

Применение численного метода инверсии для исследования
активных и пассивных стержневых молниеотводов
в полубесконечных областях

Т.А. Потапенко, студентка гр. ЭА-41

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Разряды атмосферного электричества весьма опасное явление в природе. Образующиеся молнии непосредственно угрожают жизни людей и животных, а при отсутствии систем молниезащит могут привести к повреждению или уничтожению домов, сооружений, электрооборудования, промышленных коммуникаций и др. Существующие системы молниезащит содержат: молниеотводы, токоотводы-проводники и заземлители, а также систему уравнивания потенциалов и систему защиты от перенапряжений. Среди схем систем молниезащит с учетом вида молниеотводов можно выделить такие как стержневые молниеотводы, молниеотводы типа «пространственная сетка» (металлическая сетка на объекте), тросовые молниеотводы (например, для линий электропередач (ЛЭП)), специальные молниеотводы зонтикового типа с коронирующей системой игольчатых электродов и в виде стержневого молниеотвода с применением импульсного электромагнитного устройства (ИЭУ). Первые три типа молниеотводов относятся к пассивным, а последние – к активным типам.

Молниеотвод с ИЭУ может быть, например, выполнен в виде устройства типа Prevecron 2 (компании INDELEC, Франция) с расположенным ИЭУ на верху стержня [1]. При этом, как правило, конструкция ИЭУ не раскрывается изготовителем. В отличие от существующих молниеотводов пассивного типа молниеотводы ИЭУ, например, Prevecron 2, разработанные только в конце двадцатого столетия, основаны на принципе так называемого «встречного разряда». Они имеют относительно высокую надежность, способны защищать достаточно большую площадь и при этом сохраняют эстетику строения в отличие от молниезащиты типа «пространственной сетки». Полевые испытания, выполненные во Флориде (США) в 1993 - 1995 годах, для устройств типа Prevecron 2 в сравнении с одиночным стержнем показали преимущество молниеотвода активного типа [1].

При этом необходимо отметить, что в практике молниезащиты молниеотводы зонтикового типа с коронирующей системой игольчатых электродов и в виде стержневого молниеотвода с применением ИЭУ в настоящее время являются предметом весьма острых дискуссий [2].

Для численного исследования стержневых молниеотводов с применением ИЭУ и без него предлагается использование численного метода инверсии для полубесконечной области [3]. Особенность этого метода заключается в применении специального приема для перехода от моделируемой области D к составной из D' и D^* . При этом при переходе от D' к D^* с помощью инверсии сохраняется шаблон расчетной схемы в силу свойства конформных отображений сохранения углов и постоянства растяжений.

Рассмотрим особенности расчета электростатических полей (ЭП) стержневых электродов в полубесконечной области относительно проводящей плоскости (поверхности земли) Z_k (граница Γ_1). В первой задаче определяется ЭП электрода (модель молниеотвода пассивного типа) относительно проводящей плоскости Z_k и плоской границы Γ_6 , являющейся некоторой частью круга с потенциалом ψ_0 (модель некоторого облака [4]).

Во второй задаче постановка аналогична, но определяется ЭП стержневого электрода, являющегося моделью молниеотвода активного типа, расположенного вертикально на проводящей плоскости Z_k с возможностью возбуждения ЭДС от ИЭУ, причем находящегося в верхней его части.

Считаем, что в этих случаях исследуется квазистатический режим процесса как в [3], причем для второй задачи учитывается возникновение в некоторый момент времени на электроде Γ_4 в верхней его части (Γ_{41}) потенциала ψ_1 . Этот прием применяется, например, в [5] при исследованиях ЭП для трехфазных ЛЭП 735 кВ (компании «Гидро-Квебек»), причем ЭП определяется для моментов времени t_i с учетом поочередного изменения условий на фазных проводах.

Постановка для первой задачи следующая. Определяется объемное поле в полубесконечной области $D(x,y,z)$ в виде некоторой части полусферы относительно поверхности земли на основе уравнения Лапласа [6]:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0 \quad ; (x,y,z) \in D(x,y,z). \quad (1)$$

Граничные условия следующие:

- на проводящей плоскости в виде границе Г1 (нижняя часть полусферы):

$$\psi(x,y,z) = 0, \quad (x,y,z) \in \Gamma_1; \quad (2)$$

- на границе полубесконечной области Г ∞ :

$$\psi(\infty) = 0; \quad (3)$$

- на поверхностях симметрии в виде границ Г2 и Г3 (на боковых частях полусферы):

$$\partial\psi/\partial n = 0, \quad (x,y,z) \in \Gamma_2, \Gamma_3; \quad (4)$$

- на части круга в виде границы Г6, находящейся над стержневым электродом:

$$\psi(x,y,z) = \psi_0, \quad (x,y,z) \in \Gamma_6; \quad (5)$$

- на стержневом электроде (без ИЭУ), вертикально расположенном на границе Г1:

$$\psi(x,y,z) = 0, \quad (x,y,z) \in \Gamma_4, \quad (6)$$

где $D(x,y,z)$ – расчетная область, ограниченная Г1, Г2, Г3, Г4, Г ∞ ; Г ∞ – условная граница на бесконечности. При этом вводится некоторая внутренняя граница Г5 в области $D(x,y,z)$ (искусственная граница для решения задачи с использованием метода [3]).

Считаем, что часть выделенной области в виде $D_m(x,y,z)$, входящая в состав исследуемой области $D(x,y,z)$ является основной, имеет форму части полусферы с радиусом R_0 и с границами Г1 – Г5 (с целью упрощения численного моделирования область $D(x,y,z)$ может быть в виде куба, параллелепипеда и др.). Для реализации метода необходима дополнительная область $D^*m(x,y,z)$ с учетом вида основной области $D_m(x,y,z)$ для того, чтобы часть области $D(x,y,z)$, находящаяся между границами Г5 и Г ∞ , отобразилась на область $D^*m(x,y,z)$. При этом на границе области $D^*m(x,y,z)$, расположенной по диаметру этой части полусферы, присваивается значение, совпадающее со значением потенциала ψ на бесконечности Г ∞ (с учетом отображения области между границами Г5 и Г ∞ на область $D^*m(x,y,z)$). При этом считаем, что области $D_m(x,y,z)$ и $D^*m(x,y,z)$ являются, как бы склеенными по соприкасающейся поверхности Г5 [3].

Постановка для второй задачи аналогична за исключением условия (6),

вместо которого используются следующие условия:

- на верхней части стержневого электрода с ИЭУ в виде границы Γ_{41} :

$$\psi(x,y,z) = \psi_1, (x,y,z) \in \Gamma_{41}; \quad (7)$$

- на нижней части стержневого электрода с ИЭУ в виде границы Γ_{42} , вертикально расположенного на границе Γ_1 :

$$\psi(x,y,z) = 0, (x,y,z) \in \Gamma_{42}. \quad (8)$$

При этом части стержней Γ_{41} и Γ_{42} изолированы друг от друга [1, 2].

В заключение можно отметить следующее. Начиная с 1753 г., когда Б. Франклин (США) изобрел громоотвод, появляется понятие – «молниезащита» и затем около двух столетий идёт развитие этого подхода. В 80-х годах появляются новые принципы построения систем молниезащит, например, компания INDELEC (Франция) разрабатывает молниеотвод типа Prevelectron в виде стержня с импульсным электромагнитным устройством в его верхней части, позволяющего создать более сильную ионизацию вокруг стержня, для образования «встречного разряда». На основе сформулированных задач (уравнения (1-6) и (1-5, 7,8)) и с помощью численных расчетов можно будет выявить особенности этих систем молниезащит, например, оценить возможную область защиты от электрического разряда при одинаковой высоте стержневых электродов.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.prevelectron.ru>
2. Базелян, Э.М. Молниезащита высоких сооружений/ Э.М. Базелян// Известия академии наук. Энергетика. – 2005. – №3. – С. 55-74.
3. Элементы доказательства метода инверсии внешней бесконечной области/ А.Н. Потапенко, М.И. Дыльков, А.И. Штифанов// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. – №6. – С. 186-188.
4. Резинкина, М.М. Расчет трехмерных электрических полей в системах, содержащих тонкие проволоки/ М.М. Резинкина// Электричество. – 2005. – № 1.– С. 44–49.
5. Yang Y., Dallaire D., Ma J., Dawalibi F.P. The strip simulation method for computing electric field on conductor surfaces // Proceedings of the Third IASTED International Conference on Power and Energy Systems, EuroPES 2003, Marbella, Spain, Sept. 3-5. – 2003. – P. 353-357.

6. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник / Л.А. Бессонов. – М.: Гардарики, 2001. – 317 с.