

СПРОЩЕННЯ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ СТРУМІВ В ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОМУ ГАЛЬМІ ДИСКООПІДІБНОЇ ФОРМИ

Циганкова Ганна Анатоліївна,

кандидат технічних наук,

доцент кафедри вищої математики ім. проф. В.І. Можара
Національний університет харчових технологій, Україна

tsgk.anna@gmail.com

Для розв'язання задачі знаходження вихрових струмів у дископодібному роторі електродинамічного гальма при його обертанні в магнітному полі індуктора і, як наслідок, електромагнітного моменту в залежності від заданої магнітної індукції, розмірів, швидкості обертання та параметрів матеріалу диска, розглянуто запропоновану модель.

Замінімо зубчатий проміжок робочої зони магнітопроводу дископодібного електродинамічного гальма рівномірним з розміщеними на його поверхні уявними струмами, які створюють таке ж магнітне поле, як і в реальному зубчатому повітряному проміжку [1]. Величину $d_{екв}$ цього рівномірного проміжку знайдемо, виходячи із збереження значення постійної складової розподілу магнітної індукції B_0 в робочій зоні магнітопроводу електродинамічного гальма при заданих ампервитках обмотки збудження (рис.1).

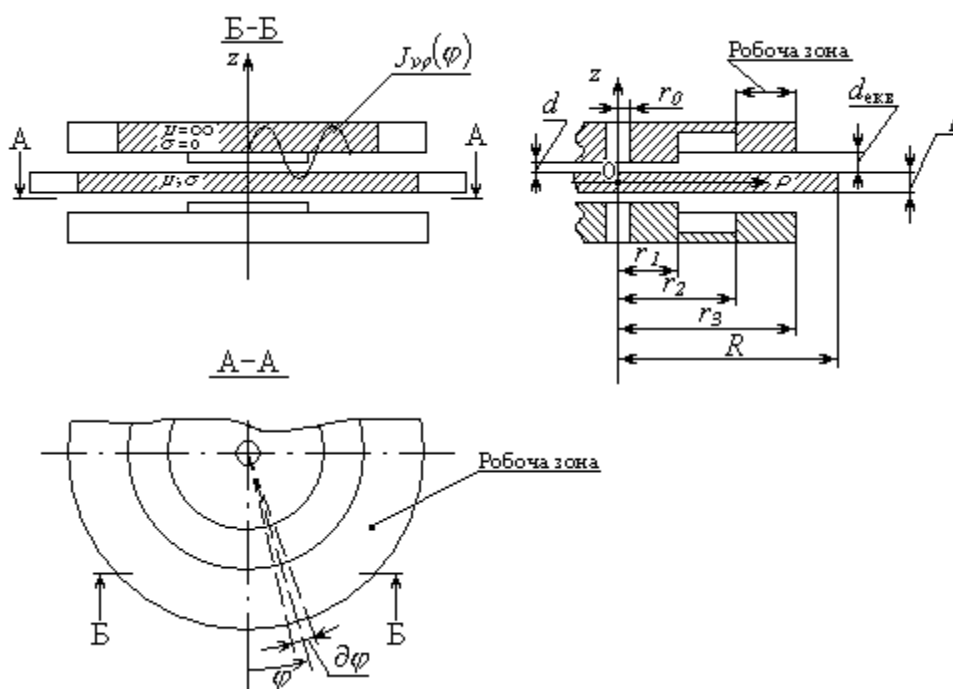


Рис.1. Схема розташування та розміри немасштабної фізичної моделі електродинамічного гальма.

Співвідношення магнітних індукцій в зазорі центральної частини і робочої зони магнітопроводу знайдемо із умови неперервності магнітного потоку [2]:

$$B_u \cdot S_u = B_z \cdot S_z + B_n \cdot S_n,$$

де B_u - магнітна індукція в зазорі центральної частини магнітопроводу;

B_z - магнітна індукція в зазорі під зубцем робочої зони магнітопроводу;

B_n - магнітна індукція в зазорі під пазом робочої зони магнітопроводу;

S_u - площа поверхні, яка прилягає до зазору, центральної частини магнітопроводу;

S_z - сумарна площа поверхонь, які прилягають до зазору, зубців магнітопроводу;

S_n - сумарна площа поверхонь, обернених до зазору, пазів магнітопроводу.

Магнітний потік в центральній частині магнітопроводу повинен залишитись незмінним при переході на рівномірний зазор в робочій зоні магнітопроводу:

$$B_u S_u = B_0 (S_z + S_n), \text{ що дає } B_0 = \frac{B_u S_u}{S_z + S_n}. \text{ Якщо врахувати, що } B_n = k B_z,$$

де $0 < k < 1$, то можна записати $B_u S_u = B_z (S_z + k S_n)$.

Оскільки повітряний проміжок під зубцем і в центральній частині магнітопроводу однаковий, то ампервитки обмотки збудження електродинамічного гальма з феромагнітним ротором розподіляться пропорційно магнітним індукціям:

$$iW = d \left(\frac{B_u}{\mu_0} + \frac{B_z}{\mu_0} \right).$$

При переході до моделі електродинамічного гальма з рівномірним повітряним проміжком в робочій зоні магнітопроводу для величини еквівалентного повітряного зазору $d_{екв}$ справедливе аналогічне співвідношення:

$$iW = d \frac{B_u}{\mu_0} + d_{екв} \frac{B_0}{\mu_0}, \text{ звідси } d_{екв} = d \frac{B_z}{B_0} = d \frac{S_z + S_n}{S_z + k S_n}.$$

Таким чином, для визначення еквівалентної величини повітряного проміжку необхідно знайти відношення k середнього значення магнітної індукції навпроти паза до середнього значення магнітної індукції під зубцем.

При $k \approx 0$ $d_{екв} = d \left(1 + \frac{S_n}{S_z} \right)$, тобто, еквівалентний зазор при близьких

значеннях площ відповідних поверхонь зубців та пазів має такий же порядок, як і реальний зазор в електродинамічному гальмі.

Розташуємо вісь Oz циліндричної системи координат по осі обертання ротора електродинамічного гальма, а початок координат посередині ротора (рис.1).

Будемо розглядати магнітне поле в повітряному проміжку електродинамічного гальма при нерухомому роторі як суму хвиль магнітної

індукції, яка в повітряному проміжку має лише складову по координаті z . Припустимо, що ротор має однакові у всіх напрямках товщину Δ , магнітну проникність μ , електропровідність σ та діелектричну проникність ε . Внаслідок цього вихрові струми ротора, які виникають при його обертанні, не будуть змінювати гармонічний склад розподілу магнітної індукції, впливаючи лише на амплітуду та фазу кожної хвилі магнітної індукції результуючого поля.

Розглянемо в області зазору робочої зони довільну хвилю магнітної індукції B_{zv} з числом пар полюсів ν в системі координат z, ρ, φ_c , нерухомій відносно статора: $B_{zv} = B_{zav} \cos \nu \varphi_c$.

Амплітуда B_{za} хвилі магнітної індукції в повітряному зазорі в загальному випадку може залежати від координати ρ .

Для створення такої хвилі магнітної індукції в проміжку $d_{екв}$ на поверхні індуктора зі сторони повітряного проміжку повинні протікати поверхневі струми з лінійним навантаженням \bar{J}_ν , значення якого визначається законом повного струму

$$\bar{J}_\nu = J_{\nu\rho} \cdot \bar{1}_\rho + J_{\nu\varphi} \cdot \bar{1}_\varphi = \frac{d_{екв}}{\rho} \frac{\partial H_{zv}}{\partial \varphi_c} \cdot \bar{1}_\rho - d_{екв} \frac{\partial H_{zv}}{\partial \rho} \cdot \bar{1}_\varphi,$$

де $H_{zv} = \frac{1}{\mu_0} B_{zv}$ - напруженість магнітного поля в напрямку координати z для хвилі з числом пар полюсів ν в повітряному зазорі.

Таким чином, в системі координат нерухомій відносно статора:

$$J_{\nu\rho} = -\frac{\nu d_{екв}}{\mu_0 \rho} B_{zav} \sin \nu \varphi_c$$

$$J_{\nu\varphi} = -\frac{d_{екв}}{\mu_0} \frac{\partial B_{zav}}{\partial \rho} \cos \nu \varphi_c$$

При обертанні ротора в напрямку φ_c з кутовою швидкістю ω координата φ в системі координат, нерухомій відносно ротора, для фіксованої точки статора з координатою φ_c запишеться $\varphi = \varphi_c - \omega t$ при співпадінні систем координат при $t = 0$. Тоді складові лінійного навантаження в системі координат зв'язаній з ротором мають вигляд

$$J_{\nu\rho} = -\frac{\nu d_{екв}}{\mu_0 \rho} B_{zav} \sin \nu(\varphi + \omega t)$$

$$J_{\nu\varphi} = -\frac{d_{екв}}{\mu_0} \frac{\partial B_{zav}}{\partial \rho} \cos \nu(\varphi + \omega t).$$

Аналогічно, в системі координат ротора вираз для хвилі магнітної індукції буде $B_{zv} = B_{zav} \cos \nu(\varphi + \omega t)$.

Це магнітне поле є першопричиною виникнення вихрових струмів в дископодібному роторі. Описана модель є основою для постановки задачі визначення вихрових струмів у дископодібному роторі електродинамічного гальма при його обертанні в магнітному полі індуктора.

Список літератури

1. Циганкова Г. А. Електромагнітна модель електродинамічного гальма із зубцево-пазовою конфігурацією зазору індуктора. Праці Інституту електродинаміки НАН України, 2013. – В. 34. - С. 41-45.

2. Бойко В.С., Бойко В.В., Видолуб Ю.Ф., Курило І.А., Шеховцов В.І., Шидловська Н.А. Теоретичні основи електротехніки, т.3, Київ, 2013. 244 с.