

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ ПРИ УСЛОВИИ ПРЕНЕБРЕЖИМО
МАЛЫХ МАГНИТНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ****Волошин Олег Александрович**

магистрант, Донской государственный технический университет в г. Шахты, РФ, г. Шахты

Красовский Алексей Алексеевич

магистрант, Донской государственный технический университет в г. Шахты, РФ, г. Шахты

Андрющенко Артем Александрович

магистрант, Донской государственный технический университет в г. Шахты, РФ, г. Шахты

Аннотация. Трехфазный кабель с магнитной витой броней является идеальным устройством для исследования различных электромагнитных явлений их моделирования. В работе представлены геометрические параметры модели, в которой используется большое количество различных материалов, таких как металлы, полимеры и параметры морского дна. В ходе моделирования получены графики нормы плотности магнитного потока и контурного графика с линиями поля.

Ключевые слова: трехфазный кабель, магнитная витая броня, геометрические параметры, численное моделирование

Численный анализ кабельных систем является активной областью исследований. Здесь не только доминируют научное понимание, но также инженерная практика и численные методики. Производство компонентов и их стоимость играет важную роль, так же как и долговечность. Промышленная отрасль народного хозяйства по производству кабелей является более консервативной в плане применения новых материалов и технологий, чем другие отрасли и на то есть веские причины. Так операция по замене, например, неисправного силового подводного кабеля может обойтись предприятию чрезвычайно дорого, а его типичная конструкция может прослужить более сорока лет. Чтобы убедиться, что предприятие по производству силовых кабелей получает хороший возврат инвестиций, отрасль в значительной степени полагалась на практические правила, нормы безопасности, анализ жизненного цикла и международные стандарты, такие как IEC 60287.

Хотя в работе исследуется и моделируется конкретный тип подводного кабеля, многие вопросы которые здесь рассматриваются так же применимы и к наземным кабельным системам.

Трехфазный кабель с магнитной витой броней является идеальным устройством для иллюстрации и исследования различных электромагнитных явлений их численного моделирования. Поскольку многие из этих кабелей стандартизированы, их физические свойства доступны из литературы. В то же время их до сих пор продолжают исследовать. Это делает их подходящим инструментом для профессионалов, работающих в этой отрасли, так и для студентов академических образовательных учреждений, позволяющий им ознакомиться с численным анализом электромагнитных устройств в целом.

Следует отметить, что многие аспекты исследования процессов в кабельных системах можно лучше понять только с помощью двухмерных моделей, вычислительные затраты на которые ничтожно малы в сравнении с трехмерными моделями.

В работе представлены геометрические параметры модели. В ней используется большое количество различных материалов, таких как металлы, полимеры, представлены их свойства и даже параметры морского дна.

Первое, на что следует обратить внимание в результате моделирования кабеля в среде проектирования, это то, что график нормы плотности магнитного потока немного увеличен. Это связано с тем, что он по-прежнему привязан к настройкам камеры, используемым в геометрии и сетке. Кроме того, можем точно настроить параметры графика поверхности, чтобы получить лучшее изображение поля. Нелинейное преобразование таблицы цветов позволит получить более высокое разрешение в немагнитных областях.

В результате моделирования представлена норма плотности магнитного потока. Поскольку находимся в частотной области, плотность магнитного потока представляет собой сложное векторное поле. Этот график выглядит трехкратно симметричным и не зависит от фазы [1]. Кроме того получен график нормы плотности тока. Здесь преобладает ток в основных проводниках. Однако паразитные токи в экранах и броне нежелательны. Соответствующие потери имеют резистивный тип [2]. Этот вид потерь, также известный как омический нагрев или джоулевый нагрев, что следует из закона Ома.

Обратим внимание: поскольку из решения было исключено морское дно, окружающее кабель, размер построенного поперечного сечения стал меньше. Следовательно, этот график имеет настройку масштабирования, отличную от первой. Именно по этой причине предпочли иметь отдельные настройки камеры для этого случая. Далее были исследованы соответствующие потери в кабеле. Простая двумерная модель дает достаточное приближение резистивных потерь кабеля. Из-за своей сложной проницаемости броня также генерирует потери на магнитный гистерезис. Однако величина и распределение потерь будут некорректны, поскольку модель не учитывает скручивание кабеля. Доступно несколько методов для имитации скручивания в двумерной модели.

Первоначально кабель моделируется как простая экструзия (простая двумерная модель). Токи в броне колеблются выше и ниже нулевой точки с разной величиной в зависимости от броневой проволоки. Потери в броне достаточно высоки, порядка 7,6 Вт/км. Токи экрана также не ограничены. Итоговые потери здесь составляют 13 кВт/км для трех экранов вместе взятых. Потери фазы составляют - 47 кВт/км, а сопротивление переменному току составляет 53 мОм/км.

Создание линий поля с помощью контурного графика в этом случае допустимо в сочетании с тем фактом, что векторное поле здесь находится строго вне плоскости. В отличие от стандартных графиков линий тока общего назначения, например, тех, которые используются для теплового потока или потока жидкости, этот контурный график дает физически точное изображение линий магнитного потока. То есть; график показывает идеально замкнутые контуры, а плотность контура прямо пропорциональна мгновенной плотности магнитного потока. В случае линий тока значение имеет только направление.

При применении в двумерно модели скрутки брони токи в ней подавляются. Броневые потери снижаются значительно до 360 Вт/км, но при этом увеличивается индуктивность. Причина этого следующая: в простой двумерной модели паразитные токи брони могли создавать свои собственные магнитные поля, противостоящие полям, исходящим от фаз, как это диктуется законом Ленца. Теперь, когда этот эффект подавлен, сопротивление магнитной цепи уменьшилось. По сути, кольцо из высокопроницаемых бронепроволок начинает больше напоминать магнитный сердечник. Этот магнитный сердечник приводит к увеличению общей магнитной энергии в системе, а вместе с ней и индуктивности. Потери в фазе и экране увеличиваются примерно на 170 Вт и 2,1 кВт на километр соответственно. Однако общие потери снижаются примерно на 7%. Об этом свидетельствует снижение сопротивления переменному току до 49 мОм/км.

Список литературы:

1. Лаптев, Д. В. Изменение сопротивления потерь катушки индуктивности при прохождении металлической частицы в маслосистеме ГТД / Д. В. Лаптев, И. Н. Сулейманов // Развитие современной науки: теоретические и приклад-ные аспекты : Сборник научных статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей / Под общей редакцией Т.М. Сигитова. Том Выпуск 15. — Пермь : ИП Сигитов Т.М., 2017. — С. 33-36.
2. Шмырин, М. Д. Расчёт катушки индуктивности для общей магнитоте-рапии / М. Д. Шмырин // Тенденции развития современной науки : сборник трудов научно-практической конференции студентов и аспирантов Липецко-го государственного технического университета, Липецк, 20 марта — 12 2023 года. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2023. - С. 1155-1160.