

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН (FFWZ-2025-0001).

Список использованных источников

1. Сергеев, В. А. Нелинейные тепловые модели полупроводниковых изделий // В.А. Сергеев, А.М. Ходаков. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 184 с.
2. Туищев А.И. Принципы моделирования тепловых режимов вычислительных устройств методом электротепловых аналогий // Инновации, наука, образование.– Тольятти, 2018.– № 5.
3. Оптимальная реализация линейных электронных RLC-схем / Ланнэ А.А., Михайлова Е.Д., Саркисян Б.С., Матвийчук Я.Н. – Киев : Наук. Думка, 1981. – 208 с.
4. Ходаков А.М., Смирнов В.И., Сергеев В.А., Тарасов Р.Г., Гавриков А.А. Моделирование и анализ распределений температуры и термомеханических напряжений в многокристальном электронном модуле. РЭНСИТ: Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии, 2024, 16(2):215-222. DOI: 10.17725/rensit.2024.16.215.
5. Курганов Д.С., Филаретов В.В. Программа символьного анализа и диагностики электронных цепей CIRSWMW32.– М. : ОФАП Госкоорцентра Минобрнауки России. – № ОФАП 9589; №ГР 50200702592. – 2007.
6. Кузьмин Н.П. Анализ теплового режима электронных устройств методом схемных определителей. Синтез, анализ и диагностика электронных цепей. Международный сборник научных трудов - Ульяновск, 2024. С. 129-138.

Кузьмин Николай Павлович, инж. I кат. УФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, асп. каф. радиотехники, опто- и наноэлектроники УлГТУ, niko_rus@mail.ru

УДК 620.179.18; 621.315.1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПИКОВОГО ЗНАЧЕНИЯ НАПРЯЖЁННОСТИ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИЕЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

И. А. Зайцев

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: Высоковольтные линии электропередач, короткое замыкание, импульсное магнитное поле.

Высоковольтные линии электропередач (ВЛЭП) работают под воздействием ряда факторов: перекрытие изоляции или её повреждение, коммутационные перенапряжения, повышения и понижения температуры, воздействие ветра и т.д. Вследствие этого в них происходят короткие замыкания (КЗ), приводящие к появлению импульсного магнитного поля (ИМП). Технические средства (ТС) в составе изделий ракетно-космической техники, находящиеся вблизи ВЛЭП, подвергаются воздействию ИМП.

При превышении допустимых значений условий эксплуатации ТС могут ухудшаться их точностные характеристики, а также происходит деградация элементов: наведенные токи и напряжения вызывают скрытые дефекты, которые не приводят к мгновенному отказу, но сокращают остаточный ресурс работы компонентов.

В РФ действует ГОСТ IEC 61000-4-9-2013 «Электромагнитная совместимость. Часть 4-9. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к импульсному магнитному полю» (далее ГОСТ), который устанавливает требования к устойчивости оборудования (в общем виде технических средств), подвергающегося при эксплуатации воздействию импульсного магнитного поля.

В приложении С ГОСТ приведён список испытательных уровней и соответствующая уровню электромагнитная обстановка. В приложении отсутствуют условия эксплуатации в электромагнитной обстановке, создаваемой КЗ в ВЛЭП. Поэтому при проектировании и испытаниях ТС необходимо проведение моделирования данных условий.

Для нахождения напряжённости магнитного поля используется следующий алгоритм. Импульс тока раскладывается на спектральные составляющие с помощью ДПФ. Используя уравнение «бегущей волны», а также формулу векторного потенциала, находится магнитное поле от проводников. Обратные токи моделируются с использованием формулы Карсона [1]. Провода линий электропередач разбиваются на отрезки малой длины. Выполняется условие квазистационарности: длина волны много больше длины моделируемого участка:

$$\frac{l_c}{\lambda} \ll 1$$

Длина линейного отрезка значительно меньше, чем расстояние до точки, в которой находится значение ИМП [2]:

$$H_\alpha = \frac{I_m l}{4\pi r^2} \sin(\theta) \cos(\omega t)$$

Взаимное влияние соседних проводов друг на друга не учитывается. Проводимость грунта, достаточная, чтобы токи проводимости были значительно больше токов смещения.

Суммарное значение магнитного поля в точке, где вычисляется значение напряжённости ИМП от каждого линейного отрезка источников ИМП для каждой гармоники находится интегрированием методом прямоугольников. Значение ИМП от времени находится с помощью обратного дискретного преобразования Фурье [2].

Пиковое значение напряжённости ИМП, действующего на ТС, находится для ВЛЭП, соединяющей теплоэлектроцентраль и подстанцию. Моделирование произведено для токов КЗ в глухо заземлённых сетях для следующих видов КЗ: трехфазное КЗ — $K^{(3)}$; двухфазное КЗ — $K^{(2)}$;

двухфазное КЗ на землю — $K^{(1,1)}$; однофазное КЗ на землю — $K^{(1)}$; двойное КЗ на землю — $K^{(1-1)}$.

ИМП находится для каждой точки области, в которой расположено ТС при транспортировании изделия ракетно-космической техники. Пиковое значение напряжённости импульсного магнитного поля для трёхфазного КЗ ($K^{(3)}$) изображено на рисунке 1. Пунктирными линиями обозначена область расположения ТС.

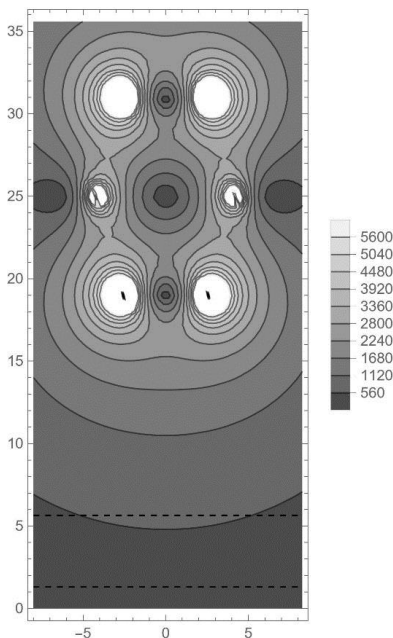


Рисунок 1 – Распределение максимального значения напряжённости ИМП для трёхфазного КЗ

Выбирается максимальное (пиковое) значение напряжённости ИМП для области (1120 А/м). По ГОСТ испытательный уровень определяется как открытый, так как значение превышает 1000 А/м. Результаты моделирования можно использовать при проектировании и испытаниях ТС.

Список использованных источников

1. Carson, J. R. Wave propagation in overhead wires with ground return // Bell Syst. Tech. J., 1926, 5, pp. 539–554.
 2. Кугушев А. М., Основы радиоэлектроники. Линейные электромагнитные процессы [Текст] / А. М. Кугушев, Н.С. Голубева – М.: Энергия, 1969. – 880 с.
- Зайцев Илья Александрович, студ. гр. 6561-110501D, ilya-zaytsev-1503@mail.ru.