

УДК 621.3: 517.951

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПРОЦЕССОВ**
MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES

В.А. Мычко

Научный руководитель – С. В. Сизиков, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Республика Беларусь

V.A. Mychko

Supervisor – S. V. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Аннотация: в наше время математическое моделирование получило широкое применение при изучении динамики и синтеза в электромеханических системах. Непременен, моделирование не единственный метод изучения мира который окружает нас. Но вклад моделирования в науку, в различных инженерных исследованиях, организации экономических объектов и систем весьма велика. Сейчас, в связи с чрезвычайным усложнением современных электроэнергетических и электромеханических систем, радиотехнической и электроизмерительной аппаратуры, появляется необходимость в изобретении новых методов анализа и синтеза таких систем и устройств, и проектировании их с помощью систем автоматического проектирования.

Abstract: nowadays, mathematical modeling has been widely used in the study of dynamics and synthesis in electromechanical systems. . By all means, modeling is not the only method of exploring the world that surrounds us. But the contribution of modeling to science, in various engineering studies, the organization of economic objects and systems is very great. Now, due to the extreme complexity of modern electric power and electromechanical systems, radio engineering and electrical measuring equipment, there is a need to invent new methods of analysis and synthesis of such systems and devices, and design them using automatic design systems.

Ключевые слова: электромагнитное поле, уравнения Максвелла, закон Фарадея, теория плазмы

Key words: electromagnetic field, Maxwell's equations, Faraday's law, plasma theory.

Введение

Целью данного исследования является разработка математической модели, описывающей динамику электромагнитных процессов, а также анализ полученных результатов с целью выявления новых физических явлений и их применения в практике. Электромагнитное излучение – процесс образования электромагнитных волн ускоренно движущимися заряженными частицами (или переменными токами). Электромагнитным излучением называется также излучённое электромагнитное поле. Электромагнитные процессы входят в основу работы многих устройств, с которыми мы сталкиваемся в жизни. Данное иссле-

дование имеет большое значение для различных областей науки и техники, а также может быть использовано в практических целях, таких как создание новых методов. Многие люди посветили жизнь их изучению. Можно заметить, что различные виды излучения по-разному влияют как на человека, так и на его организм. Есть несколько вариантов записи этих процессов.

Основная часть

Основными уравнениями описывающим электромагнитные процессы в любой среде является уравнения Максвелла. Уравнения Максвелла для электромагнитных явлений аналогичны по своей значимости законам Ньютона в классической динамике. Уравнения Максвелла связывают величины, которые описывают электромагнитное поле, с его источниками – распределенными в пространстве электрическими зарядами и токами [1].

Пример уравнений Максвелла - это закон Фарадея, который гласит, что электродвижущая сила индукционного тока в проводнике пропорциональна скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную проводником. Иначе говоря, изменение магнитного поля во времени ведет к возникновению ЭДС, которая создает индукционный ток в проводнике. Поэтому закон Фарадея позволяет качественно и количественно описать явления индукции, объясняя взаимосвязь между изменением магнитного поля и возникновением электродвижущей силы. Из этого следует, что электродвижущая сила (ЭДС), индуцированная в контуре катушки в результате изменения магнитного потока.

$$E = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Таким образом, закон Фарадея позволяет описать явление индукции и объяснить, как меняющееся магнитное поле порождает электродвижущую силу, способную вызывать электрический ток в контуре. Это явление легло в основу работы трансформаторов, генераторов переменного тока, электромагнитных датчиков и других устройств, использующих электромагнитную индукцию. Один из примеров использования закона Фарадея - создание современных магнитно-резонансных изображений (или по другому магнитно-резонансная томография (МРТ)), которые применяются при медицинской диагностике. Принцип работы МРТ основан на явлении магнитного резонанса, который показывает закон Фарадея. В процессе МРТ создается вокруг тела пациента статическое магнитное поле (рис. 1). Импульсы радиоволн, посылаемые сканером, выбивают ядра атомов из их нормального положения. Когда ядра возвращаются в правильное положение, ядра посылают радиосигналы. Которые анализируется вычислительным устройством и преобразуются в изображения. Таким образом, применение закона Фарадея позволило создать технологию диагностики человека- МРТ, которая нашла широкое применение в медицине.

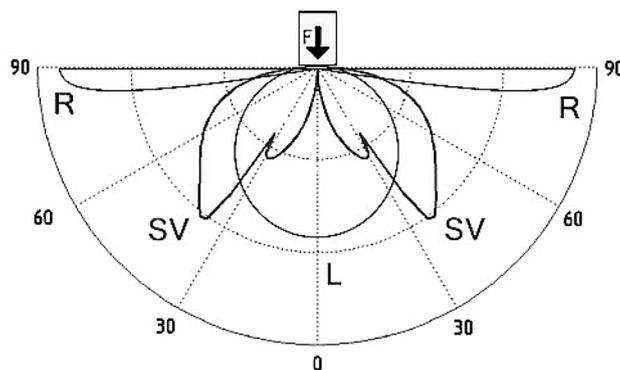


Рисунок 1- Модель электромагнитного излучения в аппарате МРТ

Также не маловажной частью в этой теме является закон Гаусса. Звучит он так: поток вектора напряжённости электрического поля через любую произвольно выбранную замкнутую поверхность пропорционален заключённому внутри этой поверхности электрическому заряду [1].

Уравнение Гаусса имеет вид:

$$\Phi = \frac{1}{\epsilon_0} \sum q_{\text{внутр}}$$

Формула применяется для преобразования объемного интеграла в интеграл на замкнутую поверхность и обратно. В математическом анализе формула Теоремы Остроградского — Гаусса применяется для расчета дифференциации, т.е. потока вектора по поверхности окружающей среды внешними направлениями. Теорема Гаусса и закон Кулона связаны между собой и это проявляется в том, что можно использовать теорему Гаусса для вывода закона Кулона. Рассматривая замкнутую поверхность вокруг точечного заряда, можно заметить, что поток электрического поля через эту поверхность будет пропорционален заряду в соответствии с теоремой Гаусса. Таким образом теорема Гаусса и закон Кулона имеют тесную взаимосвязь через математические и физические принципы, находящихся в уравнениях Максвелла.

С помощью закона Кулона можно построить математическую модель взаимодействия заряженных. К примеру, в плазме положительные ионы и отрицательные электроны взаимодействуют между собой с помощью электростатической силы. За счет кулоновских сил притяжения они будут стремиться друг к другу. Несмотря на это энергия сохранится исходя из этого мы получим колебания, которые называют ленгмюровскими колебаниями (рис. 2). Если пространство будет неоднородное получится волну — она называется ленгмюровская волна. Частота ее зависит от концентрации этих ионов и электронов.

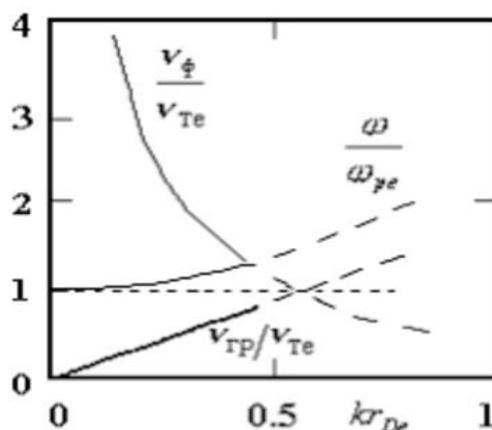


Рисунок 2 - Ленгмюровские колебания

Также электромагнитные поля, возникающие в плазме, описываются уравнениями Максвелла, которые учитывают воздействие электростатических сил на динамику плазмы. Это дает нам использовать закон Кулона в рамках более общих моделей, описывающих поведение плазмы, включая плазменные волны, магнитогидродинамические явления, плазменные неустойчивости и другие процессы. Закон Кулона широко применяется в теории плазмы, а именно, электростатических взаимодействиях, которые являются важными элементами в определении поведения и динамики заряженных частиц в плазме, где влияние на возникновение коллективных явлений позволяет понять различные аспекты взаимодействия плазмы с электромагнитными полями [2].

Заключение

На настоящее время наука не стоит на месте. Электромагнитные процессы всё глубже проникают в жизнь рядовых граждан. В ходе работы мы рассмотрели несколько моделей которые показали новое понимание взаимодействия заряженных частиц в плазме и электромагнитном поле, выявили ряд интересных коллективных явлений, таких как возбуждение плазменных. Полученные результаты имеют важное практическое значение для различных областей науки и техники, включая астрофизику, контролируемую термоядерную реакцию, радиоастрономию и плазменные технологии. Они также могут быть использованы для улучшения проектных решений и эффективности плазменных источников энергии. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на расширение модели путем включения дополнительных физических эффектов, а также на его применение для конкретных практических задач, таких как проектирование плазменных ускорителей и симуляция протекания плазменных реакций в термоядерных установках.

Литература

1. Котова, Е. Н. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах: учебно-метод. пособие / Е. Н. Котова, Т. Ю. Паниковская. - Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-т, 2014. - 216 с.

2. Звонарев, С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие / С.В. Звонарев. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-т, 2019. — 112 с.