

значения назначаются на основе принятых целей и политики в области качества, стратегических планов предприятия и его подразделений. В последующем данные критерии оценки и их значения могут корректироваться руководством на основе результатов анализа ИСМ.

После определения результативности интегрированной системы менеджмента по шкале значимости и на основании сделанных выводов, представитель руководства по ИСМ вместе с владельцами процессов приступает к разработке корректирующих действий, мероприятий по улучшению с последующим контролем и анализом выполнения. В результате, полученная информация о результативности ИСМ является основой для анализа системы со стороны руководства, используется для оперативного контроля процессов, пересмотра документации и процедур, периодического пересмотра политики и целей, анализа и совершенствования ИСМ, информирования персонала и заинтересованных сторон [4].

Таким образом, процесс определения результативности интегрированной системы менеджмента не только является неотъемлемой частью оценки системы менеджмента на предмет соответствия требованиям международных стандартов,

но и позволяет высшему руководству более полно подходить к вопросам улучшения системы менеджмента, определив именно те процессы, которые требуют корректирующих действий. Кроме этого, оценка результативности способствует установке новых, более высоких целей, что несомненно приводит к улучшению деятельности организации и ее развитию.

Литература

1. Системы менеджмента качества. Требования : СТБ ISO 9001–20015.
2. Демьянович, И. В. Количественные подходы к оценке эффективности системы менеджмента качества // И. В. Демьянович // Экономические науки. – 2010. – № 11(72). – С. 120–123.
3. Определение комплекса показателей для формирования оценки интегрированной системы менеджмента / А. В. Петренко [и др.] // Управление качеством в образовании и промышленности: сборник статей Всероссийской научно-технической конференции, Севастополь, 20–21 мая 2021 года. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», 2021. – С. 61–66.
4. Методика оценки результативности интегрированной системы менеджмента / В. В. Шимов // Евразийский Союз Ученых. – 2016. – № 5–2 (26).

УДК 621.396.67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРОВ СФЕРИЧЕСКИХ ГАРМОНИК ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ АНТЕНН

Гринчук А.П., Громыко А.В., Кныш В.П.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В работе приведены результаты математического моделирования и экспериментальных исследований по восстановлению полей излучения антенн с использованием спектров сферических гармоник. Показано, что этот алгоритм может быть эффективно использован при тестировании антенн.

Ключевые слова: система тестирования, структура поля излучения, сферические гармоники.

USE OF SPECTRA OF SPHERICAL HARMONICS IN TESTING ANTENNA

Grinchuk A., Gromyko A., Knysh V.

*A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems of BSU
Minsk, Republic of Belarus*

Annotation. The paper presents the results of mathematical modeling and experimental studies on the reconstruction of radiation fields of antennas using the spectra of spherical harmonics. It is shown that this algorithm can be effectively used in antenna testing.

Key words: testing system, radiation field structure, spherical harmonics.

*Адрес для переписки: Гринчук А.П., ул. Курчатова 7, 220045, Минск, Республика Беларусь.
e-mail: lpepfp@bsu.by*

Решение уравнения Максвелла в сферической системе координат для комплексных амплитуд тангенциальных составляющих вектора электрического поля позволяет представить электромагнитное поле $\vec{E}_\tau(\theta, \phi, r)$ на поверхности сферы радиуса r , охватывающей излучающую систему, в

виде разложения по векторным сферическим функциям $\vec{M}_{mn}, \vec{N}_{mn}$ с соответствующими комплексными коэффициентами A_{mn}, B_{mn} , [1, 2], причем индекс n изменяется от 1 до некоторого максимального значения N , а индекс m от $-n$ до n . Векторные сферические функции $\vec{M}_{mn}, \vec{N}_{mn}$

(сферические гармоники) рассчитываются для сферической поверхности заданного радиуса r , а комплексные коэффициенты A_{mn} , B_{mn} , вычисляются с учетом амплитудно-фазового распределения (АФР) поля на этой поверхности и определяют вес данной сферической гармоники в спектре сферических гармоник. Таким образом, массив этих коэффициентов полностью определяет структуру поля излучения на заданной поверхности.

Как указано в [3], разложение по сферическим волнам никогда не является безусловно сходящимся. Поэтому для приближенного определения значения N предложена оценка:

$$N \geq 2\pi k R_0 \quad (1)$$

где R_0 – радиус минимальной сферы, физически охватывающей излучающий объект.

При формировании общего подхода к разработке системы тестирования антенн было предложено в качестве паспортизованных данных на антенну хранить спектр сферических гармоник ее амплитудно-фазового распределения поля в ближней зоне. Для подтверждения такого предложения было проведено математическое моделирование и экспериментальные исследования конкретных антенн.

В качестве модели выбрана двумерная излучающая поверхность, состоящая из 256 излучателей, расположенных в квадратной матрице 16×16 элементов с дискретом $0,5\lambda$ и распределением поля единичного элемента $\sin\theta \times \sin\varphi$. С помощью метода геометрической оптики (ГО) рассчитывалось поле излучения в переднем полупространстве (углы θ и φ изменялись в диапазоне $0-\pi$) на сфере большого диаметра $R \gg R_0$ (например, 1000λ), затем рассчитывался спектр сферических гармоник и с использованием полученных значений опять восстанавливалось это поле, но при разных значениях N . Степень совпадения структуры полей (ГО и восстановленного с помощью сферического спектра) определялась по величине комплексной разности значений полей в каждой точке.

Исходя из размера излучающей апертуры (16 элементов через $0,5\lambda$) величину $2R_0$ принимаем 12λ и получаем оценку $N \geq 38$. По рассчитанному спектру сферических гармоник были восстановлены АФР поля на той же сферической поверхности для $N = 40; 45$ и 50 и получены комплексные разности рассчитанных значений полей методом ГО и сферических функций в каждой точке. На рис. 1 представлены сечения поля излучения апертуры (1) и значения разностей полей при расчете с использованием N равно 40 (2), 45 (3) и 50 (4).

Из полученных результатов следует, что разности, которые в дальнейшем можно рассматривать как погрешности восстановления АФР полей с использованием конечного числа сферических гармоник, при всех выбранных N , лежат на уровне

и ниже -80 дБ, что вполне удовлетворяет всем практическим требованиям. Однако, меняется структура распределения разности. Для $N = 40$ и 50 разность полей носит более структурированный характер, в то время, как при $N = 45$, разность носит характер отдельных точек, разбросанных в большом динамическом диапазоне. На наш взгляд такое поведение разности обусловлено ошибками вычисления, в большей степени округления при вычислении факториалов для больших значений n . Это полностью согласуется с утверждением [3], что величина N имеет оптимальное значение, обеспечивающее наиболее точное восстановление структуры поля с использованием сферических гармоник.

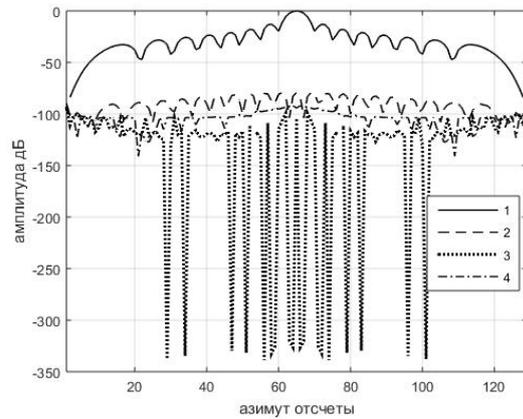


Рисунок 1 – Сечения амплитудных распределений поля излучения (1) и разностей полей при расчете с использованием $N = 40$ (2), 45 (3), и 50 (4)

Также проведено математическое моделирование восстановления структуры поля антенны при наличии амплитудных и фазовых дефектов. Дефекты задавались тем, что амплитуда излучения отдельных излучателей изменялась от единицы до нуля (амплитудные), или фаза излучения отдельных излучателей изменялась от 0 до 180 градусов с дискретом 45 градусов.

В качестве представителей двух типов антенн при проведении экспериментальных исследований выбраны щелевая волноводная решетка и пирамидальный рупор. Эксперименты проводились по следующему алгоритму:

1 – измерялось АФР поля излучения в ближней зоне;

2 – по результатам измерения рассчитывалась структура поля в дальней зоне, например на расстоянии 1000λ (диаграмма направленности);

3 – рассматривая поле в дальней зоне как поле на сфере большого радиуса (1000λ), по этим результатам рассчитывался спектр сферических гармоник;

4 – в апертуру антенн вносились некие дефекты и п.п. 1–3 повторялись;

5 – анализировались изменения структуры полей с структуры спектров сферических гармоник.

Измерения структуры полей излучения объектов и первичная обработка полученных результатов проводилась с использованием экспериментальных образцов измерительных аппаратно-программных комплексов компактного антенного полигона, разработанного и изготовленного ранее.

При анализе структуры полей в ближней и дальней зонах использовалось представление, что поле объекта с дефектом является векторной суммой полей свободного объекта и поля рассеяния дефекта, т. е. поле рассеяния дефекта (термин «рассеяния» употребляется в широком смысле) является разностью АФР полей свободного объекта и объекта с дефектом.

Анализ структуры спектров сферических гармоник показал наличие изменений указанной структуры для объектов с дефектами по сравнению со свободными объектами. Важнейшими результатами такого анализа являются следующие:

– структура и величина комплексной разности спектров сферических гармоник однозначно

связаны с наличием, величиной и даже расположением дефекта;

– поле, восстановленное из разности спектров полностью совпадает с полем рассеяния дефекта, полученным путем вычитания АФР полей излучения.

Вывод. Математическое моделирование и экспериментальные исследования показали, что использование спектра сферических гармоник позволяет восстановить поле излучения антенн с высокой точностью и однозначно реагирует на наличие амплитудных и фазовых дефектов в излучающей апертуре.

Литература

1. Методы измерения характеристик антенн СВЧ / Л. Н. Захарьев [и др.]. – М. – 1985. – 368 с.
2. Бахрах, Л. Д. Методы измерения излучающих систем в ближней зоне / Л. Д. Бахрах, С. Д. Кременецкий, А. П. Курочкин. – Л. – 1985. – 272 с.
3. Вуд, П. Анализ и проектирование зеркальных антенн / П. Вуд. – М. – 1984. – 208 с.

УДК 621.314

ДИАГНОСТИКА ИЗОЛЯЦИИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ФИГУР ЛИССАЖУ

Громыко И.Л., Галушко В.Н.

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Республика Беларусь*

Аннотация. Разработана технология представления исходных данных в виде фигур Лиссажу для сверточных нейронных сетей. Данная технология позволяет: сократить затраты на создание и обновление базы данных испытаний; выявлять и классифицировать неисправности; оценивать остаточный ресурс трансформатора; самосовершенствоваться на основе накопления опыта реальных ситуаций.

Ключевые слова: трансформатор, изоляция, фигуры Лиссажу.

DIAGNOSTICS OF TRANSFORMER INSULATION WITH THE HELP OF LISSAGE FIGURES

Hramyko I., Galushko V.

*Belarusian State University of Transport
Gomel, Republic of Belarus*

Abstract. A technology for presenting initial data in the form of Lissajous figures for convolutional neural networks has been developed. This technology allows: to reduce the cost of creating and updating a test database; identify and classify faults; evaluate the residual life of the transformer; self-improvement based on the accumulation of experience in real situations.

Key words: transformer, insulation, Lissajous figures.

*Адрес для переписки: Громыко И.Л., ул. Громоной, 3, кв. 27, Гомель 246030, Республика Беларусь
e-mail: ivangromyko95@mail.ru*

Существующая система технического диагностирования трансформаторов требует доработки. Это объясняется следующими причинами: используемая на практике нормативная документация по эксплуатации трансформаторов не учитывает в полной мере современные методы по технической диагностике; отсутствием современных знаний по технической диагностике у выпускников высших учебных заведений и низкой квалификации в этой области у лиц, принимающих решения; недоверием к новой организации ремонта и нежеланием уходить от системы организации

ремонта энергетического оборудования по регламенту из-за закладываемых значительных денежных средств на проведение ремонтных работ по старой схеме; недостаточным количеством, высокой стоимостью современных и эффективных приборов технического диагностирования; плохой организацией повышения квалификации специалистов всех уровней по проблемам технической диагностики оборудования; низкой достоверностью проводимых диагностических работ.

В Республике Беларусь и за рубежом в последнее время наблюдается тенденция перехода от