

СЕКЦІЯ «ТЕОРЕТИЧНОЇ ТА ЗАГАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ»

УДК 621.3.01:519.876.5

Тиховод С.М.¹

¹ д-р. техн. наук, доц. НУ "Запорізька політехніка"

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНОСТІ МАГНІТНОГО ПОЛЯ, ЯКЕ СТВОРЕНЕ КРУГОВИМ ВИТКОМ

Однією з характеристик магнітного поля є скалярний магнітний потенціал φ_m , пов'язаний з напруженістю магнітного поля H_s у напрямку s :

$$H_s = -\frac{\partial \varphi_m}{\partial s} \quad (1)$$

Якщо магнітне поле створено деяким струмом I , що протікає за деяким контуром (див. рис. 1), то у будь-якій точці спостереження A скалярний потенціал φ_m може бути обчислений за відомою формулою (2).

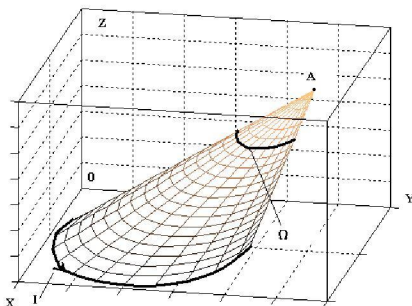


Рисунок 1 – До визначення потенціалу, створеного витком зі струмом: A – точка спостереження; Ω – тілесний кут, під яким видно контур із струмом I

$$\varphi_m = \frac{I}{4\pi} \Omega + const \quad (2)$$

де Ω – тілесний кут, під яким видно контур струму з точки спостереження A .

Позитивний напрямок струму вибирається так, щоб з точки спостереження обхід контуру виконувався проти годинникової стрілки.

Щоб визначити константу, яка входить у формулу (2), необхідно визначити поверхню, на якій скалярний магнітний потенціал відчуває стрибок, що дорівнює I . Це частина площини, яка обмежена лінією витка. Різниця магнітних потенціалів між двома точками дає магніторушійну силу.

Тілесний кут Ω для кругового витка можна обчислити в такий спосіб. Нехай точка спостереження має координати x_A, y_A, z_A (див. рис. 1).

Тоді елемент поверхні $dS=r dr d\varphi$ (див. рис. 2) у площині паралельній площини XOY з координатою $z = z_a$ буде видно з точки спостереження А під кутом $d\Omega$:

$$d\Omega = \frac{dS \cos \beta}{\rho^2} = \frac{r dr d\varphi (z_A - z_a)}{\rho^3}, \quad (3)$$

де r - відстань від центру витка до елемента dS , x_a, y_a, z_a - координати елемента dS , z_A - координата точки спостереження, ρ - відстань від елемента dS до точки спостереження.

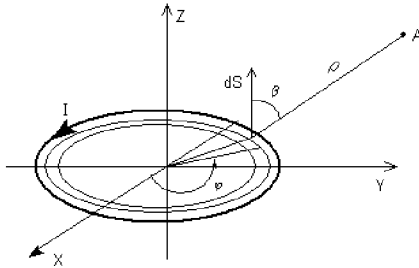


Рисунок 2 - Обчислення скалярного магнітного потенціалу, створеного витком зі струмом: А - точка спостереження

Підставимо у вираз (3) залежність від координат і проінтегруємо. Отримаємо у виразі (3) тілесний кут, під яким виток видно з точки спостереження:

$$\Omega_A = (z_A - z_a) \int_0^R r dr \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{[(x_A - r \cos \varphi - x_c)^2 + (y_A - r \sin \varphi - y_c)^2 + (x_A - z_a)^2]^{3/2}} + const, \quad (4)$$

де x_a, y_a - координати центру витка.

Інтеграл у виразі (4) можна обчислити аналітично. Але, якщо контур зі струмом має складну форму, то не завжди можливо визначити його аналітично, але можна розрахувати числовими методами. Якщо задати $const=0$, то значення Ω_A у виразі (4) зазнає стрибка, що дорівнює 4π при переході через поверхню, обмежену витком. При $z_A=(+0)$ $\Omega_A=2\pi$, а при $z_A = (-0)$ $\Omega_A=-2\pi$.

Виберемо константу у виразі (4) так, щоб магнітна напруга U_m між будь-якими точками досліджуваного простору не зазнавала стрибків.

Послідовність операцій така.

Спочатку до кожної точки визначаються різниці координат $Z_A - Z_a$, що фігурують у виразі (4), тобто Z_1 і Z_2 , і навіть відстань R_A :

$$R_A = \sqrt{(x_A - x_C)^2 - (y_A - y_C)^2}, \text{ м.}$$

Якщо $R_A > R$, то стрибка потенціалу немає і МРС між цими точками дорівнює різниці магнітних потенціалів:

$$F_{mAB} = \varphi_{mA} - \varphi_{mB}.$$

Для точок простору, для яких $R_A < R$ аналізується взаємне розташування точок спостереження A_1 та A_2 щодо площини витка.

Спочатку до кожної точки визначаються різниці координат $Z_A - Z_a$, які у виразі (4), тобто Z_1 і Z_2 , і навіть відстань R_A . Потім згідно з виразами (2) та (4) для кожної точки спостереження обчислюється скалярний магнітний потенціал при $const=0$. Для точок A_1 та A_2 аналізується їхнє взаємне положення. Якщо обидві точки мають значення скалярного магнітного потенціалу одного знаку, МРС обчислюється як різницю магнітних потенціалів. Інакше усувається стрибок скалярного магнітного потенціалу:

$$F_{mAB} = \varphi_{mA} - \varphi_{mB} \pm I.$$

Напруженість магнітного поля між точками А і В дорівнює:

$$H_{AB} = \frac{F_{mAB}}{\ell_{AB}},$$

де ℓ_{AB} - відстань між точками А та В.

Згідно з методикою розроблено комп'ютерну програму Fm_1.