

В.А. ГРИГОРЯН, М.А. КАРАПЕТЯН, Л.О. КАРАХАНИЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КОНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ ТРЕХФАЗНОГО КАБЕЛЯ

Рассматривается расчет электрического поля в конической части соединительной муфты трехфазного кабеля с секторными жилами. Описано решение уравнения Лапласа для комплексного потенциала методом конечных разностей. На основе полученного распределения комплексного потенциала в областях вне жил определены радиальные и тангенциальные составляющие напряженности электрического поля. Построены графики зависимостей этих напряженностей от угловой и радиальной координат точек в различных сечениях муфты при учете пространственного смещения жил, а также фазового сдвига между напряжениями жил.

Ключевые слова: электрическое поле, трехфазный кабель, соединительная муфта.

Известно, что соединительные муфты являются слабым местом кабельной линии с точки зрения электрической прочности. Эскиз поперечного сечения муфты трехфазного кабеля представлен на рис.1.

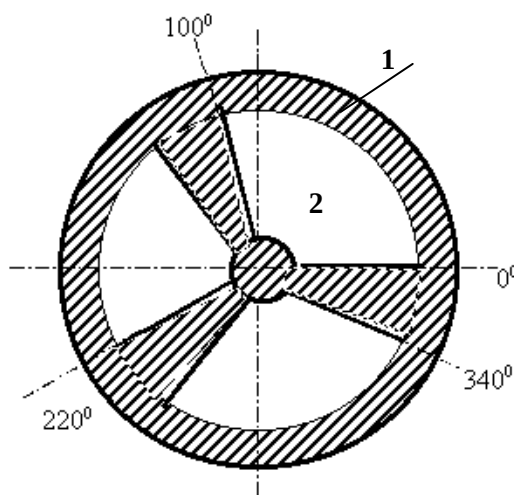


Рис. 1. Эскиз поперечного сечения муфты: 1 – изоляция, 2 – токопроводящая жила

Основное требование к соединительным муфтам – обеспечение необходимой электрической прочности при минимальных габаритах. Такие муфты могут быть созданы в случаях, если их изоляция будет работать в оптимальных условиях. Особенностью конической части муфты является появление тангенциальной составляющей напряженности, которая особо опасна для изоляции, поскольку электрическая прочность слоистой изоляции вдоль слоев в 15-20 раз меньше, чем в радиальном направлении. Следовательно, исследование распределения тангенциальной составляющей в конической части соединительной муфты является актуальной задачей.

Изоляция соединительной муфты подвержена воздействию поля между жилами кабеля, а также между жилой и непрерывной металлической оболочкой, расстояние которой от жил изменяется по длине муфты. Для оценки надежности изоляции муфт высокого напряжения необходимо иметь картину электрического поля в виде графиков распределения продольных и радиальных составляющих напряженности по поверхности раздела изоляционных сред.

Особенностью бумажно-масляной изоляции кабелей является значительно низкая электрическая прочность вдоль слоев. Поэтому конструкция муфты в конических частях должна обеспечивать возможно низкие значения продольной составляющей напряженности поля.

Решение задачи расчета электрического поля в изоляции муфт освещено довольно широко. Однако считается, что электрическое поле имеет симметрию по отношению к оси кабеля [1, 2]. В реальных условиях работы трехфазных кабелей такое условие не выполняется из-за пространственного смещения трех жил, а также взаимного влияния жил друг на друга.

В настоящей статье рассматривается расчет и анализ электрического поля в конической части соединительной муфты трехфазного кабеля на основе решения уравнения Лапласа. Преобразованием оператора Лапласа в оператор конечных разностей исследуемую область поля со смещенными в пространстве тремя изолированными жилами заменяем сеточной моделью (рис. 1), для узлов которой определены значения комплексного потенциала. В данном случае, исходя из конфигурации границ рассчитываемого поля, целесообразно воспользоваться полярной сеткой (рис. 2), при которой двумерное уравнение в разностной форме имеет вид [3]

$$\frac{1}{a_p + a_r} \left(\frac{\varphi_p - \varphi_0}{a_p} + \frac{\varphi_N - \varphi_0}{a_N} \right) + \frac{1}{a_Q + a_s} \left[\frac{\varphi_Q - \varphi_0}{a_Q} \left(1 + \frac{a_s}{2r} \right) + \frac{\varphi_s - \varphi_0}{a_s} \left(1 - \frac{a_Q}{2r} \right) \right] = 0, \quad (1)$$

где $\varphi_0, \varphi_p, \varphi_N, \varphi_Q, \varphi_S$ – значения потенциалов в соответствующих точках поля;
 a_p, a_N, a_Q, a_S – расстояния от точки 0 до соответствующих точек (рис. 2). В
 частном случае равномерной сетки $a_p = a_N = r d\alpha$.

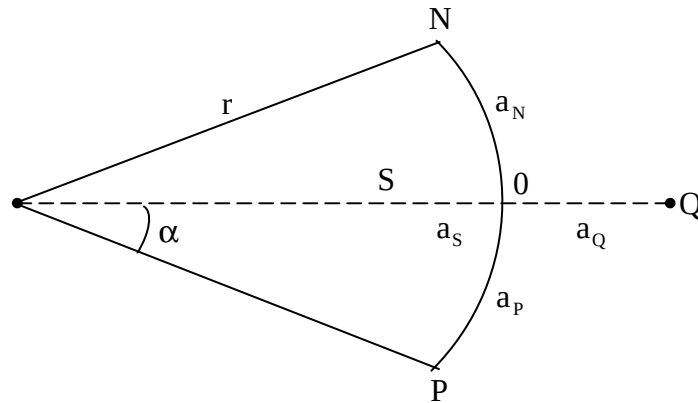


Рис. 2. Полярная сетка

Нами выбраны следующие интервалы по радиусу и полярному углу:
 $\Delta r = 1 \text{ мм}$, $\Delta \alpha = 10^\circ$. Радиусы оснований усеченного конуса (рис. 3)
 $R_1 = 20 \text{ мм}$, $R_2 = 40 \text{ мм}$, длина образующей $\ell = 37 \text{ мм}$. В результате получена
 и решена система линейных уравнений для соответствующего сечения
 конической части муфты, разделенной на 20 частей. При сечениях $R_1 = 20 \text{ мм}$ и
 $R_2 = 40 \text{ мм}$ число совместно решаемых линейных уравнений с комплексными
 искомыми величинами составило соответственно 289 и 1009.

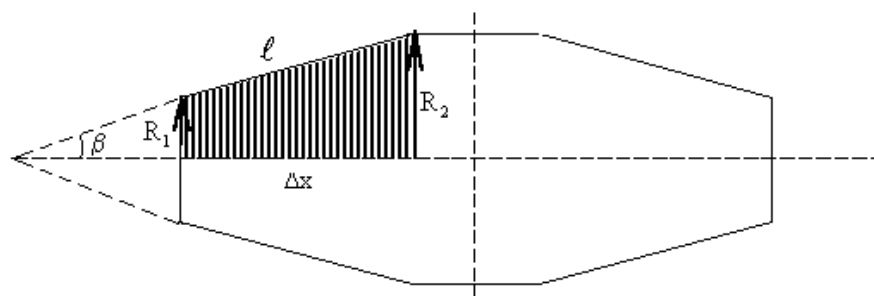


Рис.3. Эскиз продольного сечения муфты

По значениям комплексного потенциала точек каждого сечения определены тангенциальные и радиальные составляющие напряженности. Тангенциальная составляющая определена при выбранном полярном угле по разности значений комплексного потенциала в двух точках с одинаковыми радиусами, расположенных на соседних сечениях (рис.3):

$$E_{\tau} = \frac{|\dot{\phi}_{k+1} - \dot{\phi}_k|}{\Delta x}, \quad (2)$$

где $\dot{\phi}_k$ – комплексный потенциал в выбранной точке k-го сечения, а $\dot{\phi}_{k+1}$ – в соответствующей точке (k+1)-го сечения. Радиальная составляющая напряженности определена для точек каждого сечения делением на Δr разности комплексных потенциалов двух точек с радиусами r и $(r + \Delta r)$ для всех значений координаты α ($0 \dots 360^\circ$):

$$E_r = \frac{|\dot{\phi}_{k+1} - \dot{\phi}_k|}{\Delta r}. \quad (3)$$

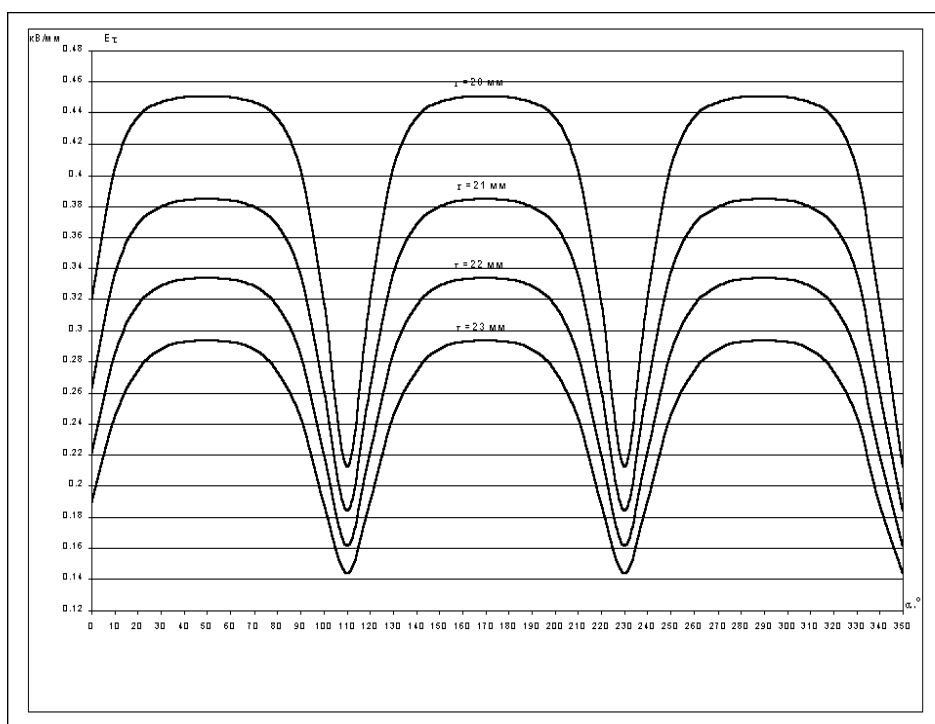


Рис. 4. Зависимость тангенциальной составляющей E_{τ} от угловой координаты α

Таким образом, для каждого сечения конической части получены функции $E_r(\alpha)$, $E_\tau(\alpha)$ от полярного угла α . На рис. 4, 5 приведены графики этих зависимостей для областей $0 < r < 3$ мм первого и $14 < r < 19$ мм второго сечений ($R=20$ мм).

Из приведенных графиков следует:

а) с увеличением радиуса ($20 \leq R \leq 40$ мм) точек данного сечения тангенциальная составляющая напряженности в соответствующих точках (с одинаковыми координатами, но расположенных на разных сечениях) уменьшается. Максимальные значения E_τ появляются в точках, прилегающих к заземленному экрану. Кроме того, в точках всех сечений с координатой $\alpha = 110^\circ, 220^\circ, 330^\circ$ составляющая E_τ имеет минимальное значение. Это можно объяснить тем, что вышеуказанные точки (рис. 1) находятся на одинаковых максимально возможных расстояниях от жил соседних фаз, где влияние третьей фазы наименьшее;

б) в диапазоне изменения координаты $\alpha = 30^\circ \dots 70^\circ, 150^\circ \dots 190^\circ, 270^\circ \dots 310^\circ$ радиальная составляющая почти постоянна в сечениях с радиусами $14 \leq r \leq 40$ мм, а в области $0 \leq r \leq 3$ мм имеет максимум, превышающий значения E_r в первой области (рис. 4).

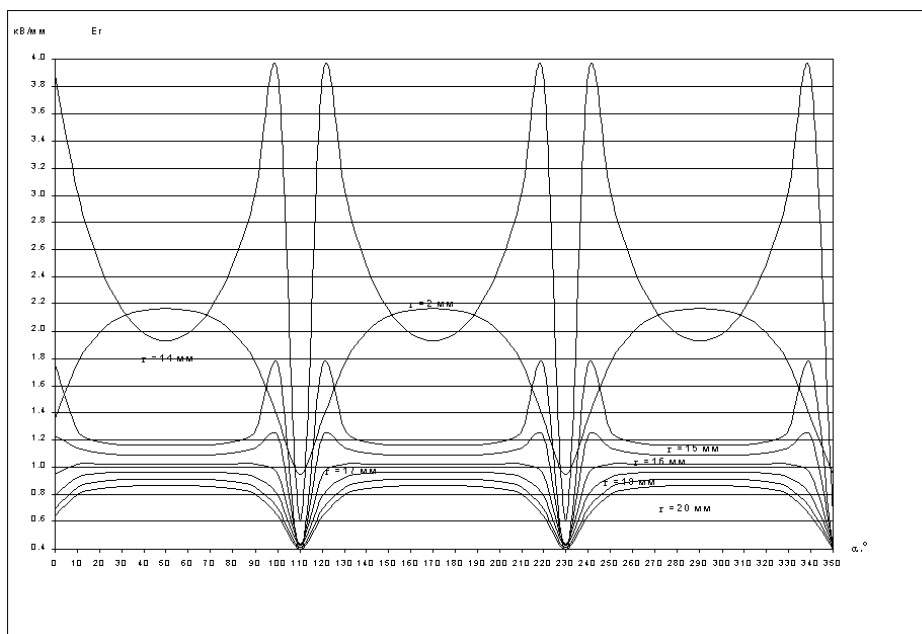


Рис. 5. Зависимость радиальной составляющей E_r от угловой координаты α

Постоянство E_r и E_τ в указанных интервалах изменения угловой координаты можно объяснить равноудаленностью этих точек от верхних краев данной жилы и малым влиянием двух соседних жил на поле в этой области, т.е. напряженность в указанных интервалах изменения α создается в основном своей жилой;

в) наибольшее значение E_τ в изоляции возникает в точках, примыкающих к заземленной оболочке. Во всех точках одного и того же сечения, которые расположены ближе к оси муфты, тангенциальная составляющая меньше. В первой области и на жиле она равна нулю.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Предложен метод расчета электрического поля в реальной конструкции конической части соединительной муфты трехфазного кабеля на основе составленной программы.

2. Получены графики распределения радиальной и тангенциальной составляющих напряженности в различных сечениях муфты с учетом пространственного смещения трех жил, а также фазового сдвига между напряжениями жил.

3. Наиболее опасными для изоляции соединительной муфты являются максимальное значение тангенциальной составляющей E_τ в области примыкания оболочки и максимальное значение радиальной составляющей E_r в центральной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шварцман Л.Г. Муфты силовых кабелей высокого напряжения. – М.: Энергия, 1977. – 170 с.
2. Вага Н.А., Образцов Ю.В., Тележников Ю.Ф., Шварцман Л.Г. Анализ продольной составляющей напряженности электрического поля в муфте со съёмным элементом // Кабельная техника. – 1992. – № 1. – С. 20-23.
3. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.: Энергия, 1968. – 487 с.

ГИУА.

Материал поступил в редакцию 10.08.2001.

Վ.Ա. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Մ.Ա. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Լ.Հ. ԿԱՐԱՅԱՆՅԱՆ

**ԵՌԱՖԱԶ ՄԱԼՈՒԽԻ ՄԻԱՑՆՈՂ ԿՑՈՐԴԻ ԿՈՆԱԿԱՆ ՄԱՍԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ
ԴԱՇՏԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Սեկտորաձև ջղերով եռաֆազ մալուխի միացնող կցորդչի կոնական մասում կատարված է էլեկտրական դաշտի հաշվարկ: Նկարագրված է ջղերից դուրս տիրույթների համար վերջավոր տարբերությունների մեթոդով Լապլասի հավասարման լուծումը կոմպլեքս պոտենցիալի համար: Որոշված են էլեկտրական դաշտի լարվածությունների շառավղային և շոշափող բաղադրիչները: Կառուցված են այդ լարվածությունների՝ բևեռային անկյունից կախվածություններն արտահայտող գրաֆիկները՝ հաշվի առնելով ջղերի տարածական շեղումը, ինչպես նաև կիրառված լարումների փուլային շեղումները: Հաշվարկները կատարված են կցորդչի կոնական մասի տարբեր կտրվածքների համար:

V.A. GRIGORYAN, M.A. KARAPETYAN, L.H. KARACHANYAN

**THREE-PHASE MUFF CABLES IN ELECTRIC FIELD
CONIC PART STUDY**

A solution of Laplace's equation for complex potential by the finite difference method is described. Based on complex potential allocation obtained in areas beyond the veins, the radial and tangential components of electric fields voltage are defined. Graphs of these voltages against angular and radial point coordinates are constructed in different muff cross-sections taking into consideration spacial vein displacements as well as phase shift between voltages of the veins.