

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ В КУСОЧНО-ОДНОРІДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Г.А. Циганкова

Національний університет харчових технологій
вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01033, Україна.

E-mail: tsgk.anna@gmail.com

Приведено результати чисельного дослідження розв'язку задачі розрахунку магнітного поля в області з зубчато-пазовою поверхнею та проведеного аналізу нерівномірного розподілу поля для різної геометрії зубців і пазів.

Ключові слова: напруженість магнітного поля, магнітна проникність

NUMERICAL MAGNETIC FIELD STUDY IN A PIECEWISE HOMOGENEOUS MEDIUM

G. Tsygankova

National University of Food Technologies
68, Volodymyrska st., Kyiv, 01033, Ukraine.

E-mail: tsgk.anna@gmail.com

The results of the numerical study of the solution of the problem of calculating the magnetic field in the area with the cog-grooved surface and the analysis of the uneven field distribution for different geometry of the teeth and grooves are given.

Keywords: magnetic field strength, magnetic permeability

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. У багатьох електротехнічних пристроях виконання магнітопроводів у вигляді зубчато-пазової конструкції використовується і як засіб закріплення стержнів обмотки в пазах, так і для деформації магнітного поля. В електродинамічному гальмі ярмо індуктора також виконується у вигляді чергування зубців і пазів для деформації постійного магнітного поля, що дозволяє отримати змінне поле в провідному диску-якорі. Ступінь неоднорідності магнітного поля в повітряному проміжку зубчато-пазового ярма індуктора суттєво впливає на значення електродинамічних зусиль та електромагнітного взаємозв'язку якоря і індуктора електродинамічного гальма.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Розглянуто задачу розрахунку магнітного поля в області з односторонньою зубчато-пазовою конструкцією в декартовій системі координат та лінійній постановці. В даній постановці існують лише дві складові напруженості магнітного поля H_x , H_y . Рівняння поля розглядаються в повітряних середовищах над зубцевою поверхнею I та в пазах II. Розв'язки рівнянь поля в тангенційному напрямку знайдено методом відокремлення змінних в I та II областях з урахуванням просторової симетрії. Знаходження постійних інтегрування із умов на межі розподілу двох середовищ при $y=0$ приводить до наступних функціональних рівнянь

$$H_{0y} + \sum_{n=1,2,3,\dots} C_{1n} \cos \lambda_{1n} x = - \sum_{n=1,2,3,\dots} C_{2n} (1 + e^{-2\lambda_{2n}y_1}) \sin \lambda_{2n} x \quad -d_1 < x < d_1, \quad (1)$$

$$\sum_{n=1,2,3,\dots} C_{1n} \sin \lambda_{1n} x = \sum_{n=1,2,3,\dots} C_{2n} (1 - e^{-2\lambda_{2n}y_1}) \sin \lambda_{2n} x, \quad -d_1 < x < d_1 \quad (2)$$

$$\sum_{n=1,2,3,\dots} C_{1n} \sin \lambda_{1n} x = 0, \quad d_1 < x < h.$$

Шляхом розкладу лівих і правих частин цих рівнянь за однією фундаментальною системою функцій, вони трансформуються у таку нескінченну систему рівнянь відносно невідомих C_{1n} , C_{2n} :

$$-C_{2n} (1 + e^{-2\lambda_{2n}y_1}) = d_n + \sum_{k=1,2,3,\dots} C_{1n} b_{kn}, \quad C_{1n} = \sum_{k=1,2,3,\dots} C_{2k} (1 - e^{-2\lambda_{2k}y_1}) a_{kn}, \quad (3)$$

$$\text{де } d_k = \frac{1}{d_1} H_{0y} \frac{\sin \lambda_{n2} d_1}{\lambda_{n2}}, \quad b_{kn} = \frac{\lambda_{n2}}{d_1} \frac{\cos \lambda_{k1} d_1 \sin \frac{2n-1}{2} \pi}{\lambda_{n2}^2 - \lambda_{k1}^2}, \quad a_{kn} = \frac{2\lambda_{1n}}{h} \frac{\sin \frac{2k-1}{2} \pi \cos \lambda_{n1} d_1}{\lambda_{2k}^2 - \lambda_{1n}^2}.$$

Нескінченна алгебраїчна система рівнянь (3) розв'язана методом редукції за запропонованим алгоритмом. За розв'язками розроблено програмне забезпечення та проведено аналіз особливостей розподілу поля. Виконані чисельні розрахункові експерименти при варіації співвідношень ширини пазу та товщини зубців, глибини пазу та інших параметрів, дозволяють оптимізувати зубчато-пазову конструкцію магнітної системи. Чисельним експериментом досліджено особливості збіжності рядів, у вигляді яких отримано розв'язки для напруженості магнітного поля. В цілому задовільно ряди збігаються при $n \approx 100$. Однак в особливих точках та у випадках, коли геометричні розміри, перш за все, величини $(h-d_1)$ і d_1 не сумірні збіжність погіршується. Криві залежності напруженості магнітного поля від координати x є не монотонними на окремих ділянках навіть при $n \approx 300$.

ВИСНОВКИ. Чисельні дослідження підтвердили основні закономірності розподілу магнітного поля в такому кусочно-однорідному середовищі, і перш за все, прояв крайового ефекту в області розриву магнітної проникності, в точках переходу від межі зубець-паз до межі зубець-зазор. Виявлено, що магнітне поле уже на відстані від зубця лише $1/4$ зубцевого ділення стає практично однорідним.