



УКРАЇНА

(19) UA (11) 27658 (13) U
(51) МПК (2006)
G01L 3/10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ РОТОРА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН

1

2

(21) u200707208

(22) 26.06.2007

(24) 12.11.2007

(72) ВЕДМІЦЬКИЙ ЮРІЙ ГРИГОРОВИЧ, UA,
КУХАРЧУК ВАСИЛЬ ВАСИЛЬОВИЧ, UA

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ, UA

(56)

(57) Спосіб вимірювання моменту інерції ротора електричних машин шляхом вимірювань в режимі самогальмування з зразковим моментом інерції та без нього, який відрізняється тим, що вимірюють проміжки часу з моменту знеструмлення електромеханічної системи до моменту досягнення ротором заздалегідь заданої кутової швидкості, за результатами часових вимірювань

знаходять значення моменту інерції ротора об'єкта вимірювання за формулою:

$$J_{\text{об}} = J_{\text{зр}} \frac{t_2}{t_1 - t_2},$$

де $J_{\text{об}}$ - момент інерції об'єкта вимірювання;

$J_{\text{зр}}$ - зразковий момент інерції;

t_1 - проміжок часу в режимі самогальмування з зразковим моментом інерції;

t_2 - проміжок часу в режимі самогальмування без зразкового моменту інерції.

Корисна модель належить до вимірювальної техніки і може знайти застосування для вимірювання моменту інерції ротора електричних машин. Відомий спосіб визначення моменту інерції ротора електричних машин - спосіб крутильних коливань [див. Потапов Л.А., Зотин В.Ф. Испытания микроэлектродвигателей в переходных режимах. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - С.87-90]. Суть способу полягає в тому, що в двох дослідах: першому - зі зразковим моментом інерції, а в другому - з ротором, проводять вимірювання періодів T_1 і T_2 малих крутильних коливань ротора двигуна, який знаходиться у вертикально підвішеному на сталевому дроті положенні та здійснює попередньо наданий йому самогальмівний крутильний коливальний рух. Визначають момент інерції ротора $J_{\text{об}}$ за формулою:

$J_{\text{об}} = J_{\text{зр}} \frac{T_2}{T_1},$	(1)
--	-----

де $J_{\text{зр}}$ - момент інерції зразкового тіла, T_1 - період коливань зразкового тіла, T_2 - період коливань ротора, момент інерції якого визначають.

Суттєвими недоліками цього способу є велика трудомісткість, низька швидкодія та руйнівний

підхід, що унеможливорює автоматизацію процесу визначення моменту інерції.

Найбільш близьким технічним рішенням є спосіб вимірювання моменту інерції електричних машин [див. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Гоменюк А.С. Новий спосіб визначення моменту інерції електричних машин // Автоматизація технологічних процесів та промислової екологія, 1997, випуск №1. - С.23-27]. Суть способу полягає в тому, що проводять вимірювання кутових прискорень ξ_1 та ξ_2 ротора з моменту знеструмлення електромеханічної системи до моменту досягнення ротором заздалегідь заданої кутової швидкості $\omega_{\text{в}}$ двох дослідах: першому - зі зразковим моментом інерції $J_{\text{зр}}$, а в другому - без нього. За результатами вимірювань прискорень величину моменту інерції ротора $J_{\text{об}}$ знаходять за формулою:

$J_{\text{об}} = J_{\text{зр}} \frac{\xi_1}{\xi_2 - \xi_1}.$	(2)
--	-----

Недоліками прототипу є невисока швидкодія (час розрахунку приблизно 5 хвилин) і низька точність, що зумовлені наявністю в способі операції цифрового диференціювання.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу вимірювання моменту інерції

(19) UA (11) 27658 (13) U

ротора електричних машин, в якому за рахунок використання особливостей перехідного процесу під час режиму самогальмування електромеханічної системи 1-го порядку з одним ступенем вільності забезпечується підвищення точності вимірювань та їх швидкодії.

Поставлена задача досягається тим, що в способі вимірювання моменту інерції ротора електричних машин в режимі самогальмування спочатку зі зразковим моментом інерції, а потім - без нього, вимірюють проміжки часу з моменту знеструмлення електромеханічної системи до моменту досягнення ротором заздалегідь заданої кутової швидкості сов, за результатами часових вимірювань значення моменту інерції ротора знаходять за формулою:

$$J_{об} = J_{зр} \frac{t_1}{t_2 - t_1}, \quad (3)$$

де $J_{об}$ - момент інерції об'єкта вимірювання;

$J_{зр}$ - зразковий момент інерції;

t_1 - проміжок часу в режимі самогальмування з зразковим моментом інерції;

t_2 - проміжок часу в режимі самогальмування без зразкового моменту інерції.

На Фіг.1 зображено схему пристрою для реалізації способу вимірювання моменту інерції ротора електричних машин, на Фіг.2 наведено етапи здійснення способу.

Пристрій, який дозволяє реалізувати запропонований спосіб вимірювання моменту інерції ротора електричних машин, являє собою мікропроцесорний засіб вимірювання (Фіг.1), який складається з 1 - електричного двигуна (об'єкту вимірювання), 2 - системи керування силовою частиною, 3 - кнопки "Увімкнути", 4 - формувача сигналу, 5 - букво-цифрового терміналу, 6 - прецизійного редуктора, 7 - демпферної муфти, 8 - фотоелектричного перетворювача кутових переміщень, 9 - мікропроцесорного контролера, 10 - формувача сигналу фотоелектричного сенсора кутових переміщень, 11 - основи корпусу, 12 - системного блоку зовнішньої ЕОМ, 13 - енергонезалежної постійної пам'яті, 14 - блоку індикації, 15 - монітору зовнішньої ЕОМ. При цьому прецизійний редуктор 6 містить першу та другу шестерні, перша шестерня якого закріплена на валу досліджуваного електричного двигуна 1, а друга шестерня з'єднана з демпферною муфтою 7, що закріплена на валу фотоелектричного сенсора 8. Всі блоки, які містять рухомі частини, жорстко кріплені до основи корпусу 11, призначеної для надання механічної міцності пристрою. Мікроконтролер 9 є попередньо запрограмованим за алгоритмом, основу якого складає запропонований спосіб вимірювання моменту інерції. Програма міститься у внутрішній пам'яті мікроконтролера. Останній з'єднаний з іншими блоками через 8-розрядні порти А, В, С, D. Блок енергонезалежної зовнішньої постійної пам'яті 13, а також системний блок 12 і монітор 15 зовнішньої ЕОМ є додатковими блоками, що розширюють можливості пристрою та підвищують точність вимірювання моменту інерції за рахунок підвищення якості обробки первинної інформації.

Спосіб вимірювання моменту інерції ротора електричних машин здійснюється наступним чином.

Після того, як натиснута кнопка "Увімкнути" 3, формувач сигналу 4, який запобігає помилковому спрацюванню пристрою через "деренчання контактів" та з інших причин, формує сигнал, що активізує систему керування силовою частиною 2. Остання вихідним виводом 1 ініціалізує мікропроцесорний контролер 9, який переходить до виконання програми, що прописана у його внутрішній пам'яті. Відповідно до програми мікропроцесорний контролер 9 передусім перевіряє стан об'єкту вимірювання 1 і, у разі потреби, через систему керування силовою частиною 2 (вихідний вивід 3) приводить його до вихідного стану, характерною ознакою якого є відсутність обертового руху ротора через повне знеструмлення об'єкту вимірювання 1, а також за допомогою блоку індикації 14 та букво-цифрового терміналу 5 проводить опитування персоналу та отримання додаткової первинної інформації. До цієї інформації обов'язково необхідно віднести значення величини моменту інерції зразкового тіла $J_{зр}$, задане значення кутової швидкості сов, при досягненні якої часовий відлік t_1 та t_2 має припинитися, а також деяка інша додаткова інформація. У разі відсутності активності з боку персоналу щодо означення зразкового моменту інерції пристрій переходить в режим очікування, а в подальшому через визначений час відбувається дезактивація пристрою в цілому. У випадку ж з кутовою швидкістю ω_b у разі відсутності попередньої інформації мікропроцесорна система задає її значення самостійно. Після сформування первинної інформації мікропроцесорний контролер 9 через систему керування силовою частиною 2 (вихідний вивід 2) вмикає електричний двигун 1 і контролює за допомогою фотоелектричного перетворювача кутових переміщень 8 та формувача сигналу 10 кутову швидкість його ротора. Це здійснюється наступним чином: обертання вала ротора електричного двигуна 1 призводить до обертання обох шестерень прецизійного редуктора 6, що в свою чергу спричиняє обертання демпферної муфти 7, яка передає механічний момент, створений досліджуваним електричним двигуном 1, на вал фотоелектричного перетворювача кутових переміщень 8. На першому і другому виводах останнього формуються імпульси прямокутної

форми з різницею фаз $\pm \frac{\pi}{2}$ (знак "+" чи "-" залежить від напрямку обертання вала об'єкта дослідження 1). На третьому виході створюється сигнал референтної мітки після кожного повного обертання вала. Ці сигнали через на формувач 10, що узгоджує параметри сигналів, надходять до мікропроцесорного контролера 9, в якому за алгоритмом частотоміра здійснюється визначення миттєвої частоти цієї послідовності прямокутних імпульсів, що в результаті попереднього перетворення кутової швидкості ω ротора в частоту f відповідно до функції перетворення є

прямопропорційною кутовій швидкості ротора електричної машини. Через визначений час після завершення перехідного процесу мікро-контролер 9 переходить до режиму самогальмування, відповідно до якого через систему керування силовою частиною 2 (вхідний вивід 3) відбувається знеструмлення об'єкту вимірювання 1 та відлік часу t_1 у випадку досліді зі зразковим моментом інерції або часу t_2 - без нього шляхом підрахунку внутрішнім лічильником мікропроцесорного контролера 9 послідовності імпульсів тактової частоти із заздалегідь відомим періодом (імпульсів тактової частоти). Підрахунок відбувається з моменту початку режиму самогальмування до моменту часу, коли кутова швидкість ротора не досягне заданого мінімального значення. Після проведення двох дослідів із зразковим моментом інерції та без нього мікропроцесорний контролер 9 за запропонованою формулою (4) розраховує момент інерції ротора електричного двигуна 1, інформація про що надходить до блоку індикації 14.

Під час проведення дослідів із зразковим моментом інерції і без нього інформація про миттєву кутову швидкість записується до зовнішньої енергонезалежної постійної пам'яті 13 з метою залучення до розрахунково-аналітичного процесу зовнішньої ЕОМ (блоки 12 і 15) для розширення аналітичних можливостей пристрою та підвищення якості обробки інформації.

Система перетворювача моменту інерції 1-го порядку підпорядковується рівнянню Лагранжа другого роду:

$\frac{d}{dt} \left(\frac{dW_k}{d\dot{\varphi}} \right) - \frac{dW_k}{d\varphi} = \frac{dW_n}{d\varphi} - \frac{d\Phi}{d\varphi} + Q_\varphi, \quad (4)$	
---	--

де φ - повний кут обертання ротора; $\dot{\varphi}$ - кутова швидкість; W_k , W_n , Φ - відповідно повна кінетична і потенціальна енергії та функція розсіювання електромеханічної системи; Q_φ - узагальнена зовнішня сила.

Враховуючи, що в режимі самогальмування:

$\begin{aligned} W_k &= \frac{1}{2} J \dot{\varphi}^2, \\ W_n &= 0, \\ \Phi &= \frac{1}{2} \beta \dot{\varphi}^2, \\ Q_\varphi &= 0, \end{aligned} \quad (5)$	
---	--

відповідно до (4) диференціальне рівняння руху системи буде мати вигляд:

$J \frac{d\omega}{dt} + \beta \omega = 0, \quad (6)$	
--	--

де J - повний момент інерції обертової частини системи, β - узагальнений коефіцієнт розсіювання.

З врахуванням незалежної початкової умови:

$\omega(0_+) = \frac{M}{\beta}, \quad (7)$	
--	--

де M - обертальний момент на момент знеструмлення системи, розв'язком диференціального рівняння (6) буде

$\omega = \frac{M}{\beta} e^{-\frac{\beta}{J} t}. \quad (8)$	
--	--

Після проведення двох дослідів зі зразковим моментом інерції і без нього на підставі (8) отримаємо систему рівнянь

$\begin{cases} \omega = \frac{M}{\beta} e^{-\frac{\beta}{J_{об} + J_{зп}} t_1}, \\ \omega = \frac{M}{\beta} e^{-\frac{\beta}{J_{об}} t_2}, \end{cases} \quad (9)$	
---	--

з якої і випливає остаточно формула (3) для розрахунку моменту інерції ротора електричної машини

$$J_{об} = J_{зп} \frac{t_2}{t_1 - t_2}.$$

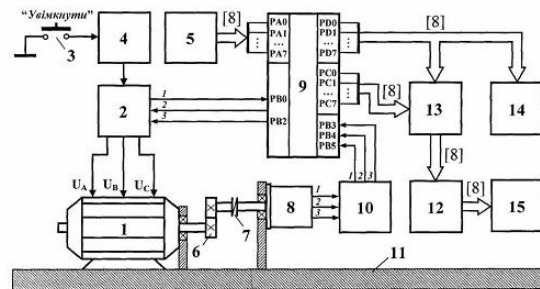
Моменти часу t_1 і t_2 визначаємо шляхом підрахунку кількості імпульсів N_1 та N_2 тактової частоти f_0 з періодом T_0 від початку досліді до досягнення ротором в обох випадках кутової швидкості $\omega_в$

$\begin{aligned} t_1 &= N_1 T_0, \\ t_2 &= N_2 T_0. \end{aligned} \quad (10)$	
---	--

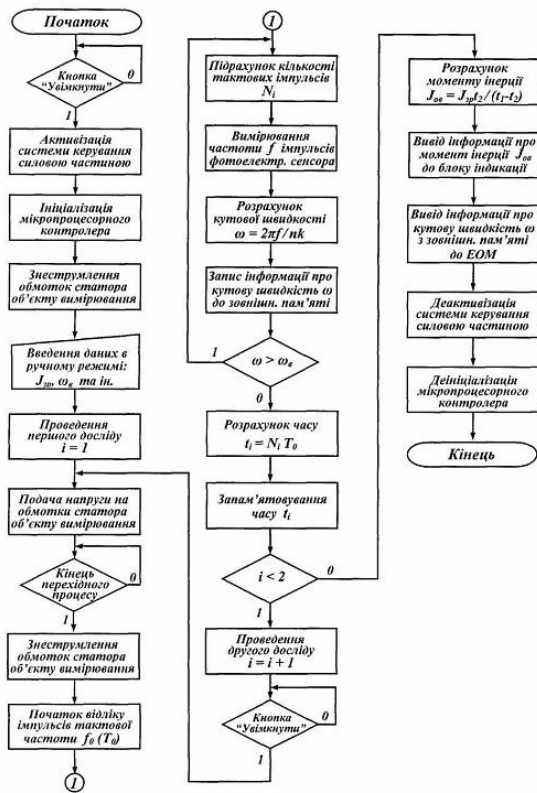
Для визначення кутової швидкості ω ротора електричної машини застосовуємо її перетворення в частоту f послідовності прямокутних імпульсів фотоелектричного сенсора кутових переміщень з функцією перетворення

$f = \frac{n k}{2\pi} \omega, \quad (11)$	
---	--

де n - кількість міток фотоелектричного перетворювача кутових переміщень 8, k - передаточне число прецизійного редуктора 6 та залучаємо мікропроцесорний контролер 9 з режимом роботи за алгоритмом частотоміра.



Фіг. 1



Фіг. 2