

## СУПЕРПОЗИЦІЯ ОРТОГОНАЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА МАГНІТНИХ ПОЛІВ

к.т.н. А.М. Панченко, О.М. Малиш  
(подав д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

Розглядається можливість отримання результуючого електричного та магнітного полів шляхом складання їх із двох взаємоперпендикулярно орієнтованих в просторі та явища, які можуть їх супроводжувати.

На рис.1 зображено два взаємоперпендикулярні феромагнітні тороїдальні магнітопроводи (поз.1 і поз.2) з відповідними котушками, до яких подана змінна напруга  $U_1, U_2$ . Магнітопровід 2 огорнений поверхню (поз.3, вона має частковий виріз для наочності). Будемо вважати поверхню 3 діелектриком. Змінний магнітний потік в осередді 1 створить навколо себе в перпендикулярній площині змінне електричне поле

$$\oint_s (\mathbf{E}_1 d\mathbf{s}_1) = -\frac{1}{c} \cdot \frac{d\Phi_1}{dt}, \quad (1)$$

де  $s_1$  – контур, що охоплює осереддя 1;  $\Phi_1$  – магнітний потік осереддя 1;  $\mathbf{E}_1$  – напруженість електричного поля.

Електричне поле  $\mathbf{E}_1$  має вигляд концентричних кіл в перпендикулярній площині відносно вектора магнітної індукції  $\mathbf{B}_1$ , що зображено на рис.1 на поверхні 3. Магнітний потік магнітопроводу 2 також створить своє електричне поле в відповідності з виразом (1) лише орієнтоване перпендикулярно відносно  $\mathbf{E}_1$ . Таким чином, на поверхні 3 одночасно будуть присутні два вихрових ортогональних електричних поля. Внаслідок суперпозиції полів буде отримано електричне поле  $\mathbf{E}_3$ . Силова лінія цього поля має вигляд зігнутої в кільце спіралі (рис.2), що охоплює осереддя 2 (рис.1), рівняння якої в параметричному вигляді наступне:

$$\begin{aligned} x &= \cos(t)[\mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot \cos(\omega t)]; \\ y &= \sin(t)[\mathbf{a} + \mathbf{b} \cdot \cos(\omega t)]; \\ z &= \mathbf{b} \cdot \sin(\omega t), \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\omega$  - кутова частота (визначає кількість витків в колі);  $\mathbf{a}$  - радіус кола, по якому зігнуто спіраль;  $\mathbf{b}$  - радіус витка спіралі.

Аналіз рівняння (2) свідчить, що можливі три випадки.

1. Спіраль, охоплюючи поверхню 3, створює замкнуту криву, тобто початок і кінець спіралі співпадають. Це відбувається коли  $\omega$  ціле число.

2. Початок і кінець спіралі не співпадає (рис.2, точка 1 - початок, точка 2 – кінець). В такому разі кожна наступна спіраль асимптотично буде наближатися до попередньої, ніколи з нею не перехрещуючись і не з'єднуючись з початком. На рис.2 показано двократне проходження силової лінії. Якщо кількість проходжень лінії прагне в нескінченність, то утворюється поверхня, в певному розумінні, силова лінія вихрового електричного поля терпить розрив. Таку поверхню будемо називати електричною поверхнею. Розглянутий випадок можливий завжди, коли  $\omega$  не є ціле число. Таким чином, маємо вихрове електричне поле, в якому силова лінія не є замкнутою, а входить в нескінченність.

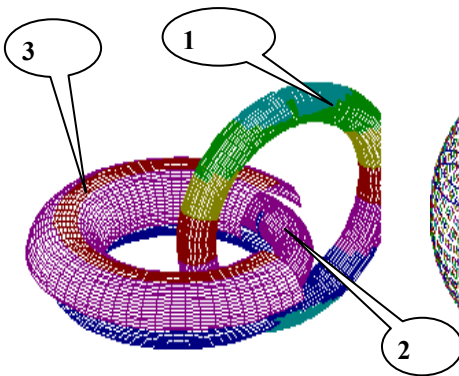


Рис.1. Ортогональні магнітопроводи з електричною поверхнею

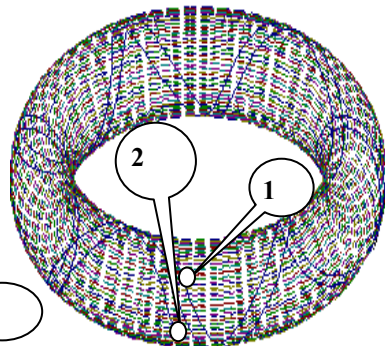


Рис2. Спіралевидне електричне поле

3. Спіраль після декількох “обходів” попадає на початок силової лінії, тобто утвориться замкнута силова лінія з декількох спіралей.

Розглянемо випадок, коли у вказане електричне поле поміщена діелектрична поверхня 3 (рис.1). Її диполі зорієнтуються відповідно до варіантів поля 1,3. Різниця потенціалів між двома точками поверхні 3 визначається з виразу (1), де  $E_3$  буде залежати лише від  $d\Phi/dt$ , а скалярний добуток векторів  $E_3 \cdot ds$  буде залежати від шляху інтегрування (тобто від шляху проходження силової лінії). Тоді

$$\Delta\phi = E_3 \cdot ds . \quad (3)$$

В наслідок цього, різниця потенціалів точок поверхні 3 буде залежати як від відстані між ними, так і від кількості разів проходження силової лінії, що з'єднує ці точки. Використовуючи в якості поверхні 3 (рис.1) провідник, отримаємо два взаємоперпендикулярні замкнуті кола для поля  $E_1, E_2$  і спіралевидне для поля  $E_3$ . Відповідь на питання, по

якому колу “потече” струм, залежить від провідності поверхні 3 у вказаних напрямках. Якщо замість поверхні 3 розмістити іонізоване середовище, то заряди (електрони, іони) також будуть переміщуватися по спіральної траєкторії.

Розглянемо можливість створення магнітного поля спіральної форми. На рис.3 показані два взаємоперпендикулярні контури з струмом. Навколо кожного із них знаходиться магнітне поле силові лінії якого мають вигляд концентричних кіл. Контур з струмом  $i_2$  помістимо в тороїдальний феритовий екран (поз.3 рис.1), поверх екрана розмістимо обмотку з струмом  $i_1$ . Таким чином, внаслідок суперпозиції ортогональних полів отримаємо спіральної картину поля (рис. 2).

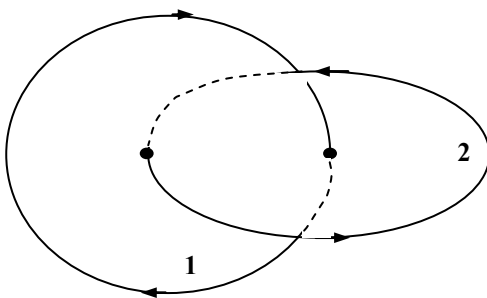


Рис.3. Взаємоперпендикулярні контури з струмом

Міркування щодо трьох варіантів спіральної електричного поля залишаються в силі і для магнітного, а також і рівняння силових ліній. Відомо також, що магнітна силова лінія завжди замкнута. В нашому випадку при нецілому значенні  $\omega$  вона не замикається, а входить в нескінченність. Випадок, коли магнітна силова лінія заповнює поверхню і не є замкнутою, розглянуто в [1] для постійних струмів.

Розглянемо випадок, коли в центрі тора, утвореного магнітною поверхнею, розмістимо провідний контур. Згідно закону магнітної індукції (1) ЕРС що в ньому, буде наводитися пропорційна магнітному потоку і швидкості його зміни в часі. Якщо  $\omega$  є ціле число і магнітна силова лінія один раз обходить тор і потрапляє в свій початок, точки 1 і 2 співпадають, наведеться ЕРС, пропорційна кількості витків спіралі. Якщо параметр  $\omega$  підібрати таким чином, щоб силова лінія обійшла  $n$  разів і попала в точку 1, то складається враження, що й ЕРС повинна зрости в  $n$ , а при утворенні магнітної поверхні ЕРС зростає до нескінченності. Цей випадок очевидно неможливий. З другого боку, якщо взяти еластичний магнітопровід і його декілька разів пропустити через провідниковий контур (начебо міняємо місцями провідник з струмом і магнітопровід), то ЕРС пропорційно зростає.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Сивухин Д.В. Общий курс физики. – М. : Наука, 1983. – 235 с.

Подана до редколегії 22.01.2001