

УДК621.318.1

Гугняєв К.П.¹, Момот Р.С.¹

¹студ. гр. Е-914м НУ «Запорізька політехніка»

ЗАДАЧІ МАГНІТОСТАТИКИ В СЕРЕДОВИЩІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ELCUT

Розрахунок магнітного поля застосовується при проектуванні та дослідженні різних пристроїв, таких як соленоїди, електричні машини, магнітні екрани, постійні магніти, реактори тощо. Зазвичай при розрахунках магнітного поля представляють інтерес такі величини, як магнітна індукція, напруженість магнітного поля, магнітостатичні сили та моменти, індуктивність, а також потокозчеплення з різними обмотками.

Пакет Elcut може застосовуватися для вирішення лінійних та нелінійних завдань магнітостатики в плоскій та вісесиметричній постановці.

Використовується формулювання задачі щодо векторного магнітного потенціалу

Завдання магнітостатики можуть бути вирішені в лінійній та нелінійній постановках. Джерелом поля можуть служити зосереджені та розподілені струми та струмові шари, постійні магніти, а також зовнішні магнітні поля.

При вирішенні цих завдань використовується рівняння Пуассона для векторного магнітного потенціалу A ($B = \text{rot } A$, B – вектор магнітної індукції) В завданнях вектор індукції B завжди лежить в площині моделі (xy або zr), а вектор щільності стороннього струму j та векторний потенціал A перпендикулярні до неї. Іншими словами, електричний струм, що створює магнітне поле, спрямоване перпендикулярно площині креслення, або рухомі заряди, що створюють постійне магнітне поле, переміщуються перпендикулярно площині креслення. Відмінні від нуля лише компоненти j_z та A_z у плоско-паралельному випадку або j_θ і A_θ в вісесиметричних задачах. Для плоско-паралельних задач рівняння має вигляд

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\mu_y} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{\mu_x} \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -j + \left(\frac{\partial H_{cy}}{\partial x} - \frac{\partial H_{cx}}{\partial y} \right), \quad (1)$$

а для вісесиметричного випадку:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r\mu_z} \frac{\partial A}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu_r} \frac{\partial A}{\partial z} \right) = -j + \left(\frac{\partial H_{cz}}{\partial r} - \frac{\partial H_{cz}}{\partial r} \right), \quad (2)$$

де компоненти тензора магнітної проникності $\mu_x, \mu_y, (\mu_z \text{ та } \mu_r)$, складові коерцитивної сили, а також щільність струму j – постійні величини в межах кожного з блоків моделі.

В нелінійній постановці якості матеріалів вважаються ізотропними ($\mu_x = \mu_y$ або $\mu_z = \mu_r$) і задаються залежністю $B = f(H)$, представлену кубічним сплайном.

Джерела поля можуть бути задані в блоках, на ребрах або окремих вершин моделі. В магнітостатиці під джерелами поля розуміються зосереджені та розподілені струми та струмові шари, а також постійні магніти, намагніченість яких визначається величиною коерцитивної сили.

Джерело, заданий в конкретній точці площини x_y (z_r), описує струм, який проходить через цю точку у напрямі третьої вісі. В осесиметричному випадку точкове джерело представляє струм у тонкому кільцевому провіднику навколо осі симетрії. Струм, заданий на ребрі, відповідає поверхневому струму в тривимірному просторі. Завдання щільності струму в струмовому шарі еквівалентне неоднорідній граничній умові Неймана і здійснюється за його допомогою. Просторово розподілений струм описується або за допомогою щільності електричного струму, або повним числом ампер-витків, асоційованих з блоком. Щільність струму в котушці може бути отримана за формулою:

$$j = \frac{nI}{S}, \quad (3)$$

де n – кількість витків котушки,

I – повний струм,

S – площа поперечного перерізу котушки.

Різні блоки, в яких задано одне і те ж саме повне число ампер-витків, можуть розглядатися як з'єднані послідовно. Густина струму в кожному блоці буде обчислюватися розподілом загальної кількості ампер-витків на площу блоку

В вісесиметричних задачах, якщо в блоці задано повне число ампер-витків, а не щільність струму, є можливість описати, що щільність струму має бути розподілена за перерізом назад пропорційно відстані до осі обертання. Цей підхід дозволяє моделювати масивні спіральні котушки.