

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМА ДИСКООПІДІБНОЇ ФОРМИ

Циганкова Г.А.

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

E-mail: tsgk.anna@gmail.com

Приведено розрахунок гальмівного електромагнітного моменту через потужність втрат від вихрових струмів в диску та порівняння з результатами розрахунку, зробленого по отриманих експериментально значеннях амплітуд гармонічних складових магнітної індукції в повітряному зазорі електродинамічного гальма.

Ключові слова: гальмівний електромагнітний момент, густина струму, магнітна проникність, втрати.

CALCULATION OF THE ELECTROMAGNETIC TORQUE OF THE DISC-SHAPED ELECTRODYNAMIC BRAKE

Tsygankova G.

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

E-mail: tsgk.anna@gmail.com

The calculation of the braking electromagnetic torque due to the power of losses from eddy currents in the disk and comparison with the results of the calculation made on the experimentally obtained values of the amplitudes of the harmonic components of magnetic induction in the air gap of the electrodynamic brake.

Keywords: braking electromagnetic torque, current density, magnetic permeability, losses.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Для випробувань електродвигунів з метою контролю їх якості необхідними бувають гальмівні пристрої для їх навантаження [1]. Серед таких пристроїв перспективними є дископодібні електродинамічні гальма, які мають просту конструкцію і технологію виготовлення. Для безпосереднього вимірювання одного із основних параметрів двигуна - обертового моменту - використовується електродинамічне гальмо, яке навантажує досліджуваний двигун гальмівним моментом і дозволяє виміряти величину цього моменту. Метою роботи є розрахунок гальмівного електромагнітного моменту електродинамічного гальма, виходячи з потужності втрат від вихрових струмів в диску.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. В електродинамічному гальмі вся підведена механічна енергія витрачається на покриття втрат в дисковому роторі та механічних втрат в підшипниках. Виходячи з цього, гальмівний електромагнітний момент знайдено через потужність втрат від вихрових струмів в диску. Втратами за межами робочої зони знехтували, оскільки в реальному електродинамічному гальмі за межами робочої зони стаціонарне магнітне поле не збуджується.

У кільцевому елементарному об'ємі дискового ротора розміром $2\pi r\delta r\delta z$, на відстані r та z від відповідних осей в тілі диску потужність втрат ∂P визначається квадратом діючого значення густини струму поділеному на електричну провідність і помножену на об'єм: $\partial P = \frac{1}{2\sigma} \delta_p \bar{\delta}_p$. Після перетворень та використання знайденого [2] значення густини струму δ_p , отримано

$$\partial P = \frac{\pi}{2\sigma} \left(\frac{Ar^2}{ar^4 + br^2 + 1} + \frac{1}{p^2} \frac{4Ar^2}{(ar^4 + br^2 + 1)^2} \right) \cdot \dot{F}(z) \cdot \bar{F}(z) \cdot 2r\delta r\delta z,$$

де

$$A = (\sigma\omega B_{cpz})^2; a = Q^2(s^2 + m^2); b = 2Qs; Q = \frac{2\mu_0}{p^2 \mu d_{екв}}$$
$$s = \frac{\left(1 - 2e^{-\frac{d_\delta}{u}} \sin\left(\frac{d_\delta}{u}\right) - e^{-2\frac{d_\delta}{u}} \right)}{1 + 2e^{-\frac{d_\delta}{u}} \cos\frac{d_\delta}{u} + e^{-2\frac{d_\delta}{u}}}, m = \frac{\left(1 + 2e^{-\frac{d_\delta}{u}} \sin\left(\frac{d_\delta}{u}\right) - e^{-2\frac{d_\delta}{u}} \right)}{1 + 2e^{-\frac{d_\delta}{u}} \cos\frac{d_\delta}{u} + e^{-2\frac{d_\delta}{u}}},$$

p – число пар полюсів робочої гармонічної складової магнітного поля в зазорі електродинамічного гальма;
 d_δ – товщина диску; $d_{екв}$ – еквівалентний зазор між сторонами індуктора електродинамічного гальма; μ_0 – магнітна проникність повітря; μ – магнітна проникність диску; σ – електропровідність матеріалу диску;

ω – кутова швидкість обертання диску; u – глибина проникнення змінного електромагнітного поля в матеріал диску; \dot{B}_{cpz} – гармонічна складова вектора магнітної індукції стаціонарного магнітного поля.

Знайдено потужність втрат в елементарному плоскому кільцевому об'ємі з розмірами внутрішнього радіусу r_1 , зовнішнього радіусу r_2 , товщиною ∂z : $\partial P_S = \int_{r_1}^{r_2} \partial P dr$. Проінтегрувавши потужність втрат по

всій товщині диску по осевій координаті від $z = -\frac{d_\partial}{2}$ до $z = \frac{d_\partial}{2}$, отримано значення потужності втрат по всій товщині робочої зони диску:

$$P = \frac{\pi A}{2\sigma} u \cdot m \cdot \left[\begin{aligned} & \frac{1}{2a} \ln \frac{ar_2^4 + br_2^2 + 1}{ar_1^4 + br_1^2 + 1} - \frac{2b}{\sqrt{4a - b^2}} \left(\frac{1}{2a} + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)} \right) * \\ & * \left(\operatorname{arctg} \frac{2ar_2^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} - \operatorname{arctg} \frac{2ar_1^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} \right) + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)} * \\ & * \left\{ \frac{br_1^2 + 2}{(ar_1^4 + br_1^2 + 1)} - \frac{br_2^2 + 2}{(ar_2^4 + br_2^2 + 1)} \right\} \end{aligned} \right].$$

Електромагнітний момент знайдено як частку від ділення потужності втрат на кутову швидкість $M_{em} = \frac{P}{\omega}$ та

з врахуванням співвідношень $\frac{\pi A u}{2\sigma} = \frac{\pi u}{2\sigma} (\sigma \omega B_{cpz})^2 = \frac{1}{2} \pi \sigma \omega^2 u B_{cpz}^2$:

$$M_{em} = \frac{\pi \sigma \omega B_{cpz}^2}{2} u m \cdot \left[\begin{aligned} & \frac{1}{2a} \ln \frac{ar_2^4 + br_2^2 + 1}{ar_1^4 + br_1^2 + 1} - \frac{2b}{\sqrt{4a - b^2}} \left(\frac{1}{2a} + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)} \right) * \\ & * \left(\operatorname{arctg} \frac{2ar_2^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} - \operatorname{arctg} \frac{2ar_1^2 + b}{\sqrt{4a - b^2}} \right) + \\ & + \frac{4}{p^2} \frac{1}{(4a - b^2)} * \left\{ \frac{br_1^2 + 2}{(ar_1^4 + br_1^2 + 1)} - \frac{br_2^2 + 2}{(ar_2^4 + br_2^2 + 1)} \right\} \end{aligned} \right].$$

Проведено порівняння з результатами розрахунку гальмівного електромагнітного моменту, зробленого по отриманих експериментально [3] значеннях амплітуд гармонічних складових магнітної індукції в повітряному зазорі електродинамічного гальма.

ВИСНОВКИ. Отримана формула для наближеного розрахунку моменту електродинамічного гальма дає можливість розрахувати електромагнітний момент в залежності від параметрів матеріалу диску та розмірів його активної частини. Порівняння значень електромагнітного моменту, розрахованих за отриманою формулою, і експериментальних даних електромагнітного моменту показує задовільне співпадіння. Відхилення експериментальних значень від розрахованих не перевищує 10%.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потапов, Л.А. Измерение вращающих моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей: учеб. пособ. / Л.А. Потапов, Ф.М. Юферов. – М.: "Энергия", 1974. – 128 с.
2. Циганкова Г.А. Методика розрахунку розподілу густини струмів в дисковому роторі електродинамічного гальма // Науково-прикладний журнал «Відновлювана енергетика», № 4 (55). - 2018. - С.53-63
3. Циганкова Г.А. Експериментальне дослідження магнітного поля в дископодібному електродинамічному гальмі // Збірник „Праці Інституту електродинаміки НАН України”, №2(17). - 2007. - С.112-116.