

А.Я.ДМИТРИШИН, мл. науч. сотр., Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины, Николаев

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В КОМПОНЕНТАХ ПЛЕНОЧНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Виконано розрахунок розподілення електричного поля в компонентах плівкової діелектричної системи високовольтних імпульсних конденсаторів, на основі якого видано рекомендації щодо параметрів компонентів діелектричної системи, що забезпечують надійну роботу конденсатора.

Calculation of distribution of electrical field on components of dielectric system for high voltage pulse capacitors is carried out. Recommendations about parameters of components of dielectric system, which provided reliability of capacitors, are given on base this calculation.

Введение. Высоковольтные импульсные конденсаторы находят широкое применение в установках различного технологического назначения в качестве накопителей электрической энергии. В последнее время, с целью повышения удельной запасаемой энергии, в качестве рабочего диэлектрика секции высоковольтного импульсного конденсатора широко используются диэлектрические системы на основе полимерных пленок, пропитанных низковязкими жидкостями. Как показали проведенные в ИИПТ НАН Украины исследования, применение пленочных диэлектрических систем позволяет повысить удельную запасаемую энергию в 2 раза при одинаковом ресурсе или на порядок повысить ресурс при одинаковой удельной запасаемой энергии по сравнению с пропитанным бумажно-пленочным диэлектриком, применяемым ранее [1].

Одним из основных факторов, влияющих на надежность конденсатора, является электрическое поле в рабочем диэлектрике секции конденсатора [2]. В большинстве работ, посвященных этой проблеме, исследуется электрическое поле на краю обкладок секции конденсатора и другие краевые задачи. Вопросу распределения напряженности электрического поля по компонентам диэлектрической системы не уделялось достаточно внимания, но, как показывают исследования, приведенные в [3], это распределение оказывает влияние на кратковременную электрическую прочность секции конденсатора, а, следовательно, и на надежность конденсатора в целом.

Цель данной работы – определение зависимости распределения напряженности электрического поля в компонентах пленочной диэлектрической системы от параметров этих компонентов и выбор оптимального сочетания компонентов для наиболее надежной работы высоковольтного импульсного

конденсатора.

Как показали исследования в работе [1], наиболее оптимальна пленочная диэлектрическая система, состоящая из трех слоев пленки и слоев пропитывающего диэлектрика между ними. Пленки могут быть как одинаковые, так и в комбинации (по относительной диэлектрической проницаемости и по толщине).

Особое внимание следует обратить на значение напряженности электрического поля в пропитывающем диэлектрике, так как он является наиболее слабым компонентом в диэлектрической системе по электрической прочности.

Напряженность электрического поля в слое пропитывающей жидкости в зависимости от рабочей напряженности в трехслойном пропитанном пленочном диэлектрике секции конденсатора может быть вычислена по формуле [4]:

$$E_{жс} = \frac{\varepsilon_{экв}}{\varepsilon_{жс}} \cdot E_p, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{экв}$ – эквивалентная диэлектрическая проницаемость диэлектрической системы; $\varepsilon_{жс}$ – диэлектрическая проницаемость пропитывающей жидкости; E_p – рабочая напряженность электрического поля в диэлектрике.

Эквивалентная диэлектрическая проницаемость вычисляется как [4]:

$$\varepsilon_{экв} = \frac{d}{\frac{d_{\Sigma жс}}{\varepsilon_{жс}} + \frac{d_{\Sigma пл1}}{\varepsilon_{пл1}} + \frac{d_{\Sigma пл2}}{\varepsilon_{пл2}}}, \quad (2)$$

где d – общая толщина диэлектрической системы; $d_{\Sigma жс}$, $d_{\Sigma пл1}$, $d_{\Sigma пл2}$ – суммарные значения толщин слоев жидкости, первой пленки и второй пленки соответственно; $\varepsilon_{пл1}$, $\varepsilon_{пл2}$ – диэлектрические проницаемости слоев первой пленки и второй пленки соответственно.

В общем виде толщины слоев соотносятся как:

$$d_{\Sigma жс} = d_{\Sigma пл1} / \alpha_k = d_{\Sigma пл2} / \beta_k, \quad (3)$$

где α_k , β_k – коэффициенты пропорциональности.

Для относительных диэлектрических проницаемостей слоев можно записать:

$$\varepsilon_{жс} = \gamma_k \varepsilon_{пл1} = \delta_k \varepsilon_{пл2}, \quad (4)$$

где γ_k , δ_k – коэффициенты пропорциональности.

Толщина слоя жидкости может быть определена из выражения [4]:

$$d_{\Sigma жс} = d \cdot (1 - k_3), \quad (5)$$

где k_3 – коэффициент запрессовки секции.

Выражение (2) в общем виде можно записать как:

$$\varepsilon_{экв} = \frac{\varepsilon_{жс}}{1 - k_3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\alpha_k}{\gamma_k} + \frac{\beta_k}{\delta_k}}. \quad (6)$$

Напряженность электрического поля в слое пропитывающей жидкости в трехслойном пропитанном пленочном диэлектрике секции конденсатора с учетом (6):

$$E_{жс} = \left[(1 - k_3) \cdot \left(1 + \frac{\alpha_\kappa}{\gamma_\kappa} + \frac{\beta_\kappa}{\delta_\kappa} \right) \right]^{-1} \cdot E_p = K_y \cdot E_p, \quad (7)$$

где K_y – коэффициент усиления электрического поля.

Распределение напряженности электрического поля в пленочных компонентах диэлектрической системы с учетом (4):

$$E_{жс} = \gamma_\kappa \cdot E_{пл1} = \delta_\kappa \cdot E_{пл2}. \quad (8)$$

Учитывая, что $d = d_{\Sigma пл1} + d_{\Sigma пл2} + d_{\Sigma жс}$, и выражение (5), можно записать:

$$\alpha_\kappa + \beta_\kappa = 1 / (1 - k_3) - 1. \quad (9)$$

Используя выражения (7) и (9), можно построить зависимости коэффициента усиления электрического поля K_y от коэффициентов k_3 и α_κ (рис. 1) и от коэффициентов γ_κ и δ_κ (рис. 2).

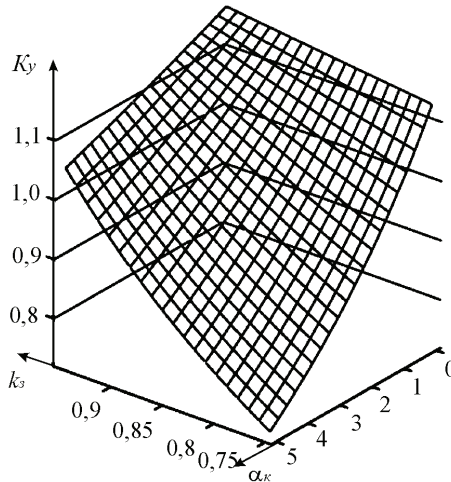


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента усиления электрического поля в пропитывающей жидкости от коэффициента запрессовки и коэффициента α_κ

Анализируя график, представленный на рис. 1, можно отметить, что для пленочного диэлектрика для рекомендованных в [5] значений коэффициента запрессовки от 0,75 до 0,9 коэффициент усиления K_y при увеличении α_κ снижается. Но для получения однородного поля ($K_y \approx 1$) значения k_3 должны выбираться от 0,8 до 0,85 и значения α_κ от 3 до 5. То есть в пленочной диэлектрической системе суммарная толщина листов одной пленки не должна превышать суммарную толщину слоев пропитывающей жидкости более чем в 5 раз.

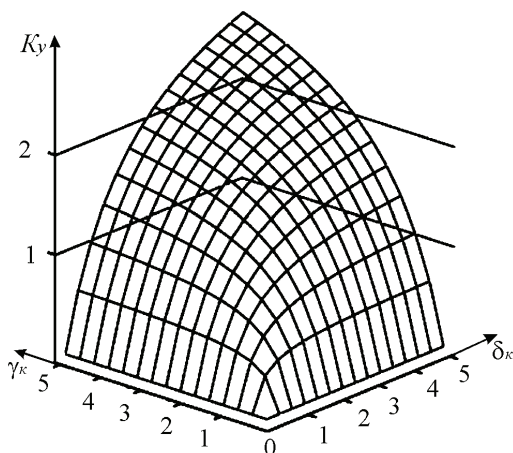


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента усиления электрического поля в пропитываемой жидкости от коэффициентов γ_k и δ_k

По данным графика, представленного на рис. 2, видно, что с увеличением коэффициентов γ_k и δ_k коэффициент усиления электрического поля возрастает. При применении пленки с высоким значением относительной диэлектрической проницаемости (γ_k или $\delta_k > 1$) для получения однородного поля необходимо, чтобы, по крайней мере, одна пленка имела бы значения относительной диэлектрической проницаемости близкой или равной значению относительной диэлектрической проницаемости пропитываемой жидкости (γ_k или $\delta_k \approx 1$).

Что касается пленочных диэлектриков, то коэффициент усиления электрического поля в них, согласно (8), пропорционален коэффициентам γ_k и δ_k и зависимости имеют такую же форму, как на рис. 1 и 2.

Выводы. В результате расчета распределения напряженности электрического поля в компонентах пленочной диэлектрической системы установлено, что для надежной работы высоковольтного импульсного конденсатора в качестве рабочего диэлектрика целесообразно применять пленочные диэлектрические системы со следующими параметрами:

- коэффициент запрессовки – от 0,8 до 0,85 (в отличие от рекомендуемого ранее интервала от 0,75 до 0,9);
- толщина листов одной пленки не должна превышать суммарную толщину пропитываемого диэлектрика более чем в 5 раз;
- относительная диэлектрическая проницаемость хотя бы одной пленки должна быть близкой или равной значению относительной диэлектрической проницаемости пропитываемой жидкости.

Швец И.С. О повышении удельных энергетических характеристик и ресурса высоковольтных импульсных конденсаторов // *Электронная обработка материалов*. – 2004. – № 5. – С. 70-73.

2. *Рудаков В.В.* Распределение электрического поля у края обкладки конденсатора с комбинированным диэлектриком // *Вестник ХГПУ*. – 1998. – Вып. 25. – С. 12-16. **3.** *Дмитришин А.Я., Щерба А.А.* Прогнозирование надежности секции высоковольтного импульсного конденсатора с неоднородным пленочным диэлектриком с помощью метода решения уравнения Лапласа // *Техническая электродинамика. Тематический выпуск «Силовая электроника и энергоэффективность»*. – Ч. 4. – 2009. – С. 68-71. **4.** *Ренне В.Т., Багалец Ю.В., Фридберг А.Д.* Расчет и конструирование конденсаторов. – Киев: Техніка, 1976. – 328 с. **5.** *Кучинский Г.С., Назаров Н.И.* Силовые электрические конденсаторы. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 320 с.

Поступила в редколлегию 01.03.2010