

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РАЗМЕРОВ И ФОРМЫ ПРОВОДЯЩИХ ВКЛЮЧЕНИЙ

М.А.Щерба,

**Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
ул. Политехническая, 37, Киев-56, 03056, Украина.**

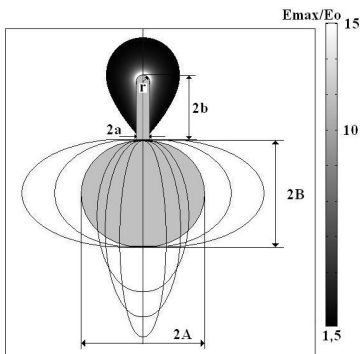
Исследовано неоднородное распределение низкочастотного электрического поля в диэлектрической среде с проводящими включениями различных размеров и форм. Определены закономерности локальных усилений электрического поля возле таких включений. Обосновано влияние размерных параметров микровключений сложной формы на максимальное локальное усиление поля. Библиограф. 3, рис. 1.

Ключевые слова: электрическое поле, напряженность, диэлектрическая среда, микровключение, дендрит.

Наличие в диэлектрической среде проводящих неоднородностей способствует возникновению в ней пороговых электрофизических процессов под действием внешнего электрического поля (ЭП). Распределение электрического поля возле микровключения простой формы (сфера, цилиндр, эллипсоид вращения) достаточно хорошо изучено [1-2]. Было показано, что возмущение ЭП проводящей сферой характеризуется лишь одним характерным параметром (ее радиусом R), эллипсоидом вращения – двумя параметрами (его полуосями a и $b=c$), эллипсоидом, не обладающим осевой симметрией, – тремя (его полуосями a , b и c), дендритный отросток в виде цилиндрической трубки с округлением на окончании, – также тремя (диаметром d , высотой l и радиусом округления r). Исследования показали, что при изменении всех размерных параметров таких включений максимальная напряженность поля в среде не изменяется. Вызывает научный интерес анализ распределения электрического поля в диэлектрической среде возле микровключений сложной формы типа сферическое и эллипсоидальное включения с дендритными отростками на их поверхности, которые характеризуются соответственно четырьмя и пятью размерными параметрами, что и стало целью данной работы.

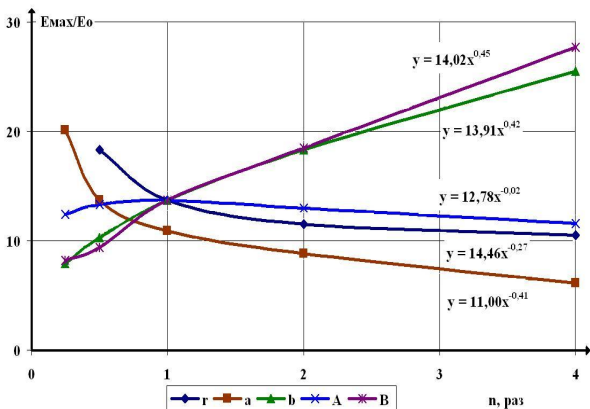
Физико-математическая постановка задачи как и в работах [2-3] формулировалась в квазиэлектростатической постановке. Диэлектрическая среда принималась однородной, линейной и изотропной с гетерогенными проводящими сферическими микровключениями. Внешнее электрическое поле гармоническое и низкочастотное. Численный расчет ЭП проводился с использованием метода конечных элементов, реализованным в пакете прикладных программ Comsol Multiphysic.

Анализ полученных результатов. При наличии внешнего ЭП E_0 в диэлектрической среде с проводящим включением напряженность поля E возле его поверхности прямо пропорциональна поверхностной плотности наведенного электрического заряда σ [3]. Характер распределения заряда по поверхности включения во многом определяется ее кривизной. Известно, что с уменьшением радиуса кривизны $r_{кр}$ локальной области проводящей поверхности плотность поверхностного заряда σ возрастает [1]. Поэтому ЭП в диэлектрической среде возле проводящего включения с острым микровыступом может усиливаться в десятки-сотни раз по сравнению с внешним однородным электрическим полем.



В работе исследовалось локальное усиление внешнего ЭП в диэлектрической среде возле водного эллипсоидального включения с дендритами на поверхности (на рисунке показан частный случай такого включения – сфера с дендритом).

На графиках показаны зависимости максимальной напряженности ЭП от каждого из пяти размерных параметров эллипсоидального включения с дендритом на поверхности. Каждая зависимость имеет нелинейный характер и может быть с хорошей степенью точности аппроксимирована степенной функцией вида $y = \alpha x^\beta$. Из рисунка видно, что увеличение некоторых размерных параметров усиливает ЭП, а других – ослабляет его таким образом, что одновременное увеличение всех параметров не изменяет максимальную напряженность поля.



Выводы. 1. Подтверждено, что чем сложнее геометрия проводящего микровключения, тем большее количество его характерных размерных параметров необходимо учитывать при расчете максимального значения напряженности электрического поля и оценки его распределения в диэлектрической среде возле включения.

Обосновано, что независимо от сложности геометрии, если все характерные размеры включения сложной формы прямо пропорционально изменить в n раз, то максимальная напряженность электрического поля в диэлектрической среде возле включения останется неизменной. В то же время градиент поля (и соответственно пространственное распределение его напряженности E) в диэлектрической среде возле включения изменится таким образом, что некоторое значение напряженности E_l , которое было на расстоянии l от поверхности включения, будет наблюдаться на расстоянии $n \cdot l$. В результате проявления данной закономерности величина напряженного объема диэлектрической среды изменится в n^3 раз.

2. Показано, что в диэлектрической среде возле торцевых поверхностей различных цилиндрических дендритов с одинаковым радиусом кривизны, но разными другими характерными параметрами (высотой и радиусом) могут возникать разные по величине напряженности электрического поля. Причем при таком увеличении радиуса кривизны торцевой поверхности дендрита значение напряженности поля E может не только уменьшаться, но и увеличиваться, что определяется характером изменения других размерных параметров включения.

3. Установлено, что уменьшение толщины дендрита и/или увеличение его длины приводит к увеличению максимальной напряженности ЭП и величины напряженного объема в изоляции. Уменьшение толщины дендрита сильнее возмущает ЭП в диэлектрической среде, чем увеличение его длины. Обосновано, что с точки зрения изоляционной надежности диэлектрика включения с дендритом в форме сильно вытянутого эллипсоида значительно опаснее цилиндрических.

4. Установлено, что если длина дендрита на поверхности сферического и эллипсоидального проводящего включения вдоль электрического поля будет больше размеров включения в том же направлении, то определяющими параметрами для возмущения поля будут размеры дендрита. В случае преобладания продольных размеров включения над длиной дендрита вдоль поля, определяющими становятся размеры сферического или эллипсоидального включения.

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1980. – 560 с.

2. Щерба А.А., Щерба М.А. Моделирование и анализ электрического поля в диэлектрической среде, возмущенного проводящими микровключениями разных размеров и конфигураций // Техн. электродинамика. – 2010. – № 6. – С. 3–9.

3. Щерба М.А., Подольцев А.Д. Усиление электрического поля в диэлектрическом промежутке между проводящими включениями // Техн. электродинамика. – 2011. – № 5. – С. 12–17.

УДК 537.876.23

ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ДІЕЛЕКТРИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПРИ ЗМІНІ РОЗМІРІВ І ФОРМИ ПРОВІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ

М.А.Щерба,

**Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
вул. Політехнічна, 37, Київ-56, 03056, Україна.**

Досліджено неоднорідний розподіл низькочастотного електричного поля в діелектричному середовищі з провідними включеннями різних розмірів та форм. Визначено закономірності локальних підсилень електричного поля біля таких включень. Обґрунтовано вплив розмірних параметрів микровключень складних форм на максимальне локальне підсилення поля. Бібл. 3, рис. 1.

Ключові слова: електричне поле, напруженість, діелектричне середовище, микровключення, дендрит.

PATTERNS OF THE ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION IN A DIELECTRIC MEDIUM AT CHANGING OF SIZES AND SHAPES OF THE CONDUCTING INCLUSIONS

M.A.Shcherba,

**National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Politekhnichna str, 37, Kyiv-56, 03056, Ukraine.**

The inhomogeneous low frequency electric field distribution in dielectric medium with heterogeneous conducting inclusion simple and complex forms has been discovered. The patterns of an electric field local intensifications near such inclusion have been determined. The influence of complex form inclusions dimensional parameters on the maximal local field intensification has been proved. References 3, figure 1.

Key words: electric field, intensity, dielectric medium, microinclusion, dendrite.

1. Landau L.D., Lifshits E.M. Electrodynamics of continuums. – Moskva: Nauka, 1980. – 560 p. (Rus)

2. Shcherba A.A., Shcherba M.A. The mathematical modeling and analysis of low-frequency electrical field in dielectric medium, disturbed by conducting microinclusions of different forms and configurations // Tekhnichna elektrodynamika. – 2010. – № 6. – Pp. 3–9. (Rus)

3. Shcherba M.A., Podoltsev A.D. The electric field intensification in dielectric space between conducting inclusions // Tekhnichna elektrodynamika. – 2011. – № 5. – Pp. 12–17. (Rus)

Надійшла 10.01.2012

Received 10.01.2012