

Групповой проект. 2 этап

Электрический пробой. Алгоритмы

Астафьева Анна Андреевна
Коломиец Мария Владимировна
Жиронкин Павел Владимирович
Паландузян Артем Карапетович
Сурнаков Александр Васильевич
Евдокимова Юлия Константиновна
Группа: НПИбд-01-18

Содержание

1	Цели и задачи	5
2	Описание алгоритма	6
2.1	Вычисление потенциала	6
2.2	Вычисление электрического поля	7
2.3	Рост структур разряда по модели НПВ	8
3	Вывод	10
4	Список литературы	11

Список таблиц

Список иллюстраций

1 Цели и задачи

Цель работы: составление алгоритма для реализации модели роста стримерной структуры при электрическом пробое.

Задачи:

1. Реализовать в геометрии «острие – плоскость» однозвенную модель со степенной зависимостью вероятности роста от напряженности поля $p \sim E^\eta$.
2. Рассмотреть изменение геометрии стримерной структуры для случаев $\eta = 0, 1, 2$.

2 Описание алгоритма

2.1 Вычисление потенциала

На прошлом этапе мы описали математическую модель получения потенциала для плоского случая в точке с координатами x и y :

$$\phi_{i,j} = \frac{1}{4}(\phi_{i-1,j} + \phi_{i+1,j} + \phi_{i,j-1} + \phi_{i,j+1})$$

Систему уравнений будем решать методом итераций. «Новое» значение потенциала в каждом внутреннем узле вычисляется как среднее арифметическое «старых» значений потенциала в соседних с ним узлах. Для того, чтобы начать итерации, необходимо задать для внутренних узлов расчетной области некие (вообще говоря, произвольные) начальные значения $\phi_{i,j}$. При этом необходимые значения $\phi_{i,j}$ на границе расчетной области берутся из граничных условий.

Таким образом можно вычислить новые значения потенциала во всех внутренних узлах. Повторяем эту процедуру до тех пор, пока новые значения будут отличаться от старых не более, чем на заданную величину (погрешность вычисления потенциала). Доказано, что итерации всегда сходятся, т.е. значения потенциала стремятся к точному решению. Начальные значения потенциала можно задать произвольно, однако, для ускорения сходимости их следует выбирать как можно ближе к точному решению.

Часто рассматривается система, состоящая из двух горизонтальных плоских электродов, пространство между которыми заполнено диэлектриком. Удобно задать потенциал одного из электродов равным нулю. Тогда потенциал второго

электрода равен приложенному напряжению.

Для простоты можно рассматривать задачу в прямоугольной области, ограниченной сверху и снизу электродами, а слева и справа — вертикальными границами, на которых тоже необходимо задать граничные условия.

При вычислении поля в диэлектрике стримерную структуру можно считать продолжением электрода, то есть тоже границей расчетной области. Удобно рассматривать рост структуры с электрода, имеющего нулевой потенциал.

Обобщая все вышесказанное, можно кратко записать алгоритм вычисления потенциала итерационным методом:

1. Задаем квадратную сетку (область разряда).
2. Задаем произвольные значения потенциала для внутренних узлов области.
3. Всем узлам, примыкающим к границе, потенциал которой известен, задаем значение потенциала, равное значению потенциала границы.
4. Вычисляем новые значения потенциала во всех узлах.
5. Повторяем пункт 4. пока потенциалы не перестанут изменяться.

2.2 Вычисление электрического поля

Зная потенциал можно вычислить электрическое поле. Среднее значение проекции электрического поля на звено, соединяющее узлы А и В:

$$|E_{AB}| = (\phi_A - \phi_B)/l_{AB}$$

Потенциал стримерной структуры считаем нулевым, получаем поле на звеньях, выходящих из стримерной структуры:

$$|E| = \phi_B \text{ (для горизонтальных и вертикальных звеньев),}$$

$$|E| = \phi_B/\sqrt{2} \text{ (для диагональных).}$$

2.3 Рост структур разряда по модели НПВ

Для описания роста структур разряда будем использовать модель НПВ.

Рост начинается с одной из точек на электроде. На каждом шаге роста с некоторой вероятностью может образоваться одна веточка разрядной структуры.

Обычно предполагают, что вероятность ее образования приближенно равна $p(E) \sim E^\eta$, где E — среднее значение проекции электрического поля на направление, соединяющего два соседних узла сетки, а η — так называемый показатель роста, зависящий только от свойств диэлектрика.

На каждом шаге роста случайный процесс выбора новой веточки структуры реализуется следующим алгоритмом. Пробегаем по всем M узлам решетки, в которые возможен рост, и рассчитываем сумму вероятностей роста:

$$Z = \sum_{k=1}^M E_k^\eta$$

Затем разыгрывается случайное число ξ , равномерно распределенное от 0 до Z .

Затем повторно шаг за шагом рассчитывается сумма до тех пор, пока текущая сумма не станет больше ξ . Тот узел, для которого сумма стала больше ξ , присоединяется к структуре. После этого идет пересчет поля. Таким образом формируется эквипотенциальная структура.

Такая модель носит название однозвенной, так как в один элементарный промежуток времени возникает только одно звено в структуре узора диэлектрического пробоя.

Кратко представим часть алгоритма, отвечающую за реализацию модели НПВ:

6. Выбираем узлы, которые являются периметром для узора, образуемого электрическим пробоем.
7. Пробегаем по всем узлам, в которые возможен рост и считаем сумму:

$$Z = \sum_{k=1}^M E_k^\eta$$

8. Разыгрываем случайное число ξ , равномерно распределенное от 0 до Z.
9. Затем повторно шаг за шагом рассчитывается сумма до тех пор, пока текущая сумма не станет больше ξ . Тот узел, для которого сумма стала больше ξ , присоединяется к структуре.
10. Пересчитываем поле (п. 4-5).
11. Повторяем пункты 6-9, пока узор не достигнет границы.

3 Вывод

Составлен алгоритм для реализации модели роста стримерной структуры при электрическом пробое.

4 Список литературы

1. Д. А. Медведев, А. Л. Куперштох, Э. Р. Прууэл, Н. П. Сатонкина, Д. И. Карпов -
МОДЕЛИ-РОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ НА ПК
2. Niemeyer L., Pietronero L., Wiesmann H. J. Fractal dimension of dielectric
breakdown // Physical Review Letters. 1984. V. 52, N 12. P. 1033–1036
3. Biller P. Fractal streamer models with physical time // Proc. 11th Int. Conf. on
Conduction and Breakdown in Dielectric Liquids, IEEE N 93CH3204-5. Baden-
Dättwil, Switzerland, 1993. P. 199–203.