

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ В ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ

Узенгер Алексей Андреевич

к.т.н.,

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,

г. Самара

**Аннотация.** В статье рассматривается вопрос моделирования электромагнитного поля готового промышленного изделия в программной среде ANSYS Electronics Desktop, в целях оптимизации конструкторско-технических решений.

**Abstract.** The article considers the issue of modeling the electromagnetic field of a finished industrial product in the ANSYS Electronics Desktop software environment in order to optimize design and engineering solutions.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, моделирование, уравнения Максвелла.

**Keywords:** electromagnetic field, modeling, Maxwell equations.

## Введение

С развитием техники и технологий перед инженерами ставятся задачи, которые раньше и не рассматривались в виду отсутствия технической потребности, либо доступного специализированного средства моделирования. Существует класс измерительных устройств, в основе которых лежат технологии измерения электромагнитного поля, либо фиксируется изменение состояния поля во времени. В таких устройствах есть задающий токовихревой контур, который создает электромагнитное поле в измерительной зоне, а также есть приемные сенсоры – обычно катушки, в совокупности с измерительной схемой обработки, измеряют изменения поля в заданных точках. В качестве примера такого изделия, рассмотрим токовихревой датчик рельсовых пересечений, который используется в автоматизированных измерительных комплексах на железнодорожном транспорте в целях автоматического детектирования типов стрелочных переводов и выполнения рулежки в программном обеспечении.

Перед инженерами ставится техническая задача оптимизации конструкции измерительного прибора, уменьшение массогабаритных параметров, и что наиболее важно моделирование и выполнение задач по выравниванию характеристики электромагнитного поля в измерительной зоне.

Математическая основа для моделирования токовихревого поля

Для описания физических основ электродинамики используются дифференциальные уравнения Максвелла в общем виде [1]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j}_k + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}; \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}; \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho; \operatorname{div} \vec{B} = 0, \end{aligned}$$

где  $\vec{H}$  – вектор напряженности магнитного поля,  $\vec{B}$  – вектор магнитной индукции,  $\vec{E}$  – вектор электрического поля,  $\vec{D}$  – вектор электрической индукции,  $j_k$  – проводимость тока,  $\rho$  – электрический заряд.

Эти уравнения полностью описывают систему взаимосвязанных преобразований векторов электрического и магнитного полей. Получение математических выражений из данной системы полных дифференциальных уравнений – трудоемкая и в общем случае невыполнимая задача. Если еще учитывать конструктивные особенности готового промышленного изделия и материал из которого оно состоит, то без использования специализированных вычислительных сред моделирования задача становится невыполнимой.

## Реализация поставленной задачи

Для решения поставленной задачи воспользуемся средой моделирования ANSYS Electronics Desktop [2].

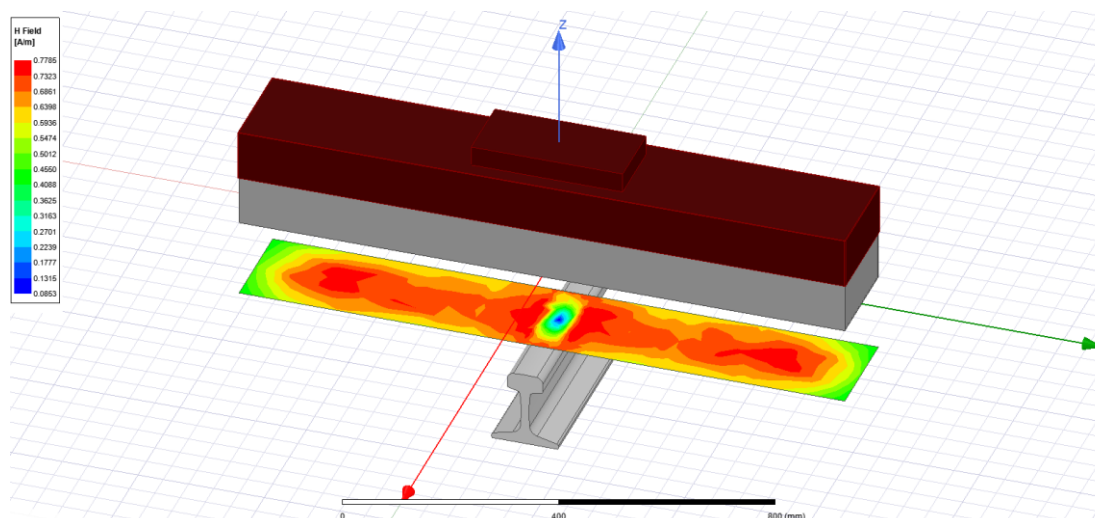
Первым этапом создаются корпусные поверхности в режиме редактирования с использование 3D примитивов, задается материал поверхностей. На приведенном ниже рисунке верхняя часть корпуса и верхняя часть боковых поверхностей выполнена из листового металла 2 мм (коричневый цвет), нижняя часть боковых поверхностей выполнена из радиопрозрачного материала FR4 (серый цвет). Нижняя поверхность представленного изделия выполнена также из материала FR4, на котором по периметру располагается задающий токовихревой контур из меди. К нему подключается источник тока, в параметрах которого задаем амплитуду 1А и частоту 800кГц, соответствующая реальному изделию. Задаем поверхности (срезы) в которых будет выполняться расчет. Все изделие (модель) помещается в среду, в нашем случае воздушную.

Отмечу, что представленная модель очень сильно упрощена, если сравнивать с промышленным образцом. В целях получения более точных результатов моделирования в модель необходимо добавлять все конструктивные элементы, особенно из металла: винты, гайки, вспомогательный металлический крепеж и т.п.

На втором этапе выполняется верификация проекта (*Validate*). Здесь проверяются следующие позиции: параметры проекта, 3D модель, границы и источники возбуждения, возможность разбиения на сетку (сеточные

операции), настройки операций анализа, характеристики излучения. В случае успешной верификации (валидации) можно приступить к третьему этапу - расчетам. Следует отметить, что для нормальной работы программного продукта требуются большие вычислительные ресурсы, либо время.

На приведенном рисунке представлена модель токовихревого датчика пересечения рельсов, выполнен расчет характеристики электромагнитного поля в условиях нахождения железнодорожного рельса под измерительным изделием.



*Рис. Моделирование электромагнитного поля токовихревого датчика рельсовых пересечений*

В процессе работы в среде ANSYS Electronics Desktop и анализа ее результатов можно включать/выключать любые компоненты модели перед процедурой расчета, тем самым создавать необходимую экспериментальную базу для дальнейших исследовательских и практических задач, например оптимизации равномерности поля в измерительной зоне.

В рамках одного проекта можно создавать, копировать, редактировать существующую модель, придавать ей новые формы в целях задачи оптимизации конструкторско-технических решений.

В тоже время следует учесть, что чем больше поверхностей для решения, чем меньше сетка для расчетов и чем больше диапазон частот для расчета, тем более продолжительное время выполняются расчеты.

#### **Заключение**

Получение аналитических решений дифференциальных уравнений Максвелла при решении практических задач не всегда возможно и требует дополнительных глубоких знаний в ряде специализированных дисциплин. В целях исследования и моделирования готового технического решения, вариативного поиска лучших конструкторско-технических решений, исследования задачи выравнивания характеристики поля в требуемой измерительной зоне, программный комплекс ANSYS Electronics Desktop является незаменимым инструментом инженера и исследователя.

#### **Список литературы:**

1. Фальковский О.Н. Техническая электродинамика: Учебник. 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 432с.
2. Ansys: Engineering Simulation & 3D Design Software [электронный ресурс]/ Режим доступа <https://www.ansys.com/> свободный.