ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАННЯ МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНОГО ГАЛЬМА

Циганкова Ганна Анатоліївна,
кандидат технічних наук,
доцент кафедри вищої математики ім. проф. В.І. Можара
Національний університет харчових технологій, Україна
tsgk.anna@gmail.com

Однією із задач експериментального дослідження електромагнітного поля в робочій зоні електродинамічного гальма є дослідження залежності електромагнітного моменту електродинамічного гальма від частоти обертання.

Розроблений стенд для дослідження залежності гальмівного електромагнітного моменту електродинамічного гальма від частоти обертання має закріплений на стійці *5* двигун *6* з горизонтальною віссю обертання. На валу двигуна закріплено консольно дисковий ротор електродинамічного гальма. Індуктор гальма може вільно повертатись в підшипниках навколо осі обертання валу двигуна з дисковим ротором. Зверху на корпусі електродинамічного гальма закріплена стрілка *4* для відліку кута повороту. Знизу корпусу закріплені противаги для врівноважування електродинамічного моменту гальма (Рис.1).

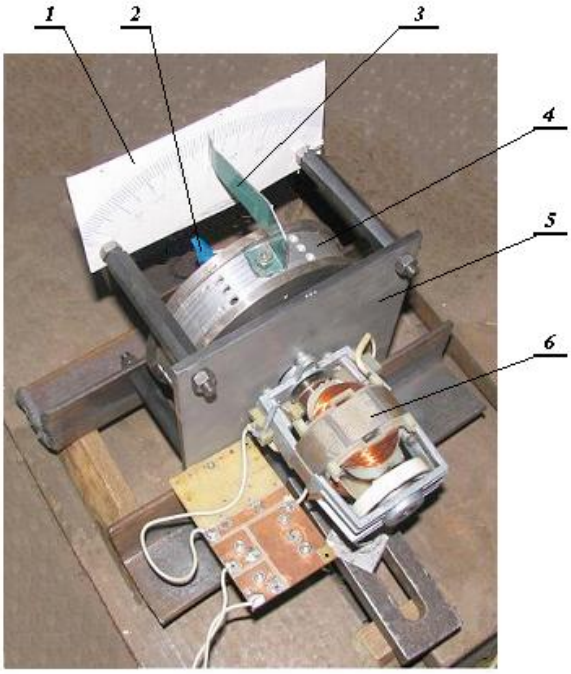

Рис. 1. Стенд для дослідження механічних характеристик.
1 – шкала; *2* – вал із закріпленими виводами вимірювальних витків;
3 – стрілка; *4* – корпус; *5* – стійка; *6* - двигун

Момент, прикладений до індуктора електродинамічного гальма, пропорційний синусу кута повороту стрілки *3:* $M = C_M \sin\alpha$.

Для визначення коефіцієнта пропорційності поверх корпусу діаметром 150 мм перекидалась закріплена на ньому нитка з підвішеним вантажем відомої ваги P_i. При цьому стрілка відхилялась на кут φ_i.

Коефіцієнт пропорційності знаходився як середнє арифметичне коефіцієнтів по n вимірах $C_M = \dfrac{\sum_{i=1}^{n} \dfrac{P_i \cdot R \cdot g}{\sin\varphi_i}}{n}$, де $R = 7.5 \cdot 10^{-2}$ *м* – радіус корпусу; g – прискорення земного тяжіння, по методиці обчислення результатів сумісних вимірювань [1-2]. Шкала для вимірювання кута повороту була рівномірною, з ціною поділки 1^0.

В таблиці 1 приведено результати дослідження залежності $M = C_M \sin\alpha$ між моментом та кутом повороту статора, при якому здобуто шість пар значень M_j та α_j для різних варіантів гальма.

Таблиця 1

Результати спостереження моменту та кута повороту для чотирьох варіантів електродинамічного гальма

j	α_j, *град*				M_j, *Нм*
	b_n =10 *мм*	$b_n = b_z$	b_n =13,6 *мм*	b_n =1,7 b_z	
1	8	6	4	5	$1{,}62*10^{-2}$
2	14	11	9	8	$2{,}80*10^{-2}$
3	23	19	13	13	$4{,}64*10^{-2}$
4	29	24	16	17	$5{,}74*10^{-2}$
5	34	30	19	20	$6{,}92*10^{-2}$
6	41	35	22	23	$7{,}95*10^{-2}$

Система умовних рівнянь для ширини паза b_n =10 *мм* матиме такий вигляд:

$$C_M \sin(8*\pi/180) - 1{,}62*10^{-2} = \nu_1,\ C_M \sin(14*\pi/180) - 2{,}80*10^{-2} = \nu_2,$$

$$C_M \sin(23*\pi/180) - 4{,}64*10^{-2} = \nu_3,\ C_M \sin(29*\pi/180) - 5{,}74*10^{-2} = \nu_4,$$

$$C_M \sin(34*\pi/180) - 6{,}92*10^{-2} = \nu_5,\ C_M \sin(41*\pi/180) - 7{,}95*10^{-2} = \nu_6.$$

Обчисливши значення коефіцієнта b_{11} : $b_{11}=\sum_{j=1}^{6}a_{j1}^2=1{,}208717$ і вільного члена $c_1 : c_1=\sum_{j=1}^{6}a_{j1}M_j=0{,}145839256$ (тут a_{j1}- коефіцієнт при невідомій C_M у відповідному j-тому рівнянні), знаходимо найдостовірніше значення $\overline{C}_M$: $\overline{C}_M=\frac{c_1}{b_{11}}=0{,}120656$.

Оцінюємо точність цих результатів: ν_1=5,92E-04, ν_2=1,19E-03, ν_3=7,44E-04, ν_4=1,10E-03, ν_5= -1,73E-03, ν_6= -3,42E-04, обчислюємо суму квадратів залишкових похибок $\sum_{j=1}^{6}\nu_j^2$=6,62841E-06 та середньоквадратичні відхилення:

$$S_{\overline{C}_M}=\frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{\sum_{j=1}^{6}\nu_j^2}=0{,}001051.$$

Надійні межі ε випадкової складової похибки добутих результатів $\overline{C}_M$ обчислюються за формулою: $\varepsilon=t_\gamma S_{\overline{C}_M}$. Значення коефіцієнту надійності t_γ для ймовірності P=0,95 знаходимо з таблиці дод. 6 [1]: t_γ=2,571 ; ε=0,002702$\approx$ 0,003. Тоді C_M=0,121$\pm$0,003. Аналогічно, склавши умовні рівняння, знайдемо C_M для інших варіантів електродинамічного гальма:

при $b_n=b_z$ $\overline{C}_M$=0,14000322; ε=0,002628$\approx$0,003, а C_M=0,140$\pm$0,003;

при b_n=13,6*мм* $\overline{C}_M$=0,20902891; ε=0,005542$\approx$0,006, а C_M=0,209$\pm$0,006;

при b_n=1,7b_z $\overline{C}_M$=0,20166384; ε=0,002561$\approx$0,003, а C_M=0,202$\pm$0,003.

Таблиця 2

Результати розрахунку похибки вимірювання моменту

№ вар.	C_M	ΔC_M	α	$\Delta\alpha$	M, *mHм*	ΔM, *mHм*	%	δ%
1	0,121	0,003	45	2	85,559921	5,128	5,843858	6
2	0,140	0,003	45	2	98,994949	5,589	6,060915	6
3	0,209	0,006	45	2	147,785317	9,456	6,089915	6
4	0,202	0,003	45	2	142,83557	7,092	4,90074	5

Похибка вимірювання моменту визначається, окрім похибки визначення коефіцієнта пропорційності C_M, похибкою виготовлення шкали та вимірювання кута. Приймемо, що точність виготовлення шкали та зчитування значень кута не перевищує 2^0. Величину найбільшої абсолютної похибки вимірювання моменту можна розрахувати за формулою

$\Delta M = (C_M + \Delta C_M)\sin(\alpha + \Delta\alpha) - C_M \sin\alpha$ для кінцевого значення діапазону вимірювання $\alpha = 45^0$. Результати розрахунку приведено в таблиці 2.

Абсолютна похибка вимірювання розраховується за формулою $\Delta X = \frac{\delta\%}{100} X$. Для найбільшого виміряного значення моменту 92 *тНм* при b_n=1,7b_z абсолютна похибка становить 5,52 $\approx$6 *тНм*.

Таким чином, для перших трьох варіантів гальма (b_n=10 *мм*, b_n = b_z, b_n =13,6 *мм*) розширена невизначеність, що відповідає рівню довіри *P=1*, становить 6%, а для четвертого (при b_n=1,7b_z) 5%.

Список літератури

1. Головко Д.Б., Рего К.Г., Скрипник Ю.О. Основи метрології та вимірювань. Київ, 2001. 408с.
2. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А. Невизначеність вимірювання. Обробка даних і подання результату вимірювання. Київ, 2002. 176с.