

УДК 621.319.7

ВЛИЯНИЕ ЧЕРЕДОВАНИЯ ФАЗ ДВУХЦЕПНОЙ КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.А. Григорян¹, Л.О. Караханян²

¹ *Государственный инженерный университет Армении (Политехник)*

² *ЗАО "Научно-исследовательский институт энергетики РА"*

Исследовано распределение напряженностей электрических полей двухцепной кабельной линии с тремя фазами в каждой цепи без металлического экрана в точках различных плоскостей (глубоких) параллельно поверхности земли при различном чередовании фазных проводников, а также фазового смещения между напряжениями цепей 180°.

Ключевые слова: напряженность электрического поля, кабель, фазовое смещение между напряжениями.

Введение. В исследуемой кабельной линии (6...10 кВ) фазные проводники не имеют металлического экрана, что приводит к значительному снижению ее стоимости. Однако при этом необходимо снизить значения напряженности электрического поля в окружающей кабель среде с целью уменьшения потерь энергии, обусловленных блуждающими токами в земле. Кроме того, необходимо обеспечить допустимое по международным стандартам значение напряженности на поверхности земли вдоль кабельной траншеи. Для решения этой задачи предлагается введение в траншею второй цепи (трехфазного кабеля), чтобы изменением очередности и фазового смещения между напряжениями цепей достичь значительного уменьшения напряженности электрического поля на поверхности земли и вокруг кабелей.

Метод расчета. Для определения потенциала и напряженности электрического поля в точках на поверхности земли и в различных точках внутри нее воспользуемся методом зеркальных отображений [1] при условии расположения фазных проводников в одной плоскости (на определенном расстоянии между ними). При этом предполагается, что фазные проводники находятся в эквивалентной диэлектрической среде с проницаемостью $\varepsilon_1 = \varepsilon_0 = 2,6$ [2].

На рис. 1а приведена схема расположения фаз двухцепной кабельной линии, а на рис. 1б – расчетная схема определения потенциала и напряженности

электрического поля в эквивалентной среде. Здесь $\dot{\tau}_1, \dot{\tau}_2, \dot{\tau}_3, \dot{\tau}_4, \dot{\tau}_5, \dot{\tau}_6$ - комплексные значения линейных плотностей зарядов различных фаз, а $\dot{\tau}'_1 \dots \dot{\tau}'_6$ - плотности зеркальных отображений.

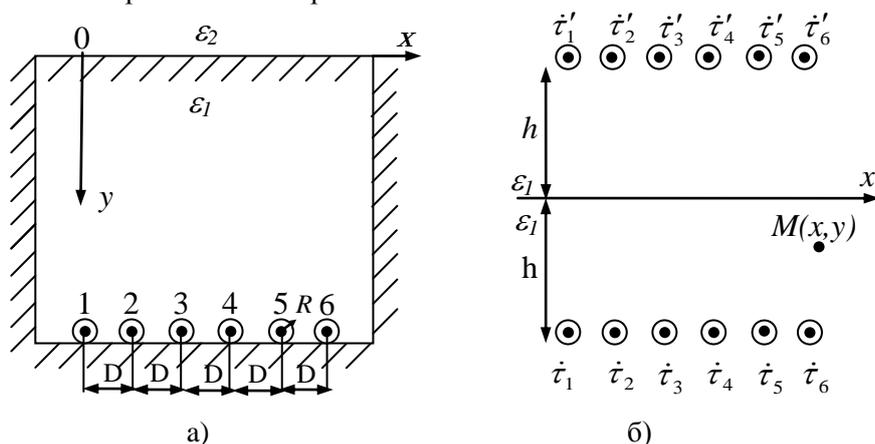


Рис. 1. Схема двухцепной кабельной линии (а) и расчетная схема (б)

В расчете распределения потенциала электрического поля использована прямоугольная система координат с началом O , совпадающим с центром сечения проводника первой фазы (рис. 1а). Ось ординат направлена в глубину земли, а ось абсцисс - вправо от точки O параллельно поверхности земли.

Комплексный потенциал в некоторой точке $M(x, y)$ внутри траншеи определяется суммой потенциалов, создаваемых линейными зарядами $\dot{\tau}_1, \dots, \dot{\tau}_6$ фазных проводников и их зеркальных отображений $\dot{\tau}'_1, \dots, \dot{\tau}'_6$:

$$\dot{\varphi}(x, y) = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \left(\sum_{k=1}^6 \dot{\tau}_k \ln \frac{1}{r_k} + \sum_{k=1}^6 \dot{\tau}'_k \ln \frac{1}{r'_k} \right), \quad (1)$$

где $\dot{\tau}'_k = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2} \dot{\tau}_k$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$, $\epsilon_2 = 1$ (относительная диэлектрическая проницаемость воздуха).

Линейные плотности зарядов фаз определяются решением системы уравнений с потенциальными коэффициентами (Максвелла) при номинальном напряжении фаз 6000 В:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \alpha_{11}\dot{t}_1 + \alpha_{12}\dot{t}_2 + \alpha_{13}\dot{t}_3 + \alpha_{14}\dot{t}_4 + \alpha_{15}\dot{t}_5 + \alpha_{16}\dot{t}_6, \\ \dot{U}_2 = \alpha_{21}\dot{t}_1 + \alpha_{22}\dot{t}_2 + \alpha_{23}\dot{t}_3 + \alpha_{24}\dot{t}_4 + \alpha_{25}\dot{t}_5 + \alpha_{26}\dot{t}_6, \\ \dot{U}_3 = \alpha_{31}\dot{t}_1 + \alpha_{32}\dot{t}_2 + \alpha_{33}\dot{t}_3 + \alpha_{34}\dot{t}_4 + \alpha_{35}\dot{t}_5 + \alpha_{36}\dot{t}_6, \\ \dot{U}_4 = \alpha_{41}\dot{t}_1 + \alpha_{42}\dot{t}_2 + \alpha_{43}\dot{t}_3 + \alpha_{44}\dot{t}_4 + \alpha_{45}\dot{t}_5 + \alpha_{46}\dot{t}_6, \\ \dot{U}_5 = \alpha_{51}\dot{t}_1 + \alpha_{52}\dot{t}_2 + \alpha_{53}\dot{t}_3 + \alpha_{54}\dot{t}_4 + \alpha_{55}\dot{t}_5 + \alpha_{56}\dot{t}_6, \\ \dot{U}_6 = \alpha_{61}\dot{t}_1 + \alpha_{62}\dot{t}_2 + \alpha_{63}\dot{t}_3 + \alpha_{64}\dot{t}_4 + \alpha_{65}\dot{t}_5 + \alpha_{66}\dot{t}_6. \end{cases} \quad (2)$$

В уравнениях (2) симметричная система трехфазных напряжений представлена следующими комплексными числами: $\dot{U}_1 = 6000 \text{ В}$, $\dot{U}_2 = \left(-0,5 - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\dot{U}_1$, $\dot{U}_3 = \left(-0,5 + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)\dot{U}_1$. Аналогично определяются комплексные значения $\dot{U}_4, \dot{U}_5, \dot{U}_6$ фазных напряжений второй цепи линии.

Собственные (α_{kk}) и взаимные (α_{nk}) потенциальные коэффициенты определяются геометрическими параметрами в соответствии с рис. 1б: высотой h , радиусом сечения фазных проводников R и расстоянием r_{nk} между зеркальным отображением n -й и k -й фаз линии:

$$\alpha_{kk} = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \ln \frac{2h}{R}, \quad (3)$$

$$\alpha_{nk} = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \ln \frac{r_{n'k}}{r_{nk}}. \quad (4)$$

После определения неизвестных линейных плотностей $\dot{t}_1, \dot{t}_2, \dot{t}_3, \dot{t}_4, \dot{t}_5, \dot{t}_6$ и функции комплексного потенциала (2) вычисляются проекции вектора напряженности электрического поля по осям ОХ и ОУ по известным формулам

$$\dot{E}_x = -\frac{\partial\dot{\phi}}{\partial x}, \quad \dot{E}_y = -\frac{\partial\dot{\phi}}{\partial y}, \quad (5)$$

а модуль вектора напряженности в данной точке $M(x,y)$ равен

$$E_M = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}.$$

Отметим, что распределение напряженности электрического поля в точках на поверхности земли, создаваемых системой параллельно проложенных в разных плоскостях трехфазных кабелей, исследовано в [3].

Результаты исследования. Теоретические расчеты проведены для геометрических размеров $h = 0,6$ м, $R = 0,009$ м, $D = 0,04$ м и при номинальном фазном напряжении ($U_{\phi}=6000$ В). По их результатам построены графики зависимости напряженности $E(x)$ при разной очередности. На рис. 2 представлены графики $E(x)$ при очередности A, B, C, B_1, A_1, C_1 для значений $y=0,1; 0,2; 0,3$ и $0,4$ м.

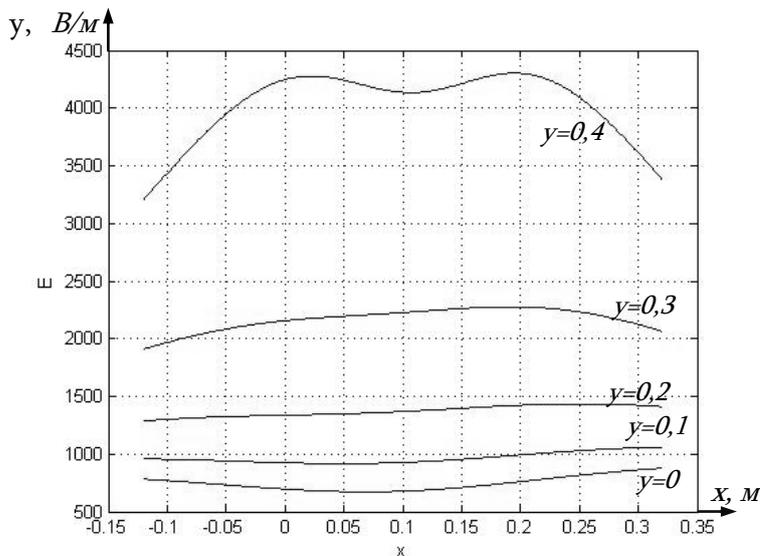


Рис. 2. Зависимость напряженности от координаты x для очередности фаз A, B, C, B_1, A_1, C_1

Исследование распределения напряженности электрического поля двухцепной кабельной линии проведено согласно рис. 1а, где фазные проводники кабелей расположены в одном ряду.

Сравнение графиков рис. 2 с соответствующими кривыми одноцепной линии показало, что при указанной очередности фаз, а также при других очередностях ($ABC, C_1A_1B_1, ABC, A_1C_1B_1, ABC, B_1C_1A_1$) не наблюдается снижения напряженности E .

На рис. 3 и 4 изображены графики $E(x)$, когда напряжения фаз второй цепи находятся в противофазе с соответствующими напряжениями первой цепи для двух расположений: AA_1, BB_1, CC_1 (рис. 3) и $ABC, A_1B_1C_1$ (рис. 4).

Для сравнения рассчитаны и построены также графики зависимости $E(x)$ для одноцепной линии (рис. 5).

Уместно отметить, что очередность фазных проводников цепей ABC, $A_1B_1C_1$ является более приемлемой с точки зрения практической эксплуатации, а также возможных ремонтных работ на линии.

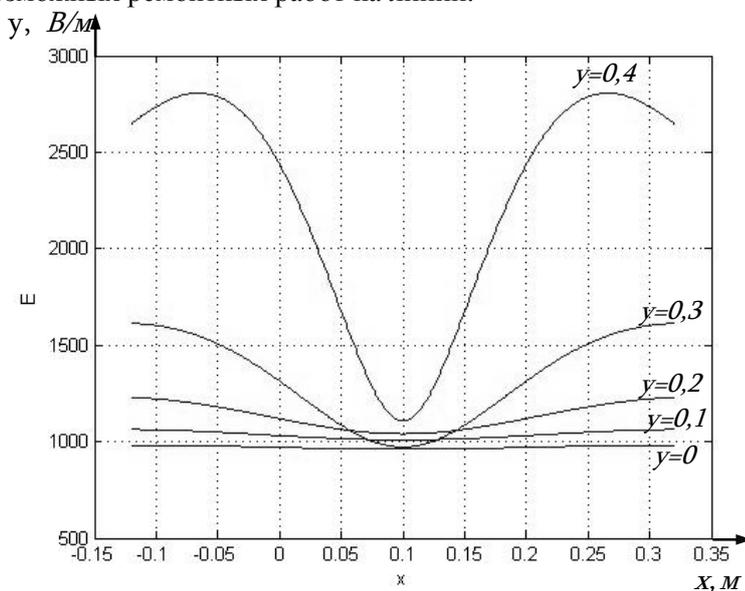


Рис. 3. Зависимость $E(x)$ для очередности фаз AA_1, BB_1, CC_1 при фазовом смещении напряжений второй цепи 180°

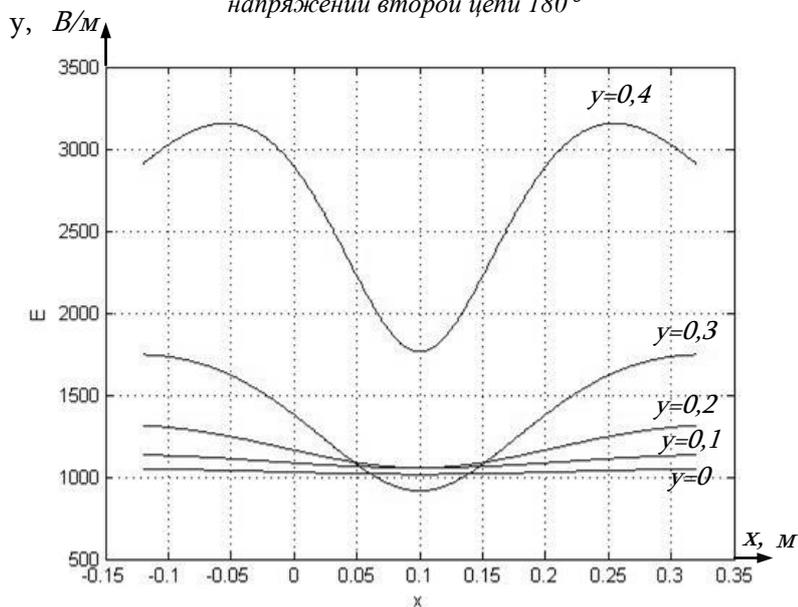


Рис. 4. Зависимость $E(x)$ для очередности фаз ABC, $A_1B_1C_1$ при фазовом смещении напряжений второй цепи 180°

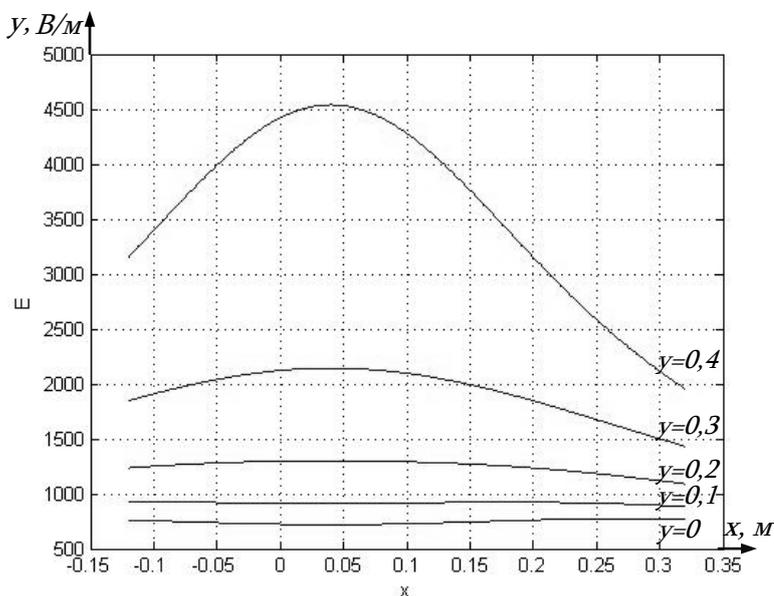


Рис. 5. Зависимость $E(x)$ одноцепной линии при очередности фазных проводников ABC

Сравнивая графики рис. 3 и 4 с соответствующими графиками одноцепной линии (рис. 5), убеждаемся, что в последних двух случаях напряженность E во всех глубинах ослабляется. При этом очередность A, B, C, A_1, B_1, C_1 создает более низкие значения напряженности. Отметим, что фазовый сдвиг между напряжениями первой и второй цепей можно осуществить фазосдвигающим устройством.

Выводы

1. Изменением очередности фаз второй цепи невозможно добиться ослабления напряженности электрического поля кабельной линии.
2. Наилучшим вариантом ослабления электрического поля является очередность фаз ABC, $A_1B_1C_1$ при фазовом смещении напряжений цепей 180° .
3. Для всех рассмотренных глубин в земле в интервале абсцисс $-0,1 \leq x < 0,3$ м напряженности электрического поля двухцепной линии меньше, чем при одноцепной.
4. В исследованных случаях напряженности электрического поля на поверхности земли ($y = 0$) не превышают значение $1,3$ кВ/м, что в несколько раз меньше допустимого по международным стандартам значения 5 кВ/м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В., Чечурин В.Л. Теоретические основы электротехники. – Т.3. – М., СПб., 2004. – 384 с.
2. Կարախանյան Լ.Հ., Գրիգորյան Վ.Ա. Եռաֆազ մալուխի զուգահեռ տեղակայված ջղերի հեռավորության լավարկում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ.սերիա. – 2004. - Հ. LXI, N 2. - էջ 131-135:
3. Գրիգորյան Վ.Ա., Կարախանյան Լ.Հ., Սահակյան Ն.Մ. Միաշղթա և երկշղթա մալուխային էլեկտրահաղորդման գծի էլեկտրական դաշտի հետազոտումը // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ.սերիա. – 2012. - Հ. LXV, N 4. - էջ 373-379:

*Поступила в редакцию 12.12.2013.
Принята к опубликованию 13.05.2014.*

ԵՐԿՇՂԹԱ ՄԱԼՈՒԽԱՅԻՆ ԳԾԵՐԻ ՖԱԶԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐ ՀԵՐԹԱԳԱՅՈՒԹՅԱՆ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԲԱՇԽՄԱՆ ՎՐԱ

Վ.Ա. Գրիգորյան, Լ.Հ. Կարախանյան

Հետազոտվել է առանց մետաղական էկրանի երեք միաֆազ հաղորդալարերից բաղկացած, երկշղթա մալուխային գծերի էլեկտրական դաշտերի լարվածությունների բաշխումը, հողի մակերևույթին զուգահեռ տարբեր հարթությունների (խորությունների) կետերում մալուխների ֆազերի տարբեր հերթագայության և 180° փուլաշրջման դեպքերում:

Առանցքային բառեր. էլեկտրական դաշտի լարվածություն, մալուխ, փուլային շեղում լարումների միջև:

IMPACT OF PHASE SEQUENCE OF A DOUBLE-CIRCUIT CABLE LINE ON THE ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION

V.A. Grigoryan, L.H. Karakhanyan

The distribution of the electric field tension of a double-circuit three-phase cable line in each circuit without a metallic screen in case of different sequence of phase conductors, as well as the phase shift between the circuit tensions by 180° , is investigated.

Keywords: electric field tension, cable, phase shift between tensions.