

УДК. 614.8

М.Б. Старостенко, А.О. Мушаров

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків***МЕТОД РОЗРАХУНКУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ДВОПРОВІДНОЇ ЛІНІЇ**

*Пропонується графо-аналітичний метод розрахунку магнітного поля, що створюється навколо двопровідної лінії постійного струму, який дозволить оцінити небезпеку шкідливого впливу магнітного поля на організм людини.*

**Ключові слова:** магнітне поле, еквіпотенційна поверхня, індукція.

**Вступ**

**Постановка проблеми.** При проектуванні ліній електропередач, потужних електроустановок, а також загальної електрифікації військових об'єктів обов'язковим є дотримання вимог та інших нормативних документів щодо забезпечення безпечної та безаварійної експлуатації військових електроустановок. При цьому виникає потреба визначити величину індукції магнітного поля в тій чи іншій точці простору для встановлення її шкідливої дії на організм людини. Знайти величину магнітної індукції або напруженості електричного поля поблизу працюючої електроустановки можливо за допомогою цілого ряду магнітометрів, що на даний час представлені на ринку. В основі принципу дії цих приладів закладено різні методи вимірювання індукції магнітного поля. На цей час відомі ферозондові, магнітоіндуктивні, магнітометри засновані на ефекті Холла, а також магніторезисторні або квантові. Для виміру величини магнітного потоку використовують магнітоелектричні та фотоелектричні веберметри (флюксометри). Широке використання таких приладів у військах для вимірювання магнітних полів і визначення їх шкідливої дії на організм людини ускладнене тим, що вони мають досить високу вартість. Для вирішення цієї проблеми необхідно мати простий та зрозумілий метод розрахунку індукції магнітного поля на основі тих параметрів, які можна виміряти без використання дорогого обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження впливу електромагнітних полів промислової частоти на людину, що проводились за останні часи, були орієнтовані головним чином на вивчення дії електричної складової електромагнітного поля, оскільки шкідливої дії магнітної складової при ти-

пових рівнях електромагнітного поля не було виявлено. На основі цих досліджень були прийняті «Санітарні норми і правила захисту населення від впливу електричного поля, створеного повітряними лініями електропередач змінного струму промислової частоти», затверджені 28 лютого 1984 року № 2971-84, які на даний час замінені на «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів», що затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я від 18 грудня 2002 року № 476 регламентують безпечні норми електричних і магнітних полів і встановлюються безпечні норми індукції магнітного поля в залежності від часу перебування у ньому людини.

**Мета статті.** Розробка методу розрахунку магнітного поля, що створюється навколо двопровідної лінії для оцінки небезпеки шкідливого впливу на організм людини.

**Основний матеріал**

Величину вектора магнітної індукції зовні нескінченно довгого прямого провідника зі струмом можна знайти із відомого виразу

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}, \quad (1)$$

де  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (Гн/м) – магнітна постійна;  $I$  – значення струму у провіднику;  $r$  – відстань від точки, в якій проводиться вимір, до провідника зі струмом.

Загальний вигляд силових ліній магнітного поля прямого провідника зі струмом зображений на рис. 1. Криві  $B$ , тобто лінії магнітної індукції, будуть мати вигляд кіл із центрами у точці  $A$  і співпадати з еквіпотенційними поверхнями електростатичного поля зарядженої нескінченної осі. Знайти величину магнітної індукції у будь-якій точці простору навколо дано-

го провідника, користуючись формулою (1), нескладно. Отримане значення можна використовувати для аналізу впливу магнітного поля на людину. Але на практиці у більшості випадків доводиться стикатися не з однопровідною, а двох-, трьох- і чотирьохпровідними лініями. Для таких випадків розрахунок магнітних полів значно ускладнюється.

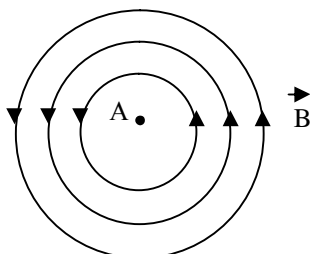


Рис. 1. Силлові лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом

Розглянемо двопровідну лінію, яка зображена на рис. 2.

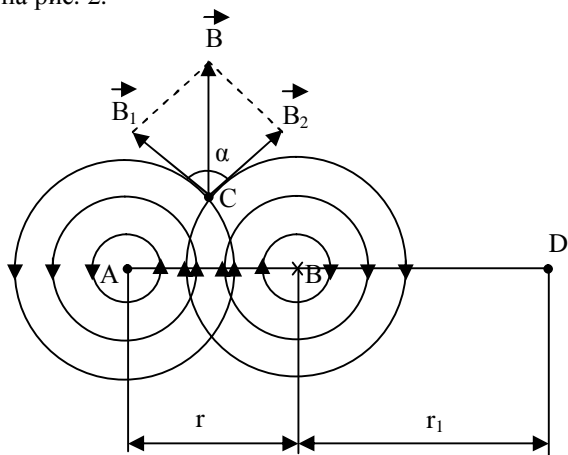


Рис. 2. Силлові лінії магнітного поля двопровідної лінії

Як бачимо із рисунка, лінії магнітної індукції направлені в одному напрямку, тобто підсилюють одна одну, між провідниками, і мають різні напрямки зовні двопровідної лінії. Для точки С, що розташована між провідниками, результуючий вектор магнітної індукції  $\vec{B}$  буде дорівнювати

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2, \quad (2)$$

або 
$$\vec{B} = \sqrt{B_1^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha + B_2^2}. \quad (3)$$

Так як для визначення впливу магнітного поля на організм людини напрям вектора магнітної індукції не має істотного значення, а важлива лише її величина, то необхідно знайти цю величину для будь-якої точки простору, знаючи такі параметри:

$r$  – відстань між провідниками;

$a, b$  – відстані від провідників до точки, в якій проводиться вимір;

Якщо точку С розмістити точно посередині відрізка АВ, то очевидно, що вектори  $\vec{A}$  і  $\vec{B}$  будуть рівні по модулю, а також  $\cos \alpha$  буде дорівнювати

одиниці, оскільки вектори направлені в одному напрямку, тоді вираз (3) набуде такого вигляду

$$B = \sqrt{(B_1 + B_2)^2} = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I}{\pi \cdot r}. \quad (4)$$

Для більшої зручності користування запишемо формулу (1) в гаусах

$$B = \frac{2}{10} \cdot \frac{I}{r}. \quad (5)$$

Для точки D, яка лежить на деякій відстані  $r_1$  від точки В на прямій, якій належить відрізок АВ, кут між векторами  $B_1$  і  $B_2$  складає  $2\pi$ , відповідно

$$B = B_2 - B_1 = \frac{2}{10} \cdot \frac{I}{r_1} - \frac{2}{10} \cdot \frac{I}{r_1 + r} = \frac{2I}{10} \cdot \frac{r_1}{r \cdot (r_1 + r)}. \quad (6)$$

З виразу (6) видно, що зі зменшенням  $r$  сумарне магнітне поле зовні такої системи провідів наближається за своїм характером до поля, що створюється одним провідником зі струмом.

Розглянемо тепер загальний випадок, коли точка С лежить у довільній точці на довільних відстанях  $a$  і  $b$  від точок А і В відповідно (рис. 3).

Користуючись теоремою косинусів для трикутника АСВ можемо записати вираз:

$$r^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta,$$

або 
$$\cos \alpha = -\frac{a^2 + b^2 - r^2}{2ab}. \quad (7)$$

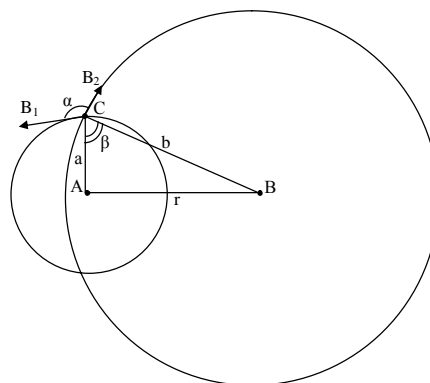


Рис. 3. Магнітна індукція, що створюється двопровідною лінією у довільній точці простору

Підставивши отриману формулу у вираз (3), після незначних перетворень отримаємо залежність результуючого значення індукції магнітного поля від величини струму у двопровідній лінії, відстаней між проводами, та від кожного провідника до точки, що розглядається:

$$B = \sqrt{B_1^2 - 2B_1B_2 \left( \frac{a^2 + b^2 - r^2}{2ab} \right) + B_2^2} = \frac{2I}{10} \sqrt{\frac{1}{a^2} - \frac{(a^2 + b^2 - r^2)}{(ab)^2} + \frac{1}{b^2}}. \quad (8)$$

Для того, щоб такою формулою зручно було користуватися, необхідно записати її відповідно до деякої системи координат. Візьмемо декартову систему координат на площині, початок якої лежить у точці

А, відрізок АВ лежить на осі абсцис. Для будь-якої точки С, відстань від точки А до якої становить  $a$ , а від точки В –  $b$ , будуть справедливі такі рівняння

$$a = \sqrt{x^2 + y^2}; \quad b = \sqrt{(r-x)^2 + y^2}. \quad (9)$$

Підставивши ці рівняння у формулу (8), отримаємо вираз для знаходження величини магнітної індукції у загальному випадку:

$$B = \frac{2I}{10^3} \sqrt{\frac{1}{x^2 + y^2} - \frac{x^2 + y^2 + (r-x)^2 + y^2 - r^2}{(x^2 + y^2)((r-x)^2 + y^2)} + \frac{1}{(r-x)^2 + y^2}}. \quad (10)$$

Звичайно, використовувати таку формулу для розрахунків вручну вкрай важко й незручно. Для більшої наочності картини магнітного поля двопровідної лінії, спробуємо побудувати графіки його еквіпотенційних поверхонь, користуючись отриманим виразом та програмою Advanced Grapher 2.2, яка, на відміну від багатьох інших, дозволяє будувати графіки функцій, які задані в неявному вигляді.

Побудуємо графіки для випадку, коли струм у лінії дорівнює 10 А, а відстань між провідниками – 5 см.

Формула, яку потрібно записати у вікні властивостей графіку для рівняння або нерівності програми Advanced Grapher 2.2 виглядає наступним чином

$20 * \sqrt{1/(x^2+y^2) - (x^2+y^2+(5-x)^2+y^2-25)/(x^2+y^2)/((5-x)^2+y^2)+1/((5-x)^2+y^2)} - 16 = 0$ ; де від'ємником являється значення магнітної індукції на кожній еквіпотенційній поверхні.

Змінюючи цей від'ємник, отримуємо сімейство графіків функцій, за яким ми можемо скласти доволі чітке уявлення про характер поля. Для нашого випадку воно має вигляд, зображений на рис. 4.

З графіків чітко видно, що по мірі віддалення від нашої двохпроводної лінії, загальний вигляд еквіпотенційних поверхонь магнітного поля наближається за своїм характером до поля, створеного одним провідником зі струмом (рис. 1).

## Висновки

За допомогою отриманого виразу, досить зручно можливо отримати уявлення про значення магнітної індукції у будь-якій точці простору.

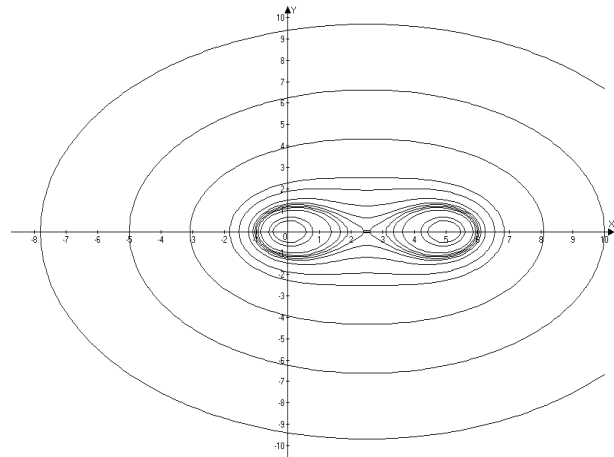


Рис. 4. Еквіпотенційні поверхні магнітного поля двопровідної лінії, зображені за допомогою Advanced Grapher

Очевидно, що для двопровідної лінії змінного струму промислової частоти, можливо використовувати ті ж самі вирази і графіки, пам'ятаючи, що магнітне поле в цьому випадку змінюється за законом синуса від нуля до максимального значення. Цей метод розрахунку може бути застосований для розрахунку магнітних полів, що створюються міським електротранспортом, який використовує постійний струм, мереж освітлення, підлоги з електропідігрівом і т.ін.

## Список літератури

1. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля / В.А. Говорков. – М., 1968.
2. Парселл Э. Электричество и магнетизм / Э. Парселл. – М., 1972.
3. Электрические измерения. Средства и методы измерений / Под ред. Е.Г. Шрамкова. – М., 1972.
4. «Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів» (Наказ Міністерства охорони здоров'я від 18 грудня 2002 року № 476.)
5. «Санітарні норми і правила захисту населення від впливу електричного поля, створеного повітряними лініями електропередач змінного струму промислової частоти» (від лютого 1984 року № 2971-84)1.

Надійшла до редколегії 29.11.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОД РАСЧЕТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДВУХПРОВОДНОЙ ЛИНИИ

М.Б. Старостенко, А.О. Мушаров

*Предлагается графо-аналитический метод расчета магнитного поля, которое создается около двухпроводной линии, позволяющий оценить опасность вредного воздействия магнитного поля на организм человека.*

**Ключевые слова:** магнитное поле, эквипотенциальная поверхность, индукция.

## METHOD OF THE CALCULATION OF THE MAGNETIC FIELD TO TWO-WIRE LINE

M.B. Starostenko, A.O. Musharov

*It is offered earl-analytical method calculation magnetic field, which s beside two-wire line, allowing value danger of the bad influence magnetic field on person's organism.*

**Keywords:** magnetic field, equipotential surface, induction.