

УДК 621.315

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ
ВДОЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ОПОРНОГО ИЗОЛЯТОРА В ПРИЛОЖЕНИИ FEMM****В. В. ПРОЗОРОВ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. А. Л. АДАМОВИЧ)*

Работа включает в себя изучение программы FEMM, анализ распределения электрического поля вокруг опорного изолятора, что позволило выявить зоны с повышенными напряжениями и потенциальными рисками утечек тока. Использование метода конечных элементов позволило детально исследовать влияние различных параметров конструкции изолятора на его электрические характеристики.






Основы и возможности программного обеспечения FEMM. Программа Finite Element Method Magnetics (сокращенно FEMM) позволяет проводить на персональных компьютерах расчет плоскомеридианных (осесимметричных) и плоскопараллельных стационарных или квазистационарных магнитных, а также стационарных электростатических полей. Пакет позволяет определять их цепные и полевые параметры и строить картины. Преимуществами рассматриваемого программного обеспечения также является лёгкость освоения.








Основная часть программы состоит из трех модулей: графического препроцессора, решателя и графического постпроцессора. Работа с пакетом при разработке новой модели начинается с запуска препроцессора. Первый этап – геометрические построения исследуемых объектов в полярных или декартовых координатах. Второй этап – задание для частей или блоков объекта свойств материалов (в том числе кривых намагничивания) и ввод граничных условий (Дирихле, Неймана, смешанных, периодичности и антипериодичности, специальных и др.). После этого начинается автоматическая работа решателя, обчисляющего параметры модели и строящего сетку конечных элементов. После окончания расчетов запускается постпроцессор, при этом создаются зонные картины полей: для стационарного магнитного поля – линий магнитного потока, для квазистационарного – линий действительного значения векторного магнитного потенциала. Параметры полей можно просмотреть в любой точке области, а в определенных зонах оценить ряд интегральных величин: магнитных потоков, индуктивностей, магнитных напряжений и т.д.[1],[2].

Моделирование опорного изолятора. В современной электротехнике опорные изоляторы играют ключевую роль в обеспечении надежности и безопасности электрических сетей. Они предотвращают протекание тока по опорам и поддерживают высоковольтные провода на безопасном расстоянии от земли и друг от друга. С учетом их значимости, точное моделирование опорных изоляторов является важной задачей для инженеров-электриков.

На данном этапе рассчитано распределение напряженности электрического поля в пространстве снаружи опорного изолятора без выравнивающего экрана и с экраном. Так как изолятор имеет форму трубы то будет рассчитываться осесимметричная геометрия и рисоваться будет только одна половина изолятора.

Порядок выполнения работы:

1. Запущена программа FEMM с рабочего стола. Нажата , затем «Problem» и сделаны установки типа проблемы.
2. Нажата  и установлен шаг сетки 30 см.
3. Добавлены точки (узлы)  по координатам (r; z) согласно данным опорного изолятора. (клавиша «Tab»).
4. Созданы линии . Внешний контур – это граница наружного пространства, вертикальная линия слева – ось симметрии изолятора.
5. Добавление материалов. «Properties» → «Materials» → «Add Property» → указать: Name «Air» (воздух), диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = \epsilon_z = 1$. Аналогично добавлен материал изолятора: Name «Izolator», $\epsilon_r = \epsilon_z = 5$ (фарфор).
6. Выбор граничных условий. Нажата «Properties» → «Boundary»: Name «Phase», Fixed Voltage: 90 000 В (амплитуда фазного напряжения сети 110кВ). Аналогично для земли: Name «Earth», 0 В.
7. Присваивание материалов областям. Нажата  и добавлены две метки - одну на изолятор, другую на воздух. Метки выделены правой кнопкой мыши, нажат «Пробел», появилось меню выбора материалов.
8. Присваивание свойств границам. Выделено верхнее ребро изолятора, нажат «Пробел», для него выбрано свойство «Phase». Аналогично выбраны две нижние линии «земли» и для них указаны свойство «Earth».

9. Выполнение расчета и анализ результатов. Нажата  для создания сетки, а затем расчет . Для просмотра результатов нажата , произошёл переход в новое окно. Для получения картины в виде распределения напряженности электрического поля нажата  и установлен «Field Intensity (|E|)». Нажата  для отображения напряженности в векторном виде, указан масштаб 3.
10. Получение графика напряженности электрического поля вдоль поверхности изолятора. Включена сетка и привязка к ней. Построена линия  примерно от начала верхнего электрода, до земли. Нажата , выбрано |E|, смотреть рисунок 1.

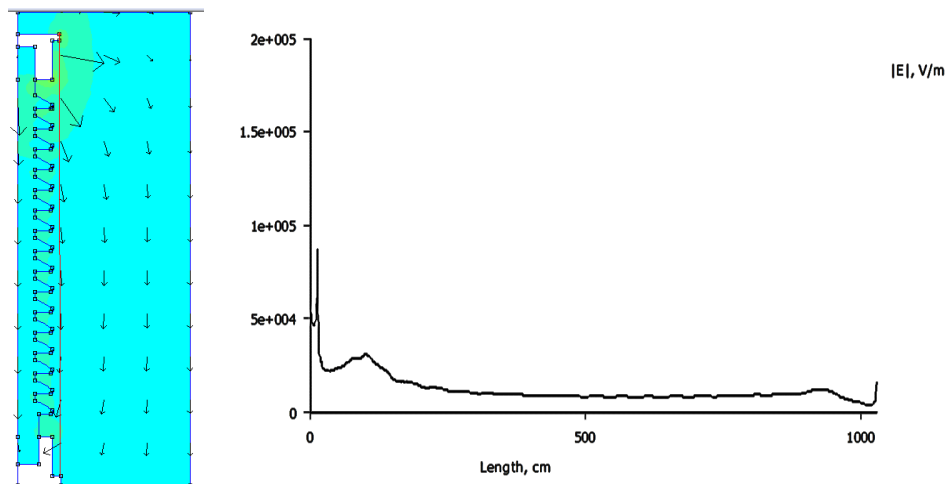



Рисунок 1. – Распределение напряженности электрического поля вдоль поверхности изолятора в векторном виде и в виде графика

11. Добавление экранирующего экрана для выравнивания электрического поля. Установлены две точки с координатами (180; 880) и (215,5; 880). Замкнуты дугами (180°) для образования окружности. Эта окружность - сечение кольцевого металлического экрана вокруг изолятора. Выделены дуги - «Пробел» - свойство «Phase», так как экран подключен в верхнему электроду и находится под тем же потенциалом.
12. Выбрана  и установлена метка внутри экрана. В свойствах метки указано «No Mesh», чтобы внутри сечения экрана сетка не создавалась, так как там расчет не нужен.
13. Повторен расчет, получено распределение напряженности поля и линейный график напряженности поля вдоль изолятора (смотреть рисунок 2).

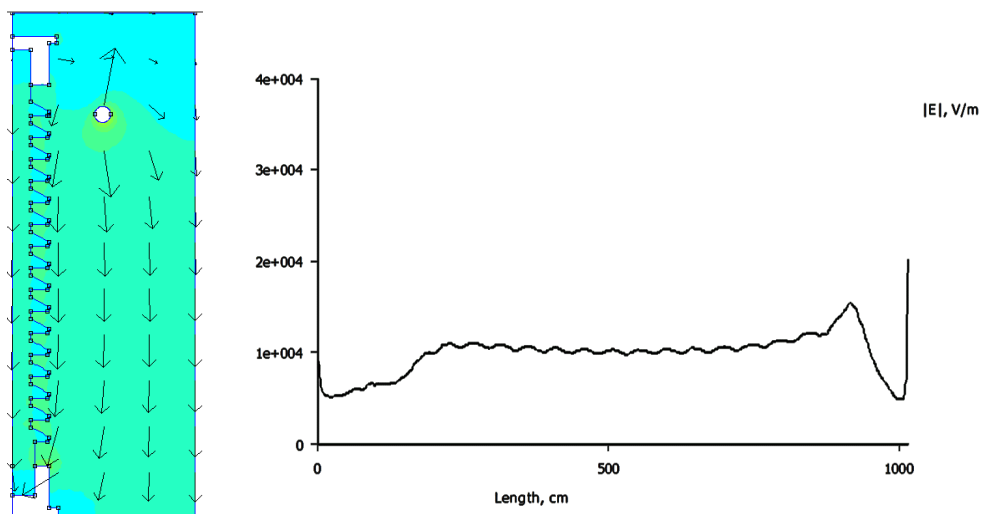


Рисунок 1. – Распределение напряженности поля и линейный график напряженности поля вдоль изолятора

Заключение. Таким образом неравномерное распределение напряженности электрического поля вдоль опорного изолятора без экрана обусловлено его формой и материалом. Наибольшая напряженность поля обычно наблюдается у концов изолятора, где происходит переход к воздуху или другой среде. Это место является наиболее уязвимым для возникновения пробоя. Экранирующие устройства изоляторов играют важную роль в управлении электрическими полями и обеспечении безопасности в электрических системах. Благодаря ним происходит снижение напряженности электрического поля, что помогает защитить людей и оборудование от воздействия высоких полей. Кроме того, экраны могут предотвратить возникновение электрических разрядов, которые могут привести к повреждениям оборудования. Снижение напряженности электрического поля создаются более безопасные условия для работы персонала вблизи высоковольтных установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. FEMM// Version 4.2 User's Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.femm.info/wiki/Manual/>.– Дата доступа: 10.04.2024
2. Схем.net// Finite Element Method Magnetics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cxem.net/software/finiteElementMethodMagnetics.php?ysclid=m0v7varka238574195/>.– Дата доступа: 20.04.2024