

# ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНА З ГАЗОМАГНІТНИМ ПІДВІСОМ РОТОРА

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;

## Анотація

Запропоновано інформаційно-вимірювальну систему параметрів електродвигуна з газоманітним підвісом ротора. У системі використовується тахометричний перетворювач, вихідний сигнал якого прямо пропорційний куту повороту валу електродвигуна. Завдяки такому рішенню існує можливість вимірювання кута повороту валу у статичному режимі, та визначення амплітуди крутильних коливань ротора з метою вимірювання зведеного моменту інерції ротора.

**Ключові слова:** газоманітний підвіс, тахометричний перетворювач, інформаційно-вимірювальна система.

## Abstract

The information-measuring system of the electric motor with a rotor gas-magnetic suspension parameters is offered. The system uses a tachometric converter, the output signal of which is directly proportional to the angle of motor shaft rotation. Thanks to this solution, it is possible to measure the angle of the shaft rotation in static mode, and determine the amplitude of the rotor torsional vibrations in order to measure the moment of inertia of the rotor.

**Keywords:** gas-magnetic suspension, tachometer converter, information-measuring system.

## Вступ

В теперішній час, завдяки досягненням мікропроцесорної та вимірювальної техніки [1], стало можливим використовувати автоматичні пристрої та системи для контролю різноманітних параметрів електродвигунів як в процесі їх виготовлення, так і під час їх експлуатації [2, 3]. В інформаційному забезпеченні систем контролю і управління якістю значна роль відводиться проведенню контрольно-вимірювальних, випробних та діагностичних робіт. Ці роботи спрямовані на отримання та використання інформації про показники надійності та якості електродвигунів [4]. Тому підвищення продуктивності праці шляхом вдосконалення засобів контролю та нових інформаційно-вимірювальних систем є важливим та актуальним завданням.

## Основна частина

У запропонованій інформаційно-вимірювальній системі використовується тахометричний перетворювач, вихідний сигнал якого прямо пропорційний куту повороту валу електродвигуна [5]. Такий перетворювач має низькочастотний вихідний сигнал, та завдяки відповідним схмотехнічним рішенням забезпечується зменшення похибки, яка зумовлена неточністю виконання модулятора та діафрагми. Вал електродвигуна з газоманітним підвісом, за допомогою муфти спряження з'єднується з валом тахометричного перетворювача. Необхідно використовувати муфту типу «сильфон», яка має велику жорсткість до обертового моменту та дозволяє зменшити похибки, зумовлені ексцентриситетом спряжених кінематичних пар. Вихідний сигнал тахометричного перетворювача надходить на вхід АЦП, який запускається імпульсами високостабільного генератора, частота якого відома з високою точністю, який може бути керованим. По закінченню перетворення код, відповідний миттєвому значенню вихідного сигналу перетворювача, за сигналом готовності АЦП, передається через порт введення-виведення до мікроконтролера, який забезпечує цифрову обробку даних. У разі необхідності вимірювання та контролю залежності кутової швидкості або кута повороту від часу, поточний час розраховується програмно за виразом

$$t_i = (N_{\Pi} - 1) \cdot T_G, \quad (1)$$

де  $N_{\Pi}$  - число зафіксованих перетворень АЦП;  $T_G$  - період вихідного сигналу генератора, що запускає АЦП.

Розрізнявальна здатність пристрою за кутом повороту залежить від кількості розрядів АЦП та при використанні ТП з низькочастотним вихідним сигналом визначається виразом

$$\varphi_0 = \begin{cases} (2\pi - \beta)U_{2\text{MAX}}/2^n (U_{2\text{MAX}} - U_{2\text{MIN}}), & \text{при } U_C = 0, \\ \beta U_{2\text{MAX}}/2^n (U_{2\text{MAX}} - U_{2\text{MIN}}), & \text{при } U_C = 1 \end{cases}, \quad (2)$$

де  $\varphi_0$  - розрізнявальна здатність за кутом повороту;  $n$  - кількість двійкових розрядів АЦП;  $U_{2\text{MAX}}$ ,  $U_{2\text{MIN}}$  - максимальне та мінімальне значення вихідної напруги тахометричного перетворювача.

Миттєва кутова швидкість прямо пропорційна першій похідній вихідної напруги тахометричного перетворювача, тобто виникає необхідність диференціювання. В запропонованій системі використовується диференціатор першого типу [6], який менш завадостійкий у порівнянні з іншими типами, але реагує на менші дискретні значення кута повороту. Для обчислення кутової швидкості, значення вихідного сигналу диференціатору помножується на коефіцієнт  $2r^2/S_{10}R_{33}a\beta$ , який розраховується або визначається експериментально під час повірки.

Непряме визначення моменту інерції через вимірювання амплітуди крутильних коливань дає можливість автоматизувати цей процес. Розглянемо рис. 1, на якому наведено залежності кута повороту від часу при постійному значенні кутової швидкості та відсутності крутильних коливань  $\varphi_C(t)$  та при наявності крутильних коливань  $\varphi(t)$ .

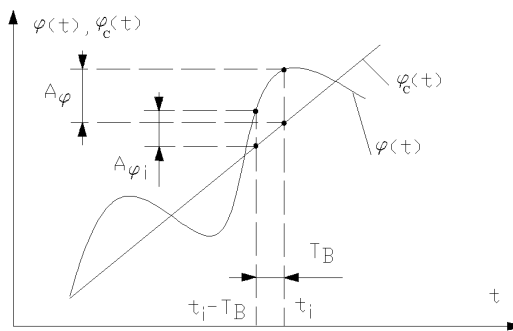


Рисунок 1 - До визначення моменту інерції ротору

Залежність кута повороту від часу в усталеному режимі роботи можна записати у вигляді

$$\varphi(t) = \varphi_C(t) + \varphi_K(t) = \omega_C t + \varphi_K(t), \quad (3)$$

де  $\omega_C$  - середнє значення кутової швидкості.

Значення тангенсу кута нахилу прямої  $\varphi_C(t)$ , який дорівнює середньому значенню кутової швидкості, визначається шляхом багаторазових визначень миттєвого значення кута повороту та послідовного знаходження середньоарифметичного значення похідної сигналу при роботі об'єкту в усталеному режимі. Середнє значення кутової швидкості визначається виразом

$$\omega_C = \frac{1}{nT_B} \sum_{i=0}^n (\varphi(t_i) - \varphi(t_i - T_B)), \quad (4)$$

де  $n$  - кількість визначених значень кутової швидкості;  $T_B$  - крок дискретизації.

Складова  $\varphi_K(t)$  має коливальний характер та залежить від наступних причин: змінні електромагнітні сили в об'єкті контролю, несінусоїдальності розподілу магнітної індукції вздовж зазору, нерівномірності магнітної провідності вздовж осей; змінні механічні сили в об'єкті контролю. Для електродвигунів з газоманітним підвісом кінцевого ротору, домінуючою причиною, що обумовлює виникнення крутильних коливань є дисбаланс ротору. У цьому випадку, при умові знехтування іншими причинами виникнення крутильних коливань, вираз (3) приймає вигляд

$$\varphi(t) = \varphi_C(t) + \varphi_K(t) = \omega_C t + A_\varphi \sin 2\omega t, \quad (5)$$

Величина  $A_{\varphi_i}$ , яка дорівнює різниці між значеннями кута повороту з урахуванням крутильних коливань та без їх урахування, визначається виразом

$$A_{\varphi_i}(t_i) = \varphi(t_i) - \varphi_0(t_i) = \varphi(t_i) - \omega_C t_i = \varphi(t_i) - \frac{t_i}{nT_B} \sum_{i=0}^n (\varphi(t_i) - \varphi(t_i - T_B)). \quad (6)$$

Для знаходження амплітуди крутильних коливань доцільно скористатись сплайн-інтерполяцією з послідовним знаходженням середнього значення максимумів та мінімумів інтерполяційного сплайну.

Позначимо інтерполяційний сплайн через  $P_{\text{Аф}}(t)$ . Тоді амплітуда крутильних коливань визначається як середнє арифметичне модулів максимумів та мінімумів інтерполяційного сплайну

$$A_{\phi} = \left( \frac{1}{K_{\text{MAX}}} \sum_{i=1}^{K_{\text{MAX}}} \max P_{\text{Аф}}(t) + \frac{1}{K_{\text{MIN}}} \sum_{i=1}^{K_{\text{MIN}}} \left| \min P_{\text{Аф}}(t) \right| \right) / 2, \quad (7)$$

де  $K_{\text{MAX}}$ ,  $K_{\text{MIN}}$  - кількість максимумів та мінімумів інтерполяційного сплайну.

Завдання знаходження максимумів та мінімумів інтерполяційного сплайну легко розв'язується чисельними методами.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Поджаренко, В. О. Програмування логічних контролерів Schneider Electric : навч. пос. / В. О. Поджаренко, В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 132 с.
2. Podzharenko, V. A. Photoelectric angle converter : Selected papers from the international conference on optoelectronic information technologies / V. A. Podzharenko, P. I. Kulakov // International conference on optoelectronic information technologies, vol. 4425. – Vinnitsa, Ukraine : VSTU, 2001. – P. 452 – 456, DOI: 10.1117/12.429768
3. Поджаренко, В. О. До питання вибору форми модулятора тахометричного перетворювача / В. О. Поджаренко, В. М. Міхалевич, П. І. Кулаков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - № 1. - с. 12-18.
4. Кучерук, В. Ю. Підхід до критеріального оцінювання ступеню відхилення від норми стану об'єкта / В. Ю. Кучерук, П. І. Кулаков, О. Б. Іванець, А. П. Кулакова // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. - 2020. - № 2. - с. 10 - 15. - DOI: 10.31891/2219-9365-2020-66-2-2
5. Поджаренко, В. О. До питання вибору форми модулятора тахометричного перетворювача / В. О. Поджаренко, В. М. Міхалевич, П. І. Кулаков // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1998. - № 1. - с. 12-18.
6. Поджаренко, В. О. Пристрій для вимірювання і контролю кутової швидкості та кута повороту / В. О. Поджаренко, П. І. Кулаков, А. В. Поджаренко, С. А. Шаргородський, Є. В. Почверук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. - № 2. - с. 45 - 50.

**Кучерук Володимир Юрійович** — докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: vladimir.kucheruk@gmail.com

**Кулаков Павло Ігорович** — докт. техн. наук, професор кафедри метрології та промислової автоматики, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kulakovpi@gmail.com

**Кулакова Анна Павлівна** — студент групи КІВТ-21м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: anna.kulakova1735@gmail.com

**Kucheruk Volodymyr Y.** - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of Department of Metrology and Industrial Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladimir.kucheruk@gmail.com

**Kulakov Pavlo I.** - Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Metrology and Industrial Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kulakovpi@gmail.com

**Kulakova Anna P.** - student of KIVT-21m group, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: anna.kulakova1735@gmail.com