

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ТРИФАЗНОЇ ЛІНІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМНОГО ПАКЕТА MATHCAD

Шуляк А.А., ст. викл., Бурмельов О.О., студент
НТУУ «КПІ», кафедра теоретичної електротехніки

Вступ. Сучасні досягнення в царині обчислювальної техніки та програмного забезпечення зробили доступним, раніше трудомісткий, аналіз електромагнітних процесів складних електротехнічних систем та пристроїв.

Мета роботи дослідити електромагнітне поле, створене проводами трифазної лінії електропередачі в заданий момент часу на проміжку одного періода промислової частоти, використавши математичний апарат теорії електромагнітного поля.

Матеріали і результати досліджень. Обчислення виконані в середовищі програмного пакета Mathcad. Вхідними даними програми є координати провідників, їх діаметр, потенціали провідників $\varphi_1(t_n), \varphi_2(t_n), \varphi_3(t_n)$ відносно землі та струми $i_1(t_n), i_2(t_n), i_3(t_n)$ в провідниках в досліджуваній момент часу t_n .

За формулами теорії поля з використанням методу дзеркальних відображень розраховуються власні α_{kk} та взаємні α_{kn}, α_{nk} потенціальні коефіцієнти.

$$\alpha_{11} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{2 \cdot y_1}{R}\right); \quad \alpha_{22} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{2 \cdot y_2}{R}\right); \quad \alpha_{33} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{2 \cdot y_3}{R}\right);$$

$$\alpha_{12} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{D_{12}}{d_{12}}\right); \quad \alpha_{13} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{D_{13}}{d_{13}}\right); \quad \alpha_{23} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{D_{23}}{d_{23}}\right),$$

де y_1, y_2, y_3 висота розташування провідника над землею, а R - радіус провідника,

D - відстань між проводами, d - відстань між проводами та їх дзеркальними зображеннями.

Ємнісні коефіцієнти β_{kk} та β_{kn}, β_{nk} рахуються так:

$$\Delta = \begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{31} & \alpha_{32} & \alpha_{33} \end{vmatrix} \quad \beta_{11} = \frac{\alpha_{22}\alpha_{33} - \alpha_{23}^2}{\Delta}; \quad \beta_{22} = \frac{\alpha_{11}\alpha_{33} - \alpha_{13}^2}{\Delta}; \quad \beta_{33} = \frac{\alpha_{11}\alpha_{22} - \alpha_{12}^2}{\Delta}.$$

$$\beta_{12} = \frac{\alpha_{31}\alpha_{23} - \alpha_{21}\alpha_{33}}{\Delta}; \quad \beta_{13} = \frac{\alpha_{21}\alpha_{32} - \alpha_{31}\alpha_{22}}{\Delta}; \quad \beta_{23} = \frac{\alpha_{31}\alpha_{12} - \alpha_{11}\alpha_{32}}{\Delta}.,$$

потім через них часткові погонні ємності C_{kk} та C_{kn}, C_{nk} . Знаючи ці величини, легко розрахуються лінійні заряди провідників у заданий момент часу:

$$\tau_1 = \beta_{11}\varphi_1 + \beta_{12}\varphi_2 + \beta_{13}\varphi_3;$$

$$\tau_2 = \beta_{21}\varphi_1 + \beta_{22}\varphi_2 + \beta_{23}\varphi_3;$$

$$\tau_3 = \beta_{31}\varphi_1 + \beta_{32}\varphi_2 + \beta_{33}\varphi_3.$$

Це дозволяє розрахувати запас енергії електричного поля на одиниці довжини лінії

$$W_e = \frac{\tau_1\varphi_1 + \tau_2\varphi_2 + \tau_3\varphi_3}{2}.$$

Використовуючи аналогію між електростатичним полем та електричним полем постійного струму, знайдемо власні та суміжні провідності ізоляції між

$$G_{11} = \frac{\gamma}{\varepsilon_0} C_{11}, G_{22} = \frac{\gamma}{\varepsilon_0} C_{22}, G_{33} = \frac{\gamma}{\varepsilon_0} C_{33},$$

проводами лінії.

$$G_{12} = \frac{\gamma}{\varepsilon_0} C_{12}, G_{13} = \frac{\gamma}{\varepsilon_0} C_{13}, G_{23} = \frac{\gamma}{\varepsilon_0} C_{23}$$

Використовуючи останнє розраховуються втратні струми витоку на одиницю довжини лінії.

$$I_{y1} = G_{11}\varphi_1 + G_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + G_{13}(\varphi_1 - \varphi_3);$$

$$I_{y2} = G_{21}(\varphi_2 - \varphi_1) + G_{22}\varphi_2 + G_{23}(\varphi_2 - \varphi_3);$$

$$I_{y3} = G_{31}(\varphi_3 - \varphi_1) + G_{32}(\varphi_3 - \varphi_2) + G_{33}\varphi_3.$$

Це дає можливість розрахувати потужність погонних активних втрат у лінії

$$P_y = G_{11}\varphi_1^2 + G_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + G_{13}(\varphi_1 - \varphi_3)^2 + G_{23}(\varphi_2 - \varphi_3)^2 + G_{22}\varphi_2^2 + G_{33}\varphi_3^2$$

Для побудови картини електричного поля в перерізі лінії, створено масив 400x400 елементів, до якого занесено значення потенціалів точок квадратної площини, розміром 10x10 метрів. Тобто на 1м площини приходиться 40 точок, для яких визначаються потенціал:

$$\varphi_{k,j} = \frac{\tau_1}{2\pi\varepsilon_0} \ln\left(\frac{r21_{k,j}}{r11_{k,j}}\right) + \frac{\tau_2}{2\pi\varepsilon_0} \ln\left(\frac{r22_{k,j}}{r12_{k,j}}\right) + \frac{\tau_3}{2\pi\varepsilon_0} \ln\left(\frac{r23_{k,j}}{r13_{k,j}}\right),$$

де $r11, r12, r13$ - відстані від досліджуваних точок до відповідних проводів, $r21, r22, r23$ - відстані від досліджуваних точок до дзеркальних зображень проводів. Після заповнення масиву будуються лінії однакового електричного потенціалу, які представлені на рис. 1.

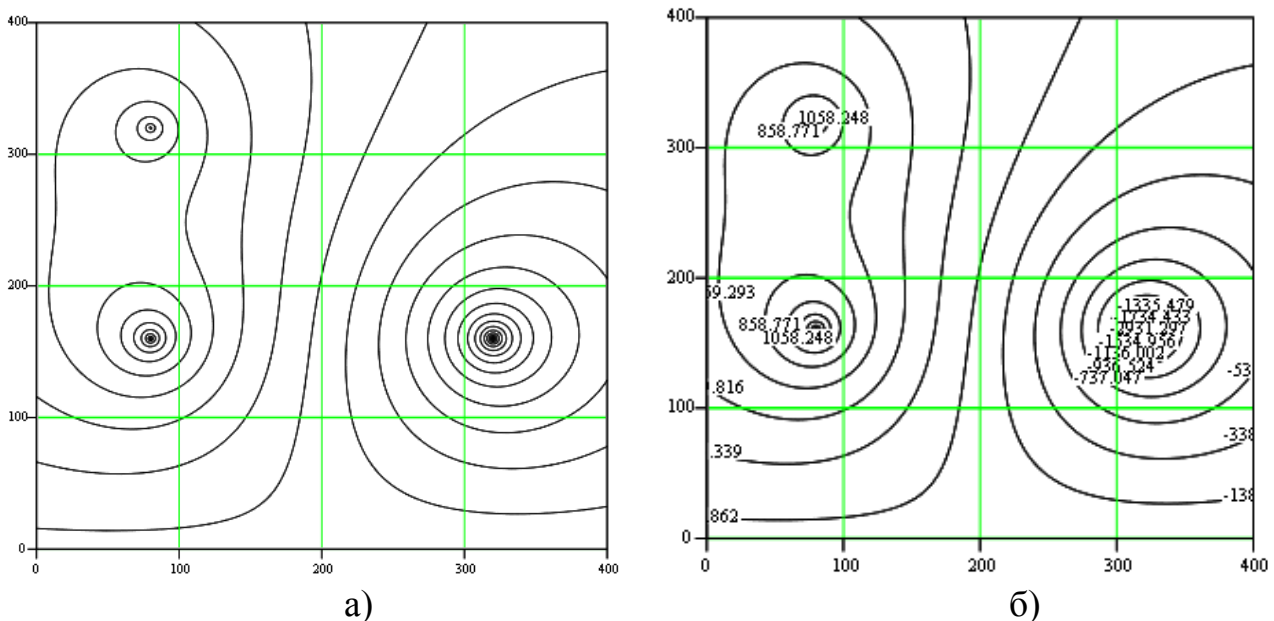


Рисунок 1 – Система екіпотенціалей трипроводної лінії електропередачі {неоцифрована а), оцифрована б)}

Через відомі величини струмів в проводах лінії розраховано розподіл скалярного магнітного потенціалу в просторі між проводами:

$$\psi_{k,j} = \frac{I1}{2\pi}(\pi - \theta_{1k,j}) + \frac{I2}{2\pi}(\pi - \theta_{2k,j}) + \frac{I3}{2\pi}(\pi - \theta_{3k,j}),$$

де $\theta_{n_{k,j}}$ знаходимо з виразу: $rn_{k,j} = (x_k - xn) + i(y_j - yn) = Rn_{k,j} \cdot e^{i \cdot \theta_{n_{k,j}}}$

Картина розподілу однакового скалярного магнітного потенціалу представлена на рис. 2.

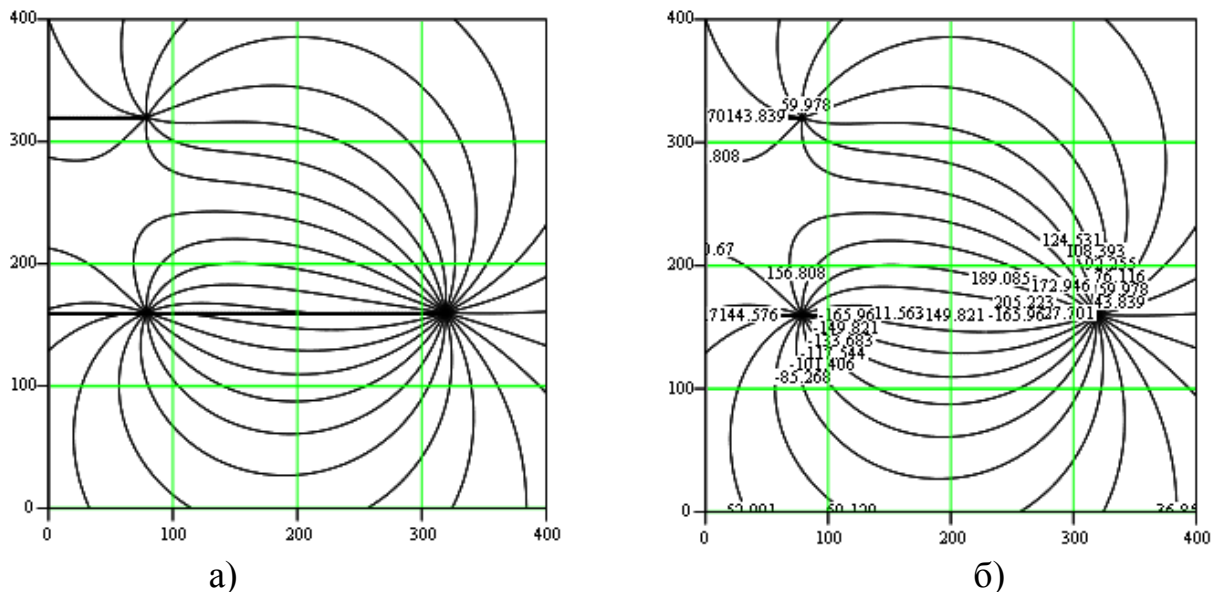


Рисунок 2 – Система ліній однакового скалярного магнітного потенціалу трипровідної лінії електропередачі {неоцифрована а), оцифрована б)}

В результаті виконаної роботи отримано наглядні картини електричного та магнітного полів, існуючих між проводами лінії. Змінюючи заданий момент часу в межах періоду промислової частоти, отримано відповідні картини полів, аналізуючи які маємо можливість виявляти критичні області в різні моменти часу з небезпечно високим градієнтом електричного потенціалу. Змінюючи взаємне розташування проводів в певних межах можемо вивчати вплив на картину поля різких поривів вітру.

Висновок. Отримані результати дозволяють аналізувати розподіл потенціалів в просторі між проводами трифазної лінії електропередачі, визначати області з надмірно високими значеннями напруженості електричного поля.

Перелік посилань

1. В.С.Бойко, В.В.Бойко, Ю.Ф.Видолоб, І.А.Курило, В.І.Шеховцов. Теоретичні основи електротехніки. ТЗ, –Київ НТУУ «КПІ», 2013. -242с.
2. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. – М.: Высш. школа, 1988. -231с.