

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОАКСИАЛЬНЫХ ШУНТОВ

Худоногова Л.И., Бедарева Е.В.

Научный руководитель Муравьев С.В., д.т.н., профессор
Томский политехнический университет, 634034, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: likhud@tpu.ru

Введение

При испытаниях электроэнергетического оборудования, таких как мощные трансформаторы, силовые размыкатели, коммутаторы, защитные устройства, а также при контактной сварке и нанесении покрытий методов микродугового оксидирования применяют резистивные преобразователи тока. Предпочтения отдают коаксиальной конструкции шунтов, обладающих наиболее стабильными метрологическими характеристиками [1,2]. На динамические характеристики коаксиальных шунтов влияют свойства его собственного магнитного поля.

Целью работы является моделирование магнитного поля коаксиального шунта. Для построения модели использовался метод конечных элементов и программный комплекс ANSYS.

Объект исследований

Коаксиальный шунт представляет собой измерительный преобразователь тока, содержащий токовые и потенциальные выводы (рис. 1).

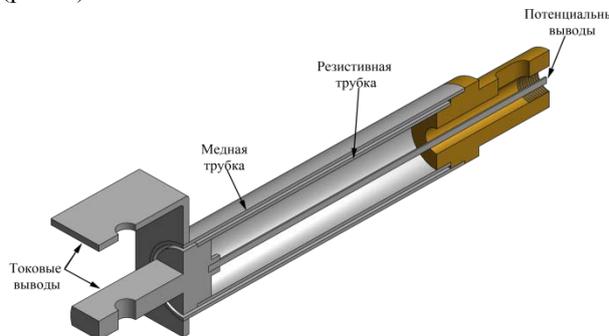


Рис. 1. Конструкция коаксиального шунта

Конструктивно шунт состоит из двух вложенных друг в друга цилиндров, по которым ток протекает в противоположных направлениях. Внутренний цилиндр изготавливают из резистивного материала с большим удельным сопротивлением, в данном случае – манганина. Внешний цилиндр, сделанный из меди, имеет меньшее удельное сопротивление.

Моделирование магнитного поля будет проводиться для коаксиального шунта со следующими параметрами: толщина резистивной трубки – 1 мм; длина – 90 мм; внутренний радиус – 9 мм; сопротивление – 750 мкОм; номинальный ток – 1 кА, воздушный зазор между цилиндрами – 1 мм [3].

Моделирование магнитного поля коаксиального шунта

Моделирование магнитного поля шунта в программном продукте ANSYS Workbench состоит из следующих этапов:

- 1) Выбор типа расчета задачи;
- 2) Построение геометрии;
- 3) Задание основных характеристик материалов, из которых изготовлен шунт;
- 4) Генерация сетки конечных элементов;
- 5) Определение граничных условий и нагрузок;
- 6) Расчет задачи и визуализация результатов.

Для построения модели используется тип расчета Magnetostatic. Данный модуль позволяет провести объемный анализ статического магнитного поля шунта, по которому протекает постоянный ток амплитудой 1кА.

Поскольку шунт обладает достаточно сложной конструкцией, которая требует высокой точности передачи геометрических размеров, оптимальным решением является построение геометрии в одной из CAD-программ. Геометрия шунта создается в программе Inventor 2011, после чего импортируется в ANSYS Workbench.

Материалы и их характеристики определяются в модуле Engineering Data. В модели используется четыре материала: медь, манганин, латунь и воздух. Для каждого из них задаются значения таких параметров, как удельное сопротивление и магнитная проницаемость.

Следующим шагом является генерация сетки конечных элементов. Сетка генерируется на геометрической модели и является основой для составления и решения системы уравнений в матричном виде. Сетка с установками по умолчанию автоматически генерируется при запуске решения. При расчете магнитного поля шунта использовалась сетка с количеством узлов, равным 103303, и 63598 конечными элементами.

Для задания граничных условий первоначально, на этапе создания геометрии шунта, необходимо ограничить расчетную область воздухом с помощью команды Enclosure в меню Tools. К поверхности ограничивающей сферы прикладываются граничные условия Magnetic Flux Parallel, при которых магнитные силовые линии параллельны границе.

При задании нагрузки – тока номинальным значением 1кА – необходимо прежде всего учитывать траекторию протекания тока. Ток прикладывается к токовому выводу, протекает по внутренней резистивной трубке и через заглушку переходит на внешний цилиндр. Таким образом,

ток проходит по трубкам в противоположных направлениях.

Для организации такой траектории на один из токовых выводов подается ток значением 1кА, а на другой – ток такой же амплитуды, но со знаком «минус». На противоположном конце шунта задается нулевой потенциал. На рис.2 показаны все нагрузки и граничные условия, приложенные для построения модели магнитного поля коаксиального шунта.

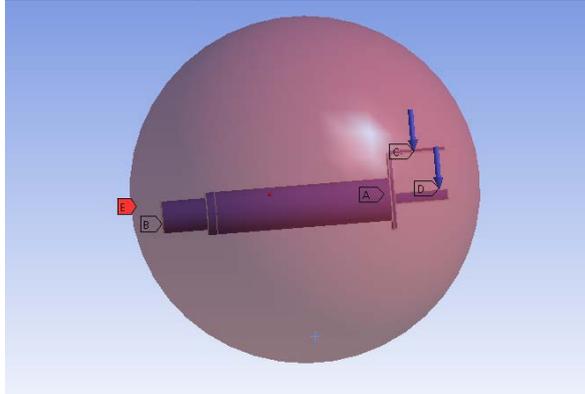


Рис. 2. Приложение нагрузок и магнитных условий

Для расчета задачи необходимо предварительно указать величины, подлежащие определению. Для моделирования магнитного поля коаксиального шунта в качестве такой величины выбирается магнитная индукция. Расчеты можно проводить как для всей области, так и для конкретных ее элементов либо отдельно взятых точек.

Полученное распределение магнитного поля коаксиального шунта представлено на рис.3 (продольный разрез шунта).

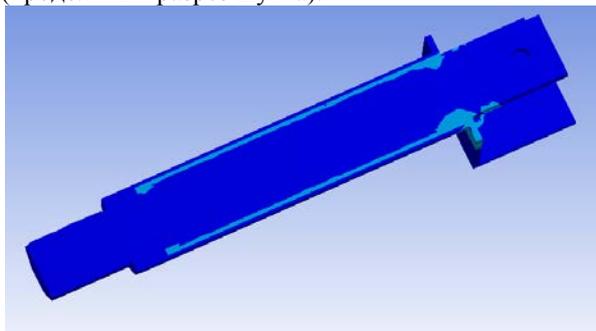


Рис.3. Распределение магнитного поля коаксиального шунта (продольный разрез)

Таким образом, магнитное поле шунта практически полностью сконцентрировано в воздушном зазоре между двумя трубками. Благодаря коаксиальной конструкции шунта паразитная индуктивность, возникающая за счет магнитного поля, не будет оказывать существенного влияния на значение выходного напряжения шунта, таким образом, сводя к минимуму возникающую погрешность.

Экспериментально полученное значение магнитной индукции в воздушном зазоре на

расстоянии 10 мм от центра для модели, построенной в программе ANSYS, составляет 0,02 Т.

Магнитная индукция B для коаксиальной конструкции, состоящей из двух проводящих цилиндров, рассчитывается следующим образом:

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r},$$

где μ – магнитная постоянная, Гн/м;
 I – ток, протекающий по шунту, А;
 r – радиус, на котором рассчитывается значение магнитной индукции, м.

В воздушном зазоре на радиусе $r = 10$ мм магнитная индукция составляет:

$$B = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000}{2 \cdot \pi \cdot 0,01} = 0,02 \text{ Т.}$$

Экспериментальное и расчетное значение магнитной индукции совпадают, что говорит об адекватности полученной модели магнитного поля и позволяет сделать вывод о правильности полученных данных. Используя полученное значение магнитной индукции, становится возможным определение реальной паразитной индуктивности, и, следовательно, оценка погрешности шунта.

Заключение

Результаты проведенного моделирования показывают, что магнитное поле коаксиального шунта сосредоточено в воздушном зазоре между трубками. Внутри и снаружи трубок поле, создаваемое протекающим током, отсутствует, что позволяет уменьшить вклад, вносимый в суммарную погрешность паразитной индуктивностью шунта. Значение магнитной индукции в зазоре, полученное при моделировании, составляет 0,02 Т, что соответствует расчетному значению. Построенная модель магнитного поля позволит определить значение паразитной индуктивности коаксиального шунта.

Список литературы

- 1 Kawamura T., Haginomori E., Goda Y., Nakamoto T. Recent Developments on High Current Measurement Using Current Shunt // Transactions on electrical and electronic engineering. – 2007. – V. 2. – No. 5. – P. 516-522.
- 2 Векслер М.С., Теплинский А.М. Шунты переменного тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.
- 3 Бедарева Е.В., Цимбалит Э.И., Муравьев С.В., Баранов П.Ф. Влияние способов подключения потенциальных выводов на динамические характеристики коаксиальных шунтов // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322, № 4: Энергетика. – С. 154.