

УДК 621.313:681.518.54

Поджаренко Володимир Олександрович, Кучерук Володимир Юрійович

## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

### Аннотація

У статті розглядаються питання, пов'язані з розробкою засобів вимірювання механічних характеристик електричних машин. Розроблений новий спосіб визначення моменту інерції, моменту механічних втрат та електромагнітного моменту, запропонована структурна схема інформаційно-вимірювальної системи для його реалізації.

### Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой средств измерения механических характеристик электрических машин. Разработан новый способ определения момента инерции, момента механических потерь и электромагнитного момента, предложена структурная схема информационно-измерительной системы для его реализации.

### Annotation

In article the questions for elaboration measurement's means of mechanical characteristics of electrical machines has been viewed. New method of measuring of inertia moment, mechanical loss moment and electromagnetic moment, the structural scheme of information-measuring system for realization of his were proposed.

Однією із найбільш трудомістких операцій випробовування електричних машин (ЕМ) є визначення механічної характеристики – залежності між моментом на валу двигуна  $M$  та кутової швидкості  $\omega_r$

$$M(\omega_r) = J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + M_0, \quad (1)$$

основними складовими якої є момент механічних втрат  $M_0$  та момент інерції  $J$ . Механічна характеристика є надзвичайно інформативною, за нею можна визначати такі параметри ЕМ, як пусковий момент, мінімальний момент, максимальний момент, критичний момент, номінальний момент. Крім того, за провалами на механічній характеристиці можна аналізувати стан ізоляції ЕМ. Але, незважаючи на це,

вона із-за відсутності необхідних засобів вимірювання (ЗВ) на заводах електротехнічної промисловості часто не визначається.

Основні вимоги, що висуваються до ЗВ механічних характеристик, такі: висока точність (2.5-3%), розрізнявальна здатність, простота конструкції, малий час вимірів та обробки результатів.

ЗВ механічних характеристик, які використовуються нині, в принципі не забезпечують всі перераховані вимоги, тому що більшість із них працює в статичному режимі роботи ЕМ. ЗВ механічних характеристик, які працюють в динамічному режимі, допускають, що момент механічних втрат  $M_0$  постійний, коли в дійсності він є функцією від кутової швидкості, а момент інерції  $J$  визначається іншими ЗВ, і на це затрачується багато часу. Це є також причиною додаткових похибок (1.5-2%) при визначенні механічної характеристики. Таким чином, виникає необхідність більш точного і автоматизованого вимірювання  $J$  та  $M_0$  при визначенні МХ, а також інформаційно-вимірювальної системи (ІВС) механічних характеристик з покращеними метрологічними показниками.

Авторами розроблений спосіб для визначення  $J$ ,  $M_0$  механізмів [1]. На базі цього способу запропонований спосіб визначення механічної характеристики, в якому  $M_0$  визначається в функції кутової швидкості. Суть його полягає у наступному.

Необхідною передумовою способу є наявність двох зразків моменту інерції, виконаних у вигляді тіл обертання, наприклад, дисків чи циліндрів. Моменти інерції зразків вираховують здалегідь по їх геометричним та ваговим параметрам.

На вихідний кінець валу ЕМ встановлюють перший зразок моменту інерції і вмикають ЕМ в мережу. Під час протікання перехідного процесу реєструють кутову швидкість  $\omega_r$ ; по закінченні перехідного процесу ЕМ вимикають і в процесі його самогальмування також реєструють кутову швидкість  $\omega_r$ .

Коли ЕМ зупиниться, знімають перший зразок моменту інерції і так само встановлюють другий зразок.

Із ЕМ, з'єднаною з другим зразком моменту інерції, проводять такі самі процеси розгону і самогальмування, як і випадку з першим зразком та реєструють аналогічні параметри.

Рівняння руху ЕМ відповідно з першим і другим зразками будуть мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{EM}(\omega_r) = M_0(\omega_r) + M_{IBC}(\omega_r) + [J(\omega_r) + J_{IBC}(\omega_r) + J_{31}(\omega_r)] \varepsilon_{П1}(\omega_r); \\ 0 = M_0(\omega_r) + M_{IBC}(\omega_r) + [J(\omega_r) + J_{IBC}(\omega_r) + J_{31}(\omega_r)] \varepsilon_{Г1}(\omega_r); \\ M_{EM}(\omega_r) = M_0(\omega_r) + M_{IBC}(\omega_r) + [J(\omega_r) + J_{IBC}(\omega_r) + J_{32}(\omega_r)] \varepsilon_{П2}(\omega_r); \\ 0 = M_0(\omega_r) + M_{IBC}(\omega_r) + [J(\omega_r) + J_{IBC}(\omega_r) + J_{32}(\omega_r)] \varepsilon_{Г2}(\omega_r), \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $M_{EM}$  - динамічний електромагнітний момент;  $M_0$  - момент механічних втрат ЕМ;  $M_{IBC}$  - момент механічних втрат ІВС;  $J$  - момент інерції ротору ЕМ;  $J_{IBC}$  - момент інерції вхідного валу ІВС;  $J_{31}$  - момент інерції першого зразку;  $J_{32}$  - момент інерції другого зразку;  $\varepsilon_{П1}$  - кутове прискорення розгону ЕМ з першим зразком;  $\varepsilon_{Г1}$  - кутове прискорення самогальмування ЕМ з другим зразком;  $\varepsilon_{П2}$  - кутове прискорення розгону ЕМ з другим зразком;  $\varepsilon_{Г2}$  - кутове прискорення самогальмування ЕМ з другим зразком.

При цьому відмітимо, що всі вищеперераховані величини представлені в функції кутової швидкості  $\omega_r$ .

Здійснення двох експериментів є методичною основою запропонованого методу і дозволяє з використанням (2) скласти і вирішити систему з трьох рівнянь з трьома невідомими  $M_{em}$ ,  $M_o$ ,  $J$ .

Запишемо систему (2), перенісши невідомі в ліві частини рівнянь і опустивши для зручності запис кутової швидкості:

$$\begin{cases} M_{em} - M_o - J\varepsilon_{п1} = (J_{iвс} + J_{з1})\varepsilon_{п1} + M_{iвс}; \\ - M_o - J\varepsilon_{г1} = (J_{iвс} + J_{з1})\varepsilon_{г1} + M_{iвс}; \\ M_{em} - M_o - J\varepsilon_{п2} = (J_{iвс} + J_{з2})\varepsilon_{п2} + M_{iвс}; \\ - M_o - J\varepsilon_{г2} = (J_{iвс} + J_{з2})\varepsilon_{г2} + M_{iвс}. \end{cases} \quad (3)$$

Оскільки  $J_{iвс} \ll J$  та  $M_{iвс} \ll M_o$ , то значеннями  $J_{iвс}$ ,  $M_{iвс}$  можна знехтувати. Тоді система (3) запишеться:

$$\begin{cases} M_{em} - M_o - J\varepsilon_{п1} = J_{з1}\varepsilon_{п1}; \\ - M_o - J\varepsilon_{г1} = J_{з1}\varepsilon_{г1}; \\ M_{em} - M_o - J\varepsilon_{п2} = J_{з2}\varepsilon_{п2}; \\ - M_o - J\varepsilon_{г2} = J_{з2}\varepsilon_{г2}. \end{cases} \quad (4)$$

Прийmemo  $J_{з1}=0$ ,  $J_{з2}=J_з$ . Тоді, вирішивши спільно друге і четверте рівняння системи (3.20), отримаємо:

$$M_o = \frac{\varepsilon_{г1}\varepsilon_{г2}J_з}{\varepsilon_{г2} - \varepsilon_{г1}}; \quad J = \frac{J_з\varepsilon_{г2}}{\varepsilon_{г2} - \varepsilon_{г1}}. \quad (5)$$

Взагалі, для визначення невідомих, можна брати комбінацію ізлюбих трьох рівнянь системи (4). Це визначається умовами проведення вимірювань. У даному випадку вибір другого і четвертого рівнянь системи (4) для знаходження  $M_o$  та  $J$  обумовився тими обставинами, що в процесі самогальмування електродвигуна знеш-

коджується вплив нестабільності напруги та частоти мережі на результати вимірювань  $M_0$  та  $J$ .

Електромагнітний момент  $M_{ем}$  визначиться із першого рівняння системи (4):

$$M_{ем} = J_3 \epsilon_{п1} + \frac{\epsilon_{Г1} \epsilon_{Г2} J_3}{\epsilon_{Г2} - \epsilon_{Г1}} - \frac{J_3 \epsilon_{Г2}}{\epsilon_{Г2} - \epsilon_{Г1}} \epsilon_{п1}. \quad (6)$$

Відмітимо, що  $M_{ем}$  - це динамічний електромагнітний момент без врахування моменту опору  $M_0$ . Повний динамічний момент  $M_d$  визначиться як  $M_{ем} + M_0$ .

Запропонований спосіб дає змогу визначати не тільки механічну характеристику  $M_{ем}=f(\omega_r)$ , а й інші характеристики ЕМ в динамічному режимі його роботи: електромагнітна механічна характеристика  $M_d=f(\omega_r)$ , залежність моменту опору ротору ЕМ від кутової швидкості  $M_0=f(\omega_r)$ , момент інерції ротору ЕМ  $J$  та інші, необхідні для дослідників ЕМ, характеристики. Це дає змогу суттєво розширити область використання запропонованого способу. Для його реалізації ІВС необхідна вмещувати у собі канал вимірювання кутової швидкості в режимах пуску та самогальмування ЕМ.

Основними елементами каналу вимірювання кутової швидкості (рис. 1) є: об'єкт вимірювання (ОВ), муфта спряження (МС), зразок моменту інерції (ЗМІ), сенсор кутової швидкості (СКШ) та вимірювальна схема. Основні технічні характеристики ІВС наведені в таблиці.

Таким чином, реалізована ІВС механічних характеристик дозволила в автоматизованому режимі провести експериментальні дослідження (рис. 2), в результаті яких встановлено: тривалість вимірю-



вань з урахуванням часу обробки результатів вимірювань не перевищує 5 хв. Більша частина часу (~4 хв.) припадає на згладжування та диференціювання  $\omega_r$ ; реалізація тестового режиму дозволила постійно контролювати похибки каналу вимірювання кутової швидкості.

Таблиця

Основні технічні характеристики ІВС МХ

№	Назва характеристики	Значення
1	<u>Швидкість обертання:</u> Нижня межа вимірювання Верхня межа вимірювання Зведена похибка	3 рад/с 314 рад/с $\leq 1.5\%$
2	<u>Момент інерції:</u> Нижня межа вимірювання Верхня межа вимірювання Зведена похибка	0.000275 кг·м <sup>2</sup> 0.003000 кг·м <sup>2</sup> $\leq 1.5\%$
3	<u>Динамічний момент:</u> Нижня межа вимірювання Верхня межа вимірювання Зведена похибка	30 Н·м 0 Н·м $\leq 2.5\%$
4	Кількість вимірюваних значень	1000
5	Час вимірювання	5 хв.

### Література

1. Кучерук В.Ю., Поджаренко В.А., Гоменюк А.С. Спосіб визначення приведенного моменту інерції механізмів і пристрій для його реалізації. // Позитивне рішення про видачу патенту України за заявкою №93040377 від 23.01.95р.

*Вінницький державний технічний університет*

1. Кучерук В.Ю., Поджаренко В.О., Гоменюк А.С. Спосіб визначення приведенного моменту інерції механізмів і пристрій для його реалізації // Позитивне рішення про видачу патенту України за заявкою №93040377 від 23.01.95р.