



УКРАЇНА

(19) UA (11) 30884 (13) A

(51) 6 G01L3/10

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПУСКОВОГО МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

(21) 98063116

(22) 16.06.1998

(24) 15.12.2000

(33) UA

(46) 15.12.2000, Бюл. № 7, 2000 р.

(72) Козловський Андрій Володимирович, Кухарчук Василь Васильович, Поджаренко Володимир Олександрович

(73) ВІННИЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб визначення пускового моменту електродвигуна шляхом вимірювання поточного значення пускового моменту на його роторі у кожному кутовому положенні, **відрізняється** тим, що ротор

випробуваного двигуна обертають зовнішнім приводним кроковим двигуном в покроковому режимі, причому перехід з попереднього кутового положення в наступне здійснюють після закінчення перехідного процесу в перетворювачі, тривалість якого знаходять за формулою:

$$t_{\text{stop}} = T_1 \cdot i \left[|X_i| \leq M \cdot \frac{\delta}{100\%}, i=0 \dots \infty \right],$$

де T_1 - час першого періоду затухаючих коливань; i - номер амплітудного значення X_i , на якому скінчуються коливання; M - постійна складова моменту; δ - нормоване значення похибки.

Винахід відноситься до вимірювальної техніки і може знайти застосування для вимірювання залежності пускового моменту електродвигуна в функції кутового положення ротора.

Відомий спосіб визначення пускового моменту (див.: Коварский Е.М., Янко Ю.И. Испытание электрических машин. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - С. 80), який здійснюється за допомогою важіля та динамометра. Вимірювання відбуваються при суто горизонтальному положенні важіля та вертикальному направленні зусилля динамометра. Для виключення варіації показань вимірювання проводяться двічі: при повільному підніманні важіля, з наближенням до горизонтального положення важіля знизу (проти направлення вимірюємого моменту), та при опусканні важіля зверху. Середнє значення цих двох вимірів представляє діючий на роторі пусковий момент.

Недоліками цього способу є велика трудомісткість та низька швидкодія, оскільки процес вимірювання інформативного параметра неавтоматизовано. Крім того, даний спосіб не дозволяє отримати залежність пускового моменту від кутових положень ротора.

Відомий спосіб визначення пускового моменту електричних двигунів, що базується на використанні вимірювального перетворювача пускового моменту. Даний перетворювач дозволяє отримати залежність пускового моменту від кутового положення ротору відносно статора в автоматизованому режимі і являє собою станину на якій жорстко закріплений випробуваний двигун, ротор якого за

допомогою муфти спряження з'єднаний з ротором приводного двигуна, який закріплений на станині балансірно; на корпусі приводного двигуна закріплений вимірювальний важіль, що діє на сенсор зусилля і дозволяє фіксувати значення пускового моменту у кожному кутовому положенні ротора (див.: А.с. СРСР № 1328695, кл. G01L3/10, 1987, № 29).

Суть способу полягає в тому, що ротор електродвигуна, який випробується, обертають з заданою швидкістю за допомогою приводного двигуна і одночасно фіксують кутове положення ротора та обертаючий момент на ньому. При цьому на протязі першого оберта випробуваний двигун обезструмлений, а на протязі другого - заживлений від електричної мережі. Значення пускового моменту M_n в заданому кутовому положенні визначається згідно з формулою:

$$M_n = M_p - M_c \quad (1)$$

де

M_p - обертаючий момент на двигуні коли подано живлення;

M_c - обертаючий момент на двигуні коли не подано живлення.

В даному способі систематична $\bar{\Delta}$ складова похибки зменшується завдяки запропонованому алгоритму вимірювання (за два оберти приводного двигуна). Тому, основною складовою похибки вимірювання є випадкова $\hat{\Delta}$. Найбільш суттєвим чинником цієї складової похибки є: момент опору в підшипниках об'єкту вимірювання (випробовуваного електродвигуна) та приводного двигуна.

Найбільш близьким технічним рішенням є спосіб визначення пускового моменту електродвигуна (див.: Патент України № 26636, МПК 6, кл. G01L3/10, від 06.01.1998).

Суть відомого способу полягає в тому, що шляхом реєстрації поточного значення обертаючого моменту M_p на роторі заживленого випробуваного електродвигуна, що обертається з заданою швидкістю зовнішнім приводом, де одночасно з обертанням ротора реєструють поточний кут його повороту, причому до подання живлення на випробуваний електродвигун протягом одного оберта реєструють поточне значення діючого на ротор обертаючого моменту M_c , а значення пускового моменту M_n у заданому кутовому положенні ротору знаходять як різницю значень M_p і M_c , зареєстрованих при заданому кутовому положенні ротора. Приводний двигун обертають на протязі одного повного оберта без з'єднання його з валом двигуна, який випробується. В процесі цього оберта вимірюють поточне значення обертаючого моменту $M_{нд}$. А безпосереднє значення пускового моменту двигуна у конкретному кутовому положенні знаходять згідно з формулою:

$$M_n = M_p - M_{нд}, \quad (2)$$

де M_p - обертаючий момент на роторі заживленого випробуваного електродвигуна.

Спільною ознакою протопила та винаходу є процес реєстрації поточного значення обертаючого моменту, що здійснюється за допомогою зовнішнього приводу.

До недоліків прототипа можна віднести низьку швидкість (вимірювання за 2 оберти приводного двигуна) та невисоку точність вимірювань, зумовлену систематичною складовою похибки (сковзання $S \neq 1$).

В основу винаходу поставлено задачу розробки способу визначення пускового моменту електродвигуна, в якому шляхом введення нових операцій забезпечується вилучення систематичної методичної похибки (значне підвищення точності), яка виникає з того, що ротор випробуваного двигуна повільно обертається в момент фіксування значення пускового моменту.

При цьому досягаються споживчі якості, спрямовані на підвищення точності вимірювання шляхом виключення методичної похибки, яка виникає з причини відхилення сковзання від одиниці ($S < 1$).

Спосіб дозволяє: усунути методичну похибку, тому що сковзання $S=1$; зменшити випадкову похибку за рахунок виключення впливу моменту опору на результати вимірювань; підвищити швидкість у 2 рази, тому що вимірювання $M_n=f(\alpha)$ здійснюються за один оберт приводного двигуна.

Задача досягається за рахунок того, що в способі визначення пускового моменту електродвигуна шляхом вимірювання поточного значення пускового моменту на його роторі у кожному кутовому положенні, ротор випробуваного двигуна обертають зовнішнім приводним кроковим двигуном в кроковому режимі, причому перехід з попереднього кутового положення в наступне здійснюють після закінчення перехідного процесу в перетворювачі.

В якості приводного двигуна використано кроковий двигун, який працює в режимі зупинки у кожному кутовому положенні в якому виконується ви-

мірювання пускового моменту після завершення перехідного процесу. Такий режим обертання двигуна, що випробується, протягом одного повного оберту виключає появу методичної похибки, тому що величина сковзання у кожному кутовому положенні крокового двигуна після закінчення перехідного процесу у вимірювальному перетворювачі дорівнює одиниці.

Суттєвим параметром, який дозволяє реалізувати запропоновану методику - є час перехідного процесу, величина якого буде впливати на кількість кутових положень, де вимірюється пусковий момент. Пропонується наступна методика розрахунку часу перехідного процесу у вимірювальному перетворювачі.

Диференціальне рівняння, що описує процес руху рухомої частини перетворювача має такий вигляд:

$$\frac{d\varphi^2(t)}{dt^2} + 2\varepsilon\omega \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} + \omega^2 \cdot \varphi(t) = \frac{M + a \cdot \sin(Wt) + b \cdot \cos(Wt)}{J}, \quad (3)$$

де

$$\varepsilon = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{J \cdot C}} - \text{ступінь заспокоєння вільних коливань};$$

$$\omega = \sqrt{\frac{C}{J}} - \text{власна частота вільних (недемпфованих) коливань};$$

φ - кут повороту балансірної рами;

P - коефіцієнт заспокоєння;

J - сумарний момент інерції рами;

C - коефіцієнт жорсткості сенсора зусилля;

$M=k \cdot U^2$ - постійна складова моменту;

k - коефіцієнт з формули Клоса для сковзання $S=1$;

U - номінальна напруга живлення;

a, b - коефіцієнти, які описують конструкцію ОВ.

Розв'язок рівняння (3), для випадка, коли в якості сенсора зусилля використаний ємністний давач, матиме вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} Q(t) &= K_1 \cdot \left\{ e^{-\varepsilon\omega t} \cdot [C_1 \cdot \cos(\omega\sqrt{1-\varepsilon^2}t) + C_2 \cdot \sin(\omega\sqrt{1-\varepsilon^2}t)] + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{M}{J \cdot \omega^2} + A \cdot \sin(Wt) + B \cdot \cos(Wt) \right) \right\}; \\ K_1 &= \frac{L \cdot \pi \cdot h \cdot (2R - h) \cdot E}{L_0}; \\ A &= \frac{b \cdot 2\varepsilon\omega W - \frac{a}{J} \cdot (\omega^2 - W^2)}{(\omega^2 - W^2)^2 + (2\varepsilon\omega W)^2}; \quad B = \frac{\frac{b}{J} \cdot (\omega^2 - W^2) - \frac{a}{J} \cdot 2\varepsilon\omega W}{(\omega^2 - W^2)^2 + (2\varepsilon\omega W)^2}; \\ C_1 &= -\frac{M}{J \cdot \omega^2} - B; \quad C_2 = \left(-\frac{M}{J \cdot \omega^2} - B \right) \cdot \varepsilon\omega - AW, \end{aligned} \right. \quad (4)$$

де

L - довжина вимірювального важеля;

h - товщина стінок сенсора;

R - зовнішній радіус сенсора;

E - модуль пружності матеріалу сенсора;

L_0 - висота сенсора.

Використовуючи (3) та (4), згідно з методикою (див.: Высшая математика / Под. ред. П.Ф. Овчинникова. - К.: Выща шк., 1989. - 679 с.; с. 87-89) отримуємо необхідні формули для розрахунку часу перехідного процесу.

Величина першого (найдовшого) періоду затухаючих коливань складає:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega} \cdot (1 - \varepsilon^2)^{-\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

Для розрахунку найбільших (амплітудних) значень перехідного процесу необхідно виконати наступну розрахункову послідовність:

$$\begin{cases} \gamma = \arctg\left(\frac{\omega \cdot \sqrt{1 - \varepsilon^2}}{1 + \varepsilon \cdot \omega}\right); \\ t_0 = \frac{1}{\omega \cdot \sqrt{1 - \varepsilon^2}} \cdot \left(\arctg\frac{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}{\varepsilon} - \gamma\right); \\ a_0 = \sqrt{C_1^2 + C_2^2} \cdot e^{-\varepsilon \omega t_0}; \\ X_i = a_0 \cdot e^{-\frac{\varepsilon \pi}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \cdot i} \cdot (-1)^i \cdot \sin(\omega \sqrt{1 - \varepsilon^2} \cdot t_0 + \gamma); i = 0 \dots \infty. \end{cases} \quad (6)$$

Якщо δ [%] - це нормоване значення відносної похибки, тоді час заспокоєння рухомої частини t_{stop} можливо отримати з наступної формули:

$$t_{\text{stop}} = T_1 \cdot i \left[|X_i| \leq M \cdot \frac{\delta}{100\%}, i = 0 \dots \infty \right]. \quad (7)$$

На фіг. 1 представлена схема пристрою для реалізації способу, на фіг. 2 - алгоритм виконання способу.

Пристрій, який дозволяє реалізувати запропонований спосіб визначення пускового моменту електродвигуна, представляє собою мікропроцесорний засіб вимірювання, який складається з станини 1, на якій жорстко встановлений двигун, який випробовується (ОВ) 2 та балансирно в підшипниках 3 - приводний кроковий двигун (КД) 4, вихідні вали обох двигунів з'єднані між собою за допомогою муфти 5, на корпусі приводного двигуна закріплено вимірювальний важіль 6, який діє на сенсор зусилля 7, живлення на ОВ формується за допомогою перетворювача 8, а на КД - за допомогою перетворювача 9; роботою перетворювачів 7, 8 та 9 керує мікропроцесорна вимірювальна система 10.

Вимірювальна система 10 складається з спеціалізованого мікропроцесора i80C196KR - 11, регістра адреси - 12; постійної пам'яті - 13; оперативної пам'яті - 14; керуючого регістра - 15; формувача - 16 та кнопки "Пуск" - 17.

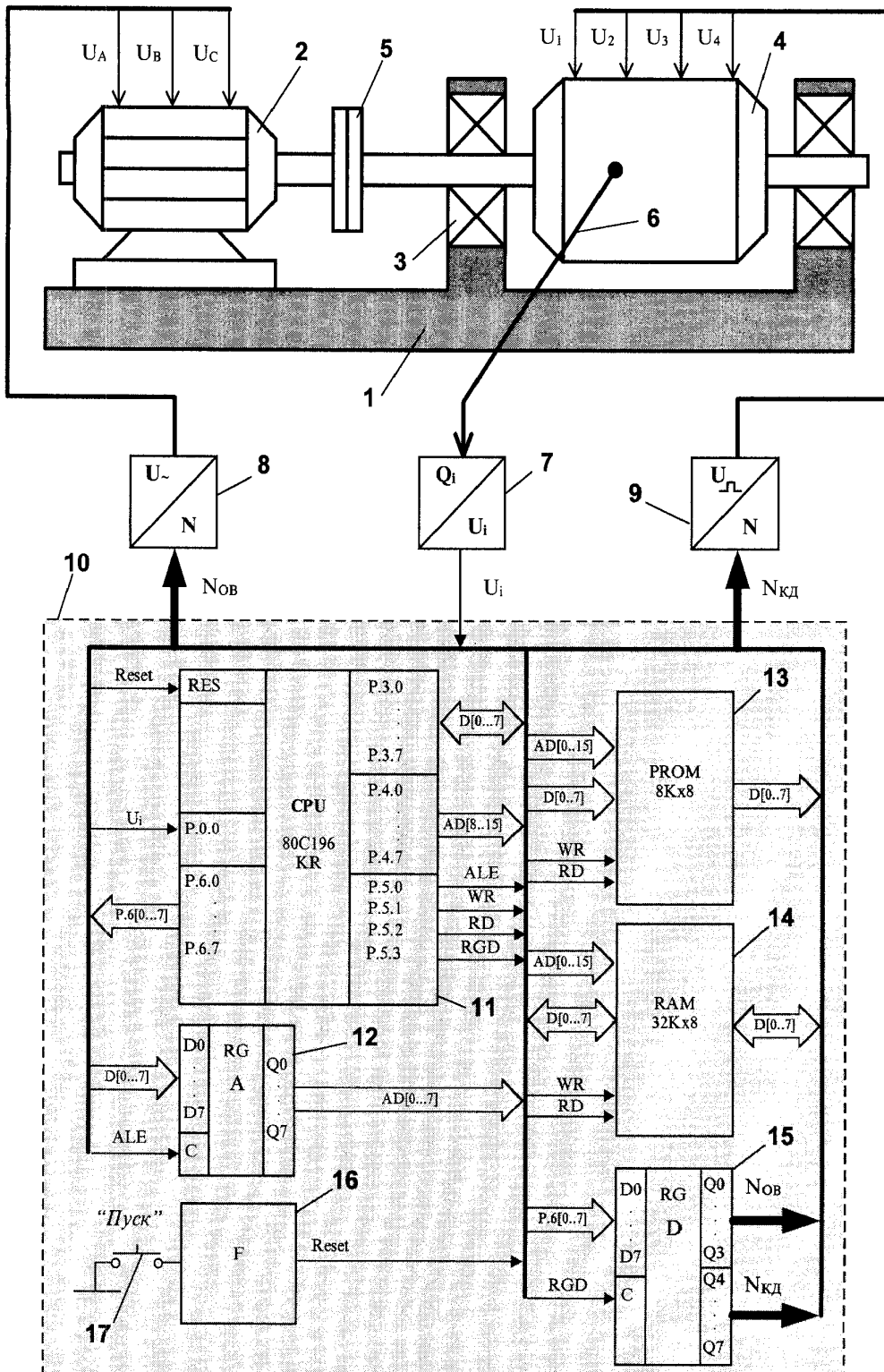
Спосіб вимірювання пускового моменту електродвигуна здійснюється таким чином (алгоритм див. на фіг. 2).

Після того, як натиснута кнопка "Пуск", вимірювальна система переходить до виконання програми, яка прописана в постійній пам'яті 13. В регістрі 15 (розряди 0...3) формується сигнал $N_{\text{ОВ}}$, який перетворюється в напругу живлення (U_A, U_B, U_C) перетворювачем 8 та подається на ОВ. Очікується перехідний процес ОВ, а коли він скінчиться сигнал з перетворювача 7 реєструється вимірювальною системою та запам'ятовується в оперативній пам'яті 14.

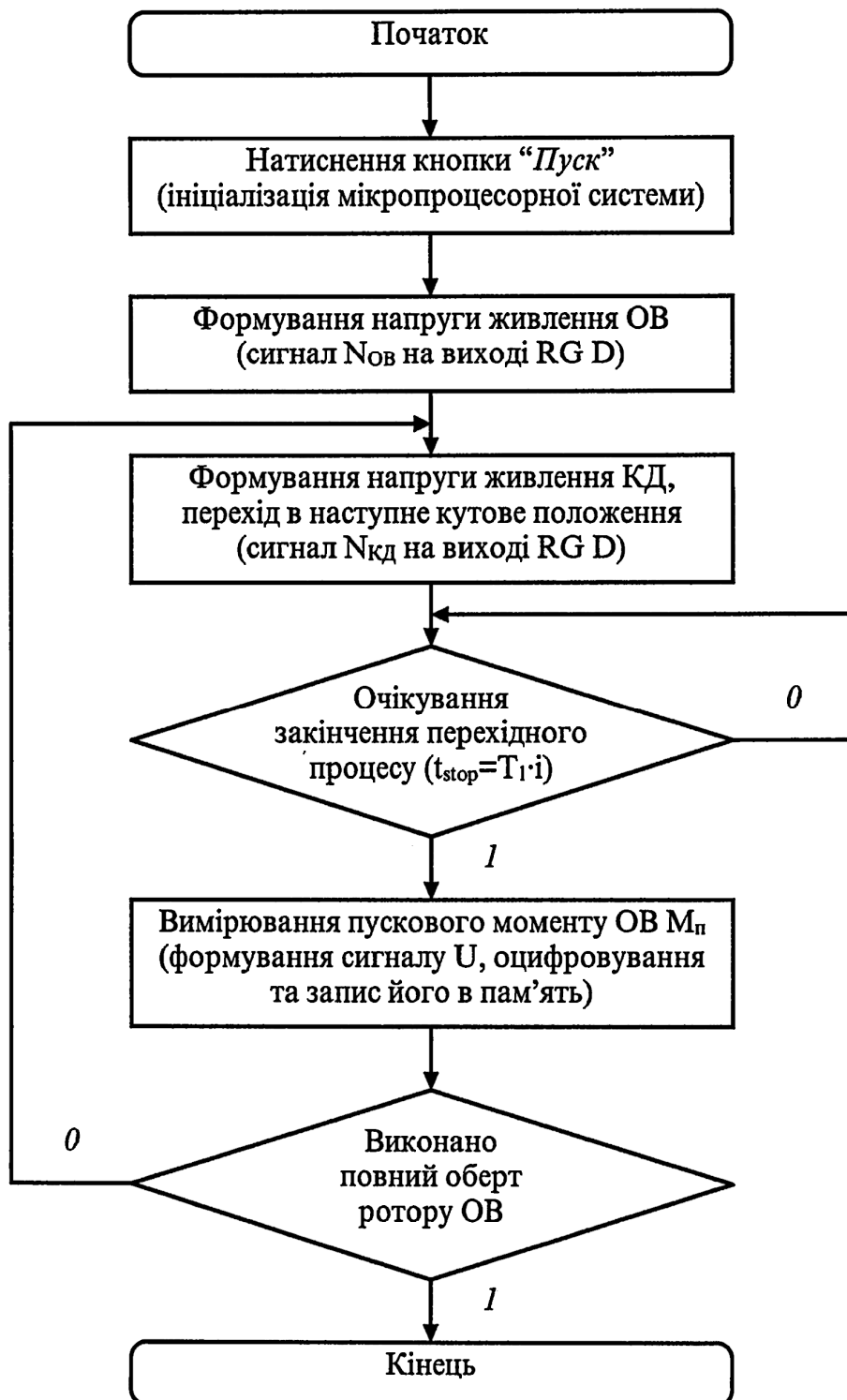
Після цього в регістрі 15 (розряди 4...7) формується сигнал $N_{\text{КД}}$ (послідовність 06h, 0Ch, 09h, 03h), який перетворюється перетворювачем 9 в напругу живлення для КД (U_1, U_2, U_3, U_4), що дає змогу перевести ротор ОВ у наступне кутове положення. Очікується час заспокоєння ротора КД, а потім повторюється послідовність вимірювання пускового моменту.

Потім знову КД переводять в наступне кутове положення та вимірюють пусковий момент; процес закінчується коли зроблено повний оберт ОВ.

Розрахунок часу перехідного процесу t_{stop} для різних типів електродвигунів за формулою (7) показує, що за час нагріву двигуна (приблизно 10 с) в такий спосіб можливо отримати значення пускового моменту за один оберт у 200... 300 кутових положеннях з виконанням умови $S=1$, що повністю відповідає метрологічним вимогам досліду "короткого замикання".



Фиг. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2002 р. Формат 60x84 1/8.
Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
(044) 268-25-22
