и алгоритмы определения характеристик антенн по измерениям на неканонических поверхностях, однако в диссертации не просматриваются сопоставления с их практическими результатами, что затрудняет оценку приоритетов предлагаемых подходов соискателя.

Несмотря на приведенные замечания, не вызывает сомнения, что представленная диссертация является законченным научным исследованием, результаты которого обладают научной новизной и имеют практическое значение.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертационной работы, основные результаты которой опубликованы в рецензируемых изданиях.

Диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Анютин Николай Викторович заслуживает и достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.10 – «Метрология и метрологическое обеспечение».

Официальный оппонент,

Доктор технических наук, доцент

Кирпанев Алексей Владимирович

Подпись Кирпанева А.В. удостоверяю



Реквизиты: Кирпанев Алексей Владимирович, 197375, Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д.37, литера А, мобильных телефонов: +79119827555, e-mail: kirpanev_av@radar-mms.com, АО НПП «Радар ммс», начальник отдела антенн W-диапазона.