

ДЕФОРМАЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ ДВОСТОРОННІЙ ЗУБЧАТОСТІ РОБОЧОГО ЗАЗОРУ

Г.А. Циганкова

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

E-mail: tsgk.anna@gmail.com

Розглянуто магнітне поле в нерівномірному зазорі. Показано, що найбільша деформація магнітного поля відбувається при ширині пазу більшій від ширини зубця у 1,5-2 рази.

Ключові слова: напруженість магнітного поля, нерівномірний зазор, магнітний потенціал.

DEFORMATION OF MAGNETIC FIELD AT TWO-SIDE SERRATED EDGE OF A WORKING GAP

G. Tsygankova

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

E-mail: tsgk.anna@gmail.com

Magnetic field in the non-uniform gap is examined. It is shown, that greatest deformation of magnetic field is carried out with the width of a groove 1,5 - 2 times bigger than width of a rack.

Keywords: intensity of a magnetic field, non-uniform gap, magnetic potential

В багатьох електротехнічних пристроях (електричні машини, електродинамічні гальма і т.п.) використовуються магнітні системи, в магнітопроводах яких робочий зазор розділяє його на дві частини. Часто поверхні цих частин, між якими знаходиться зазор, мають зубцево-пазову структуру [1]. Розглянемо модель, яка описує магнітне поле в такому зазорі. Будемо вважати поверхні магнітопроводу симетричними та заданою різницю магнітного потенціалу u_μ між поверхнями. Прийmemo, що в площині симетрії $y = 0$ магнітний потенціал $u_\mu = 0$. Розглядаємо плоско-паралельне поле в декартовій системі координат: x – координата вповдовж зазору; y – координата поперек зазору.

Рішення для компонент напруженості магнітного поля мають вигляд суми гармонічних складових по x , амплітуда яких залежить від координати y . Коефіцієнти, що визначають значення амплітуд складових, знаходяться із рішення рівнянь Максвелла для стаціонарного магнітного поля в зазорі з врахуванням граничних умов. Вони різні для області зазору C_n і для області пазу C_m . В області зазору (I) період суми гармонічних складових дорівнює сумі ширини пазу b_n і ширини зубця b_z , а в області пазу (II) – подвійній ширині пазу. Причому в області зазору можуть існувати гармонічні складові з порядком $n=0,1, 2, 3, 4, \dots$ (нульова, або уніполарна, складова H_{0y} лише для компоненти напруженості магнітного поля по y), а в області пазу – лише непарні гармонічні складові $m=1,3, 5, 7, \dots$. Рівняння Максвелла в робочому зазорі зводяться до рівняння Лапласа, розв'язання якого приводить до системи рівнянь з невідомими сталими C_n і C_m , яка може бути розв'язана чисельними методами.

$$C_n \lambda_{1n} \operatorname{sh}\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right) = - \sum_{m=1}^{\infty} C_m \lambda_{2m} \operatorname{sh}(\lambda_{2m} h_n) b_{mn} \quad (1)$$

$$- C_m \lambda_{2m} \operatorname{ch}(\lambda_{2m} h_n) = H_{0y} a_{0m} - \sum_{n=1}^{\infty} C_n \lambda_{1n} \operatorname{ch}\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right) a_{nm} \quad (2)$$

$$H_{0y} = \frac{2}{d} \left(\sum_{n=1}^{\infty} C_n \operatorname{sh}\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right) \cos(n\pi) - U_\mu \right), \quad (3)$$

де $\lambda_{1n} = \frac{2n\pi}{b_z + b_n}$; $\lambda_{2m} = \frac{(2m-1)\pi}{b_n}$; $a_{0m} = \frac{4}{(2m-1)\pi} \sin\left((2m-1)\frac{\pi}{2}\right)$;

$$a_{nm} = \frac{4}{b_n} \frac{\lambda_{2m} \sin\left(\lambda_{2m} \frac{b_n}{2}\right) \cos\left(\lambda_{1n} \frac{b_n}{2}\right)}{(\lambda_{2m}^2 - \lambda_{1n}^2)}; \quad b_{mn} = \frac{4}{b_z + b_n} \frac{\lambda_{1n} \sin\left(\lambda_{2m} \frac{b_n}{2}\right) \cos\left(\lambda_{1n} \frac{b_n}{2}\right)}{\lambda_{2m}^2 - \lambda_{1n}^2};$$

U_μ – заданий магнітний потенціал магнітопроводу, d - ширина зазору.

Приймається такий алгоритм розрахунку сталих C_n та C_m . Вибираємо число гармонічних складових N в зоні I та M в зоні II, які будуть враховуватись при розрахунку напруженості магнітного поля. Розраховуємо масиви коефіцієнтів Фур'є a_{0m} , a_{nm} та b_{mn} .

На першому кроці ітерації задаємо початковим значенням сталої C_n для першої гармонічної

складової ($n=1$) таким, що $C_{(n=1)l} \lambda_{1n} ch\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right) = k_n H_{0y}$, де $k_n < 1$ - деякий заданий коефіцієнт, а для решти гармонічних складових приймемо $C_{(n>1)l} = 0$. Підставивши із (3) значення H_{0y} отримаємо вираз для коефіцієнта $C_{(n=1)l}$:

$$\frac{C_{(n=1)l} \lambda_{1n} ch\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right)}{k_n} = \frac{2}{d} \left(C_{(n=1)l} sh\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right) \cos(n\pi) - U_\mu \right), \text{ звідки}$$

$$C_{(n=1)l} = - \frac{2k_n U_\mu}{d \lambda_{1n} ch\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right) - 2k_n sh\left(\lambda_{1n} \frac{d}{2}\right) \cos(n\pi)}. \quad (4)$$

Далі по (3) розраховуємо початкове значення H_{0y1} для заданих геометричних розмірів зубцевої зони магнітопроводу індуктора та прийнятих початкових значень сталих C_{n1} . Розраховуємо відносні значення сталих $C_{n1\text{відн}}$: $C_{n1\text{відн}} = \frac{C_{n1}}{H_{0y1}}$. По (2) розраховуємо відносні значення сталих $C_{m1\text{відн}}$ при $H_{0y} = 1$ та їх абсолютні значення $C_{m1} = C_{m1\text{відн}} H_{0y1}$.

Розподіл H_y для одного із варіантів розмірів на першому кроці ітерацій показано на рис. 1а). Отриманий на першому кроці ітерацій ряд C_{m1} дає розподіл компоненти по y напруженості магнітного поля, показаний на рис. 1б). Взаємне розміщення графіків розподілу, розрахованих по коефіцієнтах C_{n1} (крива 1) та C_{m1} (крива 3), і першої складової розподілу (крива 2) показано на рис. 1в).

Як видно з цього графіка коефіцієнти C_{n1} та C_{m1} забезпечують співпадіння розподілу компоненти по y напруженості магнітного поля на межі областей I і II (криві 1 і 3 співпадають) навпроти пазу. Проте не співпадає розподіл компоненти по x напруженості магнітного поля. Тому по (1) для знайденого C_{m1} розраховуємо коефіцієнти C_{n2} , які забезпечують співпадіння розподілу компоненти по x . Середні значення коефіцієнтів C_{n1} та C_{n2} є вхідними для наступної пари ітерацій. Розрахунок коефіцієнтів закінчується при співпадінні розподілів обох компонент напруженості магнітного поля з відхиленням, меншим від заданого.

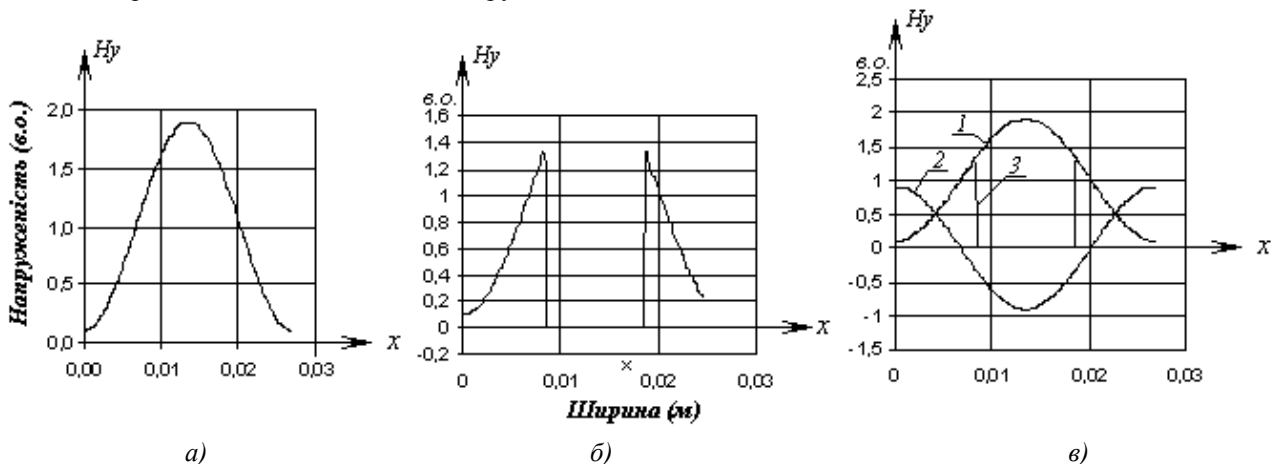


Рисунок 1 - Розподіл напруженості магнітного поля на першому кроці ітерацій

Проведені розрахунки показують, що максимальне значення амплітуди основної гармонічної складової магнітної індукції досягається при ширині пазу більшій від ширини зубця в 1,5 – 2 рази. Значення компоненти H_y в зазорі між зубцями по осі зубців не залежить від координати y . Амплітуда основної гармонічної складової компоненти по y напруженості магнітного поля при наближенні до середини зазору зменшується несуттєво.

ЛІТЕРАТУРА

1. О. І. Титко, Г. А. Циганкова, А. К. Фіщук . Магнітне поле в зубцево-пазовій області електричних машин і електротехнічних пристроїв // Праці Інституту електродинаміки НАН України. - 2007. - № 18. - С. 80-84