

УДК 621.3.001

ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ МАГНІТНОГО ПОЛЯ В РОБОЧІЙ ЗОНІ
ДИСКООДІБНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ГАЛЬМА*Циганкова Г.А., аспірант**Інститут електродинаміки НАНУ**м. Київ, пр-т Перемоги, 56**E-mail: globalgas@ukr.net*

В данной статье приведены данные экспериментального исследования распределения магнитного поля в рабочем зубчатом зазоре дископодобного электромагнитного тормоза. Предложенные соотношения для определения максимального и минимального значений магнитной индукции для заданной конфигурации магнитопровода позволяют получить результат с погрешностью до 5%.

Ключевые слова: магнитное поле, электромагнитный индуктор, тормозной момент, индукция.

In the given article the data of an experimental research of distribution of a magnetic field in a working toothed clearance of the disk-shaped electromagnetic brake are indicated. The parities for definition of maximum and minimum significances of a magnetic induction for a specific configuration magnetic wire allowing receiving an outcome with an error up to 5% are offered.

Key words: magnetic field, electromagnetic индуктор, brake moment, induction.

Вступ. Розвиток електромеханічних систем та пристроїв потребує випробувань методами безпосереднього навантаження при відповідних режимах роботи. При цьому використовуються різноманітні гальмівні пристрої, найчастіше – електромагнітні, наприклад, балансірні машини. Серед таких пристроїв особливе місце посідає дископодібне електромагнітне гальмо, яке має електропровідний диск, що може обертатися в підшипниках індуктора з осьовим зазором [1]. Завдяки зменшеним розмірам в осьовому напрямку такого гальма, воно може бути закріплене безпосередньо на валу досліджуваного двигуна. При цьому диск буде обертатись разом з ротором двигуна, а індуктор з противагами – повертатись на кут, синус якого пропорційний моменту на валу. Щоб електромагнітне гальмо створювало гальмівний момент, індуктор повинен збуджувати в робочому зазорі неоднорідне магнітне поле. Це досягається завдяки виконанню індуктора з нерівномірним робочим зазором у вигляді зубців і пазів магнітопровода, що чергуються в напрямку руху.

Аналіз попередніх досліджень. Відомі роботи [1, 2] не враховують повною мірою особливості електромагнітних процесів в пристроях обертального руху з осьовою орієнтацією вектора магнітної індукції в робочому зазорі.

Мета роботи. Дослідження електромагнітних полів з осьовою орієнтацією вектора магнітної індукції в робочому зазорі у стаціонарному режимі.

Матеріал і результати дослідження. Для дослідження розподілу магнітного поля в робочій зоні такого дископодібного електромагнітного гальма

була виготовлена модель індуктора. Ескіз моделі та її основні розміри наведені на рис. 1.

Менша ширина зубця індуктора ($r_2 = 55$) складає 11,6 мм, більша – ($r_3 = 70$) 17,5 мм.

Площа зубця:

$$Q_z = \frac{\pi(r_3^2 - r_2^2)}{n_z} - Q_n = \frac{\pi(70^2 - 55^2)}{16} - 15 \cdot 10 \cong 218 \text{ мм}^2.$$

Площа зубця:

$$Q_n = b_n \cdot (r_3 - r_2) = 10 \cdot 15 = 150 \text{ мм}^2.$$

Площа сектора центральної частини магнітопровода:

$$Q_c = \frac{\pi(r_1^2 - r_0^2)}{n_z} = \frac{\pi(26^2 - 13^2)}{16} \cong 100 \text{ мм}^2.$$

Для експериментального дослідження магнітного поля в нерівномірному зазорі такого дископодібного індуктора в стаціонарному режимі було використано тесламетр з датчиком Холла. Вимірювання осьової складової магнітної індукції B_y та тангенційної складової B_x проводилось у зазорі між зубцями та безпосередньо в пазу на постійній відстані від осі обертання індуктора з дискретністю переміщення датчика відносно індуктора 1 мм. Розміри датчика Холла не дозволяють провести заміри магнітної індукції безпосередньо на поверхні магнітопровода. Найменша відстань від поверхні до точок виміру становила для нормальної складової магнітної індукції – 1 мм, а для тангенційної складової магнітної індукції – 2 мм.

Значення магнітної індукції в повітряному зазорі між зубцями індуктора визначається ампервитками обмотки збудження і еквівалентним зазором:

$$B_z = \frac{\mu_0 \cdot AW}{k_\mu \cdot d_e},$$

де B_z - магнітна індукція, Тл; μ_0 - магнітна проникливість повітря; AW - ампервитки обмоток збудження; k_μ - коефіцієнт, який враховує кінцеве значення магнітної проникливості магнітопровода; d_e - величина еквівалентного зазору.

Величина еквівалентного зазору визначається співвідношенням між площами зубців, пазів і центральної частини магнітопровода та співвідношенням між середніми значеннями магнітної індукції в зазорі в області пазів і зубців:

$$d_e = \left(1 + \frac{Q_z + k_m \cdot Q_n}{Q_c}\right) \cdot 2d,$$

де - $k_m = \frac{B_{нсп}}{B_z}$ вказане співвідношення магнітних індукцій.

Для приведених розмірів магнітопровода індуктора $d_e = 8.07 \cdot d$. При цьому було прийнято, що розподіл магнітної індукції в області зазору апроксимується півхвилею синусоїди з півперіодом, що дорівнює ширині паза $b_{п}$, а мінімальне значення магнітної індукції по осі зазору в області пазів визначається співвідношенням:

$$B_{\min} = \frac{2d}{\pi \cdot b_{п}/2} \cdot B_z,$$

Для наведених розмірів $B_{\min} = 0,325 \cdot B_z$.

Прийняте співвідношення для мінімального значення магнітної індукції суттєво відрізняється від приведенного в [2]:

$$B_{\min} = \frac{d}{\sqrt{d^2 + \left(b_{п}/2\right)^2}} \cdot B_z,$$

тобто відношенням величини зазору до відстані між кромкою зубця та точкою перетину осей зазору і пазу, що дає значення мінімальної індукції в 1,39 рази більше $B_{\min} = 0,454 \cdot B_z$.

В табл. 1 наведені експериментально отримані значення осьової складової магнітної індукції (в гаусах) в повітряному зазорі на трьох рівнях з відстанню в 1 мм ($y=0$ – по осі зазору, $x=0$ – по осі пазу).

В наведених даних, для виключення похибки, обумовленої відхиленням площини датчика від необхідного положення, результати вимірювання осьової складової магнітної індукції в точках, розташованих симетрично відносно осей пазу і зазору, попарно додавались і ділились на 2. Цим виключав-

ся вплив тангенційної складової магнітної індукції на результати вимірювання осьової складової магнітної індукції.

Таблиця 1 – Осьова складова магнітної індукції в зубчатому зазорі

y/x	0	1	2	3	4
0	170	189	240	292	339
1	162	183	230	276	326
2	143	166	192	230	279
y/x	5	6	7	8	9
0	406	462	495	502	505
1	417	486	506	506	506
2	420	525	522	514	512

Експериментально отримані дані дають значення мінімальної індукції за віссю зазору на рівні $B_{\min} = 0,337 \cdot B_z$, що лише на 3,6% більше від прийнятого спочатку на підставі допущення про форму силової лінії магнітного поля як дуги кола.

Слід звернути увагу на форму розподілу осьової складової магнітної індукції в зазорі на межі зубець-паз. Осьова складова магнітної індукції на рівні осі зазору ($y=0$) монотонно зменшується при наближенні до вказаної межі. На рівні, ближчому до поверхні зубця ($y=2$), осьова складова магнітної індукції при наближенні до вказаної межі спочатку зростає, а потім зменшується (рис. 2).

Розподіл магнітної індукції на рівні осі зазору виглядає так, немов паз дещо ширший, порівняно з його геометричними розмірами (по 2 мм на стороні).

Для розрахунку еквівалентного зазору та відношення середнього значення магнітної індукції в області пазу до значення магнітної індукції під зубцями була прийнята апроксимація розподілу магнітної індукції півхвилею синусоїди. Порівняємо дані апроксимації з експериментальними.

Прийmemo:

$$B_{п} = B_z - (B_z - B_{\min}) \cos\left(\frac{\pi x}{b_{п} + 4}\right).$$

Результати розрахунку наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Порівняльні дані апроксимації розподілу магнітної індукції

0	1	2	3	4
170	189	240	292	339
170	178,4	203,2	243,1	296,1
0%	-5,6%	-15%	-17%	-13%
5	6	7	8	9
406	462	495	502	505
359,6	430,5	505		
-11%	-6,8%	+2%		

Як видно з наведених даних, така апроксимація є досить наближеною.

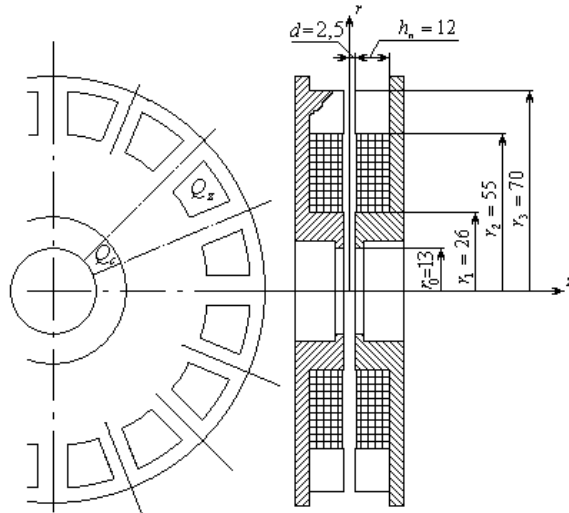


Рисунок 1 – Модель індуктора дископодібного електромагнітного гальма

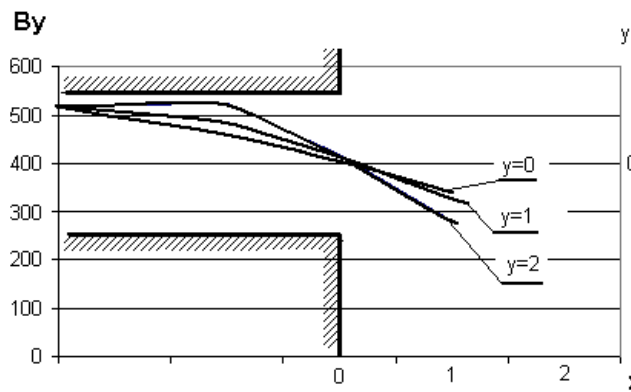


Рисунок 2 – Розподіл осьової складової магнітної індукції на межі зубець-пазу

Розрахункові значення магнітної індукції під зубцями та мінімальної індукції при струмі збудження 0,4 А становлять:

$$B_z = \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 \cdot 2335}{k_\mu \cdot 8,07 \cdot 2,5} = \frac{580}{k_\mu}$$

$$B_{\min} = 0,325 B_z = \frac{188}{k_\mu}$$

що дає досить близькі значення порівняно з експериментальними (при $k_\mu = 1,1$ відхилення від експериментальних +4,4% для B_z та 0,5% для B_{\min}).

Тобто така наближена апроксимація розподілу магнітної індукції в області пазу дозволяє

розрахувати еквівалентний зазор та індукцію в області зубця і мінімальну індукцію в області пазу з похибкою до 5%.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Потапов Л.А., Юферов Ф.М. Измерение вращающихся моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей. – М.: Энергия, 1974. – 128 с.
2. Слободян Л.Р., Шеховцов В.І. Електромагнітні поля електротехнічних установок: Навч. Посібник. – К.: Либідь, 1994. – 176 с.

Стаття надійшла 9.04.2007 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й