

РОЗРАХУНОК ГУСТИНИ СТРУМІВ В ЕЛЕКТРОПРОВІДНОМУ РОТОРІ–ДИСКУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМА

Циганкова Ганна Анатоліївна,

к.т.н., доцент

Національний університет харчових технологій

м. Київ, Україна

tsgk.anna@gmail.com

Анотація: Представлено методику розрахунку густини струму в електропровідному роторі електродинамічного гальма дископодібної форми з зубцево-пазовим повітряним проміжком. Систему рівнянь електромагнітного поля в електропровідному середовищі приведено до рівнянь відносно компонент гармонічної складової густини струму і отримано її розв'язок для густини струму в дисковому роторі в залежності від його розмірів.

Ключові слова: Електромагнітне поле, густина струму, електродинамічне гальмо, електропровідний ротор.

Впровадження відновлюваної енергетики в сучасних умовах, використання, наприклад, енергії вітру, потребує вдосконалення існуючих електротехнічних пристроїв. Удосконалення сучасних вітроустановок малої потужності потребує вдосконалення систем регулювання обертів ротору. Моменти навантаження на роторі при раптовій зміні швидкості вітру визначаються з використанням гальмівного пристрою, вбудованого в корпус вітросилової установки. В якості гальмівного пристрою ротора вітросилової установки зручно використовувати дископодібне електродинамічне гальмо, яке має електропровідний диск, що може обертатися в підшипниках індуктора з осьовим зазором. Завдяки зменшеним розмірам в осьовому напрямку такого гальма, воно може бути закріплене безпосередньо на валу досліджуваного

двигуна. Створення електродинамічних гальмівних пристроїв та вирішення питань їхнього практичного застосування вимагає вдосконалення методів розрахунку електромагнітного поля та процесів, які пов'язані з його дією, розробки наукових засобів моделювання процесів у провідному середовищі – роторі, що обертається у неоднорідному магнітному полі, неоднорідність якого викликається спеціальною зубчато-пазовою конструкцією магнітної системи [1, с. 69]. Це дозволяє визначати оптимальні параметри поля та, зокрема, раціональні режими роботи електротехнічних пристроїв.

Метою роботи було знаходження аналітичного рішення розподілу густини струмів в електропровідному дисковому суцільному роторі електродинамічного гальма. Розглядається електродинамічне гальмо (рис.1) з електропровідним ротором-диском радіусу R і товщиною d_o , що обертається в повітряному проміжку навколо осі z з кутовою швидкістю ω на відстані $\frac{d_3}{2}$ від зубців магнітопроводу індуктора. Прийнято, що стаціонарне неоднорідне магнітне поле збуджується постійним струмом кільцевої обмотки індуктора із зубцево-пазовою робочою поверхнею.

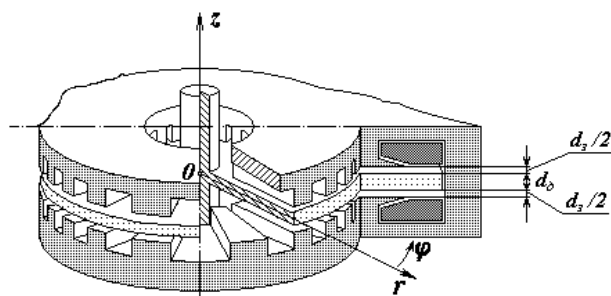


Рис.1. Схема електродинамічного гальма

Для знаходження аналітичного рішення розподілу густини струмів електропровідний диск умовно поділено на три зони: $r < r_1$ і $r_2 < r < R$, де відсутня неоднорідність магнітного поля, та робочу зону при $r_1 \leq r \leq r_2$, де магнітне поле неоднорідне (r_1 і r_2 - менший і більший радіуси робочої зони).

диску відповідно). Еквівалентний зазор $d_{екв}$ вважається відомим, індукція стаціонарного магнітного поля B_c в повітряному проміжку індуктора при нерухомому диску заданою. Компоненти векторів магнітної індукції B_r та напруженості магнітного поля H_r по координаті r відсутні і компоненти векторів напруженості електричного поля E_z та густини струму δ_z по координаті z відсутні. Магнітне поле є неоднорідним, періодичним по кутовій координаті.

Згідно з моделлю, викладеною у [2, с. 54], нерівномірний проміжок робочої зони магнітопроводу дископодібного електромагнітного гальма замінено рівномірним: зубцево-пазову поверхню індуктора замінено плоскою поверхнею з уявними поверхневими струмами, що обумовлюють неоднорідність магнітного поля (рис.2). При цьому уявні поверхневі струми адекватно відображають реальне магнітне поле з вибраним законом розподілу у вигляді функцій Бесселя для зручності [3, с. 41].

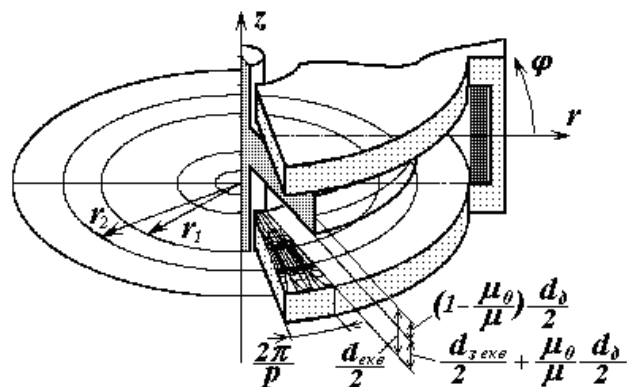


Рис.2. Модель електродинамічного гальма

Скористались символічною формою запису системи рівнянь Максвелла в електропровідному середовищі для гармонічних складових електромагнітного поля з числом пар полюсів p . Систему рівнянь зведено до рівняння відносно густини струму в циліндричній системі координат r, φ, z , і потім до системи трьох рівнянь відносно компонент $\delta_{pr}, \delta_{p\varphi}, \delta_{pz}$ гармонічної складової густини струму.

Розв'язок цієї системи $\dot{\delta}_p$ знаходиться у вигляді добутку двох функцій

$\dot{\delta}_p = \dot{\delta}_{повр} \cdot \dot{F}$, де $\dot{F}$ - безрозмірний коефіцієнт, що характеризує взаємодію змінного електромагнітного поля з електропровідним середовищем, а $\dot{\delta}_{повр} = (\dot{\delta}_{поврr}, \dot{\delta}_{повр\varphi}, \dot{\delta}_{поврz})$ - комплексна амплітуда гармонічної складової з числом пар полюсів p густини струму на боковій поверхні диску.

Вважаючи, що $\dot{\delta}_{поврz} = 0$ і використавши умову неперервності струму, систему зведено до рівняння відносно однієї компоненти гармонічної складової густини струму $\dot{\delta}_{поврr}$, яке є рівнянням в частинних похідних другого порядку з правою частиною. Знайдено частинний (на основі аналізу фізичних процесів в електропровідному середовищі) і загальний розв'язок цього рівняння і радіальну та кутову компоненти густини струму. В робочій зоні при $r_1 < r < r_2$ розв'язок має вигляд:

$$\dot{\delta}_{поврr} = \bar{\dot{\delta}}_{поврr} + \dot{\delta}_{поврr}^* = \dot{C}_1 r^{-1+p} + \dot{C}_2 r^{-1-p} + \frac{\sigma \omega \dot{B}_{cpz} r}{1 + Q(s + jm)r^2}$$

$$\dot{\delta}_{повр\varphi} = \frac{j}{p} \frac{\partial}{\partial r} (r \dot{\delta}_{поврr}) = \frac{j}{p} \frac{2\sigma \omega \dot{B}_{cpz} r}{(1 + Q(s + jm)r^2)^2} + j\dot{C}_1 r^{p-1} - j\dot{C}_2 r^{-(p+1)},$$

де $\dot{C}_1, \dot{C}_2$ - невідомі сталі, що знаходяться, виходячи із граничних умов на межах робочої зони, а сталі коефіцієнти Q, s, m залежать від параметрів магнітної системи.

Використання аналітичних співвідношень для характеристик електромагнітного поля дає можливість провести їх аналіз в залежності від розмірів та інших параметрів магнітної системи електродинамічного гальма. Отримані формули для розрахунку компонент густини струмів в дисковому роторі електродинамічного гальма дозволяють визначити гальмівний електромагнітний момент електродинамічного дископодібного гальма, виходячи із потужності втрат, що спрощує розрахунки.

Список літератури

1. Титко А.И. Метод расчета вихревых токов в проводящих телах / А.И. Титко, В.Л. Чечурин // Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт. – 1989. – №6. – С.69-74

2. Полищук В.И. Устройство защиты обмотки ротора синхронного генератора от двойных на землю и витковых замыканий / В.И. Полищук, А.Н. Новожилов, М.П. Воликова // Электричество. – 2012. – № 6. – С. 54-59.

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