

Лабораторная работа номер 2

Malkov Roman Sergeevich

01.06.2022

Электрический пробой — явление резкого возрастания тока в твердом, жидком или газообразном диэлектрике (или полупроводнике) или воздухе, возникающее при приложении напряжения выше критического (напряжение пробоя). Пробой может происходить в течение очень короткого времени (до 10^{-8} с) или установиться на длительное время (например, дуговой разряд в газах).

Человек познакомился с искровым разрядом задолго до того, как приступил к научному познанию мира.

Феерическое и грозное явление природы — молния с точки зрения физики являет собой пример грандиозного искрового разряда в атмосфере.

Молния

Возникновение искрового электрического разряда сильно

Метод итераций

Стимерный разряд в атмосфере

$$\Phi_x = \epsilon E_x(x+\delta x)h^2 - \epsilon E_x(x)h^2 = -\epsilon(\phi_{i+1,j,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i-1,j,k})$$

$$\Phi_y = \epsilon E_y(y+\delta y)h^2 - \epsilon E_y(y)h^2 = -\epsilon(\phi_{i,j+1,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j-1,k})$$

$$\Phi_z = \epsilon E_z(z+\delta z)h^2 - \epsilon E_z(z)h^2 = -\epsilon(\phi_{i,j,k+1} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j,k-1})$$

Складывая эти уравнения, вычислим полный поток изнутри ячейки и поделим его на объем ячейки

$$\frac{\Phi}{h^3} = \frac{(\Phi_x + \Phi_y + \Phi_z)}{h^3} = -\epsilon \frac{(\phi_{i+1,j,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i-1,j,k})}{h^2} - \epsilon \frac{(\phi_{i,j+1,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j-1,k})}{h^2} - \epsilon \frac{(\phi_{i,j,k+1} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j,k-1})}{h^2}$$

Метод итераций Так как в данном случае полный поток равен нулю, то при $h \rightarrow 0$ уравнение для потенциала в

Критерии и модели роста стримеров

Зная потенциал, можно вычислить электрическое поле. Среднее значение проекции электрического поля на звено, соединяющее узлы A и B , $\langle E_{AB} \rangle = (\phi_A - \phi_B)/l_{AB}$. Нам необходимо знать поле на звеньях, выходящих из стримерной структуры. Считая ее потенциал нулевым, получаем просто $|E| = \phi_B$ для горизонтальных и вертикальных звеньев, $|E| = \frac{\phi_B}{\sqrt{(2)}}$ для диагональных. Здесь индекс B означает узлы, соседние со структурой.

Электрический пробой - стохастический процесс, каждое звено может пробиваться с некоторой вероятностью, зависящей от поля. Такая зависимость называется критерием роста. Рассмотрим некоторые при меры.

Нимейером, Пьетронеро и Висманом впервые была предложена модель, которая позволяет описать рост структур разряда в диэлектриках. В основе модели лежит предположение, что структура растет случайным образом, причем вероятность роста зависит только от локального электрического поля вблизи структуры. Эта модель достаточно легко реализуется на компьютере. Обычно моделируется разряд в диэлектрике, помещенном между двумя электродами, разность потенциалов между которыми V .

Для расчета электрического поля в диэлектрике область моделирования покрывается сеткой (например, квадратной в двумерном случае или кубической - в трехмерном), на которой решается уравнение Лапласа.

Рост начинается с одной из точек на электроде. На каждом шаге роста с некоторой вероятностью может образоваться одна веточка разрядной структуры. Эта веточка будет соединять два соседних узла сетки, один из которых уже принадлежит разрядной структуре, а другой является диэлектриком. Таким образом, из каждого узла двумерной сетки может образоваться до восьми веточек, если учитывать возможность роста и по диагоналям (для трехмерной сетки до 26 веточек). Пусть E - среднее значение проекции электрического поля на направление, соединяющее два соседних узла сетки, между которыми может образоваться новая ветвь разрядной структуры. Обычно предполагают, что вероятность ее образования приблизительно равна $p(E) \sim E^\eta$, где η - так называемый показатель роста, зависящий только от свойств

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

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

где величина E_k - своя для каждой пары узлов и находится на каждом шаге роста по текущему распределению электрического поля. Затем разыгрывается случайное число ξ , равномерно распределенное от 0 до Z . Для этого используется формула $\xi = Z * random$. Затем повторно шаг за шагом рассчитывается до тех пор, пока текущая сумма $\sum_{k=1}^M E_k^{\eta}$ не станет больше ξ . Тот узел, для которого сумма стала больше ξ , при соединяется к структуре. Новой образовавшейся веточке присваивается

В этой модели каждый шаг роста во времени имеет номер, но, к сожалению, номеру не сопоставлен реальный интервал времени Δt . Структура разряда растет до тех пор, пока не достигнет противоположного электрода.

Такая модель роста принадлежит к классу однозвенных моделей, в которых считается, что проводящее звено, появившееся первым, подает рост остальных на текущем временном шаге.

Флуктуационный критерий роста

В многозвенных моделях, наоборот, пренебрегается влиянием друг на друга проводящих звеньев, возникающих на данном шаге по времени. Пусть пробой происходит в тех областях диэлектрика, где величина поля превосходит некоторое пороговое значение E_* (электрическую прочность). Однако это не совсем правильно, так как реальный диэлектрик не является полностью однородным. Существуют слабые места, связанные, например, с повышенной ионизацией за счет космических частиц, с флуктуациями температуры и т. д. То есть, критерий возникновения пробоя можно представить в виде $E > E_* - \delta$, где δ - величина флуктуации. Очевидно, что большие значения δ будут встречаться реже, чем маленькие. Для такого случая независимых редких событий распределение для флуктуаций экспоненциальное

Развитие пробоя происходит следующим образом: проверяются все звенья, выходящие из стримерной структуры. Те из них, для которых $E_i > E_* - \delta_i$, присоединяются к структуре. Эта модель роста принадлежит к классу многозвенных. Шаг роста во времени Δt считается постоянным.

Модели стохастического времени запаздывания.

В этой модели для каждого возможного звена было введено случайное время ожидания пробоя $\tau_i = \frac{-\ln(\text{random})}{r(E)}$. Случайные числа отражают стохастический (вероятностный) характер процесса. Тогда вероятность пробоя за малый интервал времени τ_0 равна $p(E) = \tau_0 * r(E)$. Функция вероятности роста $r(E)$ может быть любой быстро растущей функцией от локального электрического поля. В однозвенной модели пробивается звено, у которого время τ_i минимально. Шаг роста во времени принимается равным этому минимальному значению τ_i .

В случае многозвенчатой модели пробиваются все звенья, для которых τ_i меньше заданного шага по времени Δt , который можно выбрать постоянным. Как уже говорилось, вероятность пробоя резко возрастает с увеличением напряженности электрического поля. Поэтому часто

Мы изучили явление электрического пробоя и рассмотрели критерии и модели роста стримера.

Электрический пробой — явление резкого возрастания тока в твердом, жидком или газообразном диэлектрике (или полупроводнике) или воздухе, возникающее при приложении напряжения выше критического (напряжение пробоя). Пробой может происходить в течение очень короткого времени (до 10⁻⁸ с) или установиться на длительное время (например, дуговой разряд в газах).

Человек познакомился с искровым разрядом задолго до того, как приступил к научному познанию мира.

Феерическое и грозное явление природы — молния с точки зрения физики являет собой пример грандиозного искрового разряда в атмосфере.

Молния

Возникновение искрового электрического разряда сильно

Метод итераций

Стимерный разряд в атмосфере

$$\Phi_x = \epsilon E_x(x+\delta x)h^2 - \epsilon E_x(x)h^2 = -\epsilon(\phi_{i+1,j,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i-1,j,k})$$

$$\Phi_y = \epsilon E_y(y+\delta y)h^2 - \epsilon E_y(y)h^2 = -\epsilon(\phi_{i,j+1,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j-1,k})$$

$$\Phi_z = \epsilon E_z(z+\delta z)h^2 - \epsilon E_z(z)h^2 = -\epsilon(\phi_{i,j,k+1} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j,k-1})$$

Складывая эти уравнения, вычислим полный поток изнутри ячейки и поделим его на объем ячейки

$$\frac{\Phi}{h^3} = \frac{(\Phi_x + \Phi_y + \Phi_z)}{h^3} = -\epsilon \frac{(\phi_{i+1,j,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i-1,j,k})}{h^2} - \epsilon \frac{(\phi_{i,j+1,k} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j-1,k})}{h^2} - \epsilon \frac{(\phi_{i,j,k+1} - 2\phi_{i,j,k} + \phi_{i,j,k-1})}{h^2}$$

Метод итераций Так как в данном случае полный поток равен нулю, то при $h \rightarrow 0$ уравнение для потенциала в

Критерии и модели роста стримеров

Зная потенциал, можно вычислить электрическое поле. Среднее значение проекции электрического поля на звено, соединяющее узлы A и B , $\langle E_{AB} \rangle = (\phi_A - \phi_B)/l_{AB}$. Нам необходимо знать поле на звеньях, выходящих из стримерной структуры. Считая ее потенциал нулевым, получаем просто $|E| = \phi_B$ для горизонтальных и вертикальных звеньев, $|E| = \frac{\phi_B}{\sqrt{(2)}}$ для диагональных. Здесь индекс B означает узлы, соседние со структурой.

Электрический пробой - стохастический процесс, каждое звено может пробиваться с некоторой вероятностью, зависящей от поля. Такая зависимость называется критерием роста. Рассмотрим некоторые меры.

Нимейером, Пьетронеро и Висманом впервые была предложена модель, которая позволяет описать рост структур разряда в диэлектриках. В основе модели лежит предположение, что структура растет случайным образом, причем вероятность роста зависит только от локального электрического поля вблизи структуры. Эта модель достаточно легко реализуется на компьютере. Обычно моделируется разряд в диэлектрике, помещенном между двумя электродами, разность потенциалов между которыми V .

Для расчета электрического поля в диэлектрике область моделирования покрывается сеткой (например, квадратной в двумерном случае или кубической - в трехмерном), на которой решается уравнение Лапласа.

Рост начинается с одной из точек на электроде. На каждом шаге роста с некоторой вероятностью может образоваться одна веточка разрядной структуры. Эта веточка будет соединять два соседних узла сетки, один из которых уже принадлежит разрядной структуре, а другой является диэлектриком. Таким образом, из каждого узла двумерной сетки может образоваться до восьми веточек, если учитывать возможность роста и по диагоналям (для трехмерной сетки до 26 веточек). Пусть E - среднее значение проекции электрического поля на направление, соединяющее два соседних узла сетки, между которыми может образоваться новая ветвь разрядной структуры. Обычно предполагают, что вероятность ее образования приблизительно равна $p(E) \sim E^\eta$, где η - так называемый показатель роста, зависящий только от свойств

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

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

где величина E_k - своя для каждой пары узлов и находится на каждом шаге роста по текущему распределению электрического поля. Затем разыгрывается случайное число ξ , равномерно распределенное от 0 до Z . Для этого используется формула $\xi = Z * random$. Затем повторно шаг за шагом рассчитывается до тех пор, пока текущая сумма $\sum_{k=1}^M E_k^{\eta}$ не станет больше ξ . Тот узел, для которого сумма стала больше ξ , при соединяется к структуре. Новой образовавшейся веточке присваивается

В этой модели каждый шаг роста во времени имеет номер, но, к сожалению, номеру не сопоставлен реальный интервал времени Δt . Структура разряда растет до тех пор, пока не достигнет противоположного электрода.

Такая модель роста принадлежит к классу однозвенных моделей, в которых считается, что проводящее звено, появившееся первым, подает рост остальных на текущем временном шаге.

Флуктуационный критерий роста

В многозвенных моделях, наоборот, пренебрегается влиянием друг на друга проводящих звеньев, возникающих на данном шаге по времени. Пусть пробой происходит в тех областях диэлектрика, где величина поля превосходит некоторое пороговое значение E_* (электрическую прочность). Однако это не совсем правильно, так как реальный диэлектрик не является полностью однородным. Существуют слабые места, связанные, например, с повышенной ионизацией за счет космических частиц, с флуктуациями температуры и т. д. То есть, критерий возникновения пробоя можно представить в виде $E > E_* - \delta$, где δ - величина флуктуации. Очевидно, что большие значения δ будут встречаться реже, чем маленькие. Для такого случая независимых редких событий распределение для флуктуаций экспоненциальное

Развитие пробоя происходит следующим образом: проверяются все звенья, выходящие из стримерной структуры. Те из них, для которых $E_i > E_* - \delta_i$, присоединяются к структуре. Эта модель роста принадлежит к классу многозвенных. Шаг роста во времени Δt считается постоянным.

Модели стохастического времени запаздывания.

В этой модели для каждого возможного звена было введено случайное время ожидания пробоя $\tau_i = \frac{-\ln(random)}{r(E)}$. Случайные числа отражают стохастический (вероятностный) характер процесса. Тогда вероятность пробоя за малый интервал времени τ_0 равна $p(E) = \tau_0 * r(E)$. Функция вероятности роста $r(E)$ может быть любой быстро растущей функцией от локального электрического поля. В однозвенной модели пробивается звено, у которого время τ_i минимально. Шаг роста во времени принимается равным этому минимальному значению τ_i .

В случае многозвенчатой модели пробиваются все звенья, для которых τ_i меньше заданного шага по времени Δt , который можно выбрать постоянным. Как уже говорилось, вероятность пробоя резко возрастает с увеличением напряженности электрического поля. Поэтому часто

Мы изучили явление электрического пробоя и рассмотрели критерии и модели роста стримера.