



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42582 (13) U  
(51) МПК (2009)  
G01R 31/34  
H02K 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

# ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНИХ ОПОРІВ, ВЛАСНИХ І ВЗАЄМНИХ ІНДУКТИВНОСТЕЙ СТАТОРА Й РОТОРА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

1

2

(21) u200901593

(22) 24.02.2009

(24) 10.07.2009

(46) 10.07.2009, Бюл.№ 13, 2009 р.

(72) ВОРОБЕЙЧИК ОЛЕГ СТАНІСЛАВОВИЧ, КО-  
ЗАКЕВИЧ ІГОР АРКАДІЙОВИЧ, ТОПЧІЄНКО ЮРІЙ  
АНАТОЛІЙОВИЧ, УРДІН ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ  
(73) ВОРОБЕЙЧИК ОЛЕГ СТАНІСЛАВОВИЧ, КО-  
ЗАКЕВИЧ ІГОР АРКАДІЙОВИЧ, ТОПЧІЄНКО ЮРІЙ  
АНАТОЛІЙОВИЧ, УРДІН ІГОР ВОЛОДИМИРОВИЧ

(57) Спосіб визначення активних опорів, власних і  
взаємних індуктивностей статора й ротора асинх-  
ронних двигунів, що включає реєстрацію реально  
діючих в асинхронному двигуні сигналів й обчис-  
лення по розрахункових формулах параметрів  
асинхронного двигуна, який відрізняється тим,

що реєстрацію реально діючих в асинхронному  
двигуні сигналів здійснюють у режимах його робо-  
чого функціонування з наступною обробкою сиг-  
налів; при цьому як реально діючі в асинхронному  
двигуні сигнали використовують миттєві значення  
фазних струмів для 4-х послідовних інтервалів  
виміру, миттєві значення фазних або лінійних на-  
пруг для 4-х послідовних інтервалів виміру й час-  
тоту обертання вала машини (один вимір при ста-  
більній швидкості або чотири - при нестабільній), а  
як параметри асинхронних двигунів - активні опори  
статора й ротора, власні індуктивності статора й  
ротора і їхню взаємну індуктивність; причому об-  
числення параметрів асинхронного двигуна вико-  
нують по формулах:

$$R_s = \frac{-k_2 - Bk_{10} + Cdt \left( -U_{s\beta 1} + B \frac{di_{s\beta 1}}{dt} \right) + k_{13} \left( k_1 + Bk_9 + Cdt \left( U_{s\alpha 1} - B \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right) \right)}{(k_{16} + Ck_{19})}, (1)$$

де  $B = \frac{-k_{34}C^2 - k_{26} - k_{28}C}{k_{30} + k_{32}C + k_{36}C^2}$ , а С знаходять із

$$k_{38}C^4 + k_{39}C^3 + k_{40}C^2 + k_{41}C + k_{42} = 0, L_r = B - \frac{D}{C}, (2)$$

де

$$D = \frac{k_1 + R_s k_5 + Bk_9 - Cdt \left( -U_{s\alpha 1} + R_s i_{s\alpha 1} + B \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right)}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})},$$

$$L_m = B - \sqrt{-\frac{D}{C}} L_r, (3)$$

та

$$R_r = -CL_r, (4)$$

у яких:

$$k_1 = U_{s\alpha 1} - U_{s\alpha 2} - \omega dt U_{s\beta 1};$$

$$k_2 = U_{s\beta 1} - U_{s\beta 2} - \omega dt U_{s\alpha 1};$$

$$k_3 = U_{s\alpha 2} - U_{s\alpha 3} - \omega dt U_{s\beta 2};$$

$$k_4 = U_{s\beta 2} - U_{s\beta 3} - \omega dt U_{s\alpha 2};$$

$$k_5 = (-i_{s\alpha 1} + i_{s\alpha 2} + \omega dt i_{s\beta 1});$$

$$k_6 = (-i_{s\beta 1} + i_{s\beta 2} - \omega dt i_{s\alpha 1});$$

$$k_7 = (-i_{s\alpha 2} + i_{s\alpha 3} + \omega dt i_{s\beta 2});$$

$$k_8 = (-i_{s\beta 2} + i_{s\beta 3} - \omega dt i_{s\alpha 2});$$

$$k_9 = \left( -\frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} + \omega dt \frac{di_{s\beta 1}}{dt} \right);$$

$$k_{10} = \left( -\frac{di_{s\beta 1}}{dt} + \frac{di_{s\beta 2}}{dt} + \omega dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right);$$

$$k_{11} = \left( -\frac{di_{s\alpha 2}}{dt} + \frac{di_{s\alpha 3}}{dt} + \omega dt \frac{di_{s\beta 2}}{dt} \right);$$

$$k_{12} = \left( -\frac{di_{s\beta 2}}{dt} + \frac{di_{s\beta 3}}{dt} - \omega dt \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} \right);$$

$$k_{13} = \frac{(i_{s\beta 1} - i_{s\beta 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})};$$

$$k_{14} = \frac{(i_{s\alpha 3} - i_{s\alpha 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})};$$

$$k_{15} = \frac{(i_{s\beta 3} - i_{s\beta 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})};$$

$$k_{16} = k_6 - k_5 k_{13};$$

$$k_{17} = k_7 + k_5 k_{14};$$

$$k_{18} = k_8 + k_5 k_{15};$$

(19) UA (11) 42582 (13) U

$$\begin{aligned} k19 &= dt(-i_{s\beta 1} + i_{s\alpha 1} k13); \\ k20 &= dt(-i_{s\alpha 2} - k14 i_{s\alpha 1}); \\ k21 &= dt(-i_{s\beta 2} - k15 i_{s\alpha 1}); \\ k22 &= -k2 + k1 k13; \\ k23 &= k13 k9 - k10; \\ k24 &= -U_{s\beta 1} + k13 U_{s\alpha 1}; \\ k25 &= \frac{di_{s\beta 1}}{dt} - k13 \frac{di_{s\alpha 1}}{dt}; \end{aligned}$$

$$k32 = dt k17 k25 + k20 k23 + k11 k19 - dt \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} k16 - k14 k16 dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + k14 k19 k9;$$

$$k33 = k18 dt k25 + k23 k21 + k12 k19 - dt \frac{di_{s\beta 2}}{dt} k16 - k15 k16 dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + k15 k9 k19;$$

$$\begin{aligned} k34 &= k24 k20 dt + dt U_{s\alpha 2} k19 + k14 k19 dt U_{s\alpha 1}; \\ k35 &= k24 k21 dt + dt U_{s\beta 2} k19 + k15 k19 dt U_{s\alpha 1}; \\ k36 &= k25 k20 dt - dt k19 \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} - k14 k19 dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt}; \\ k37 &= k21 dt k25 - dt k19 \frac{di_{s\beta 2}}{dt} - k15 k19 dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k38 &= -k37 k34 + k36 k35; \\ k39 &= k36 k29 - k33 k34 - k28 k37 + k32 k35; \\ k40 &= k27 k36 + k32 k29 - k31 k34 - k37 k26 - \\ & k33 k28 + k30 k35; \\ k41 &= k27 k32 + k30 k29 - k33 k26 - k31 k28; \\ k42 &= k30 k27 - k31 k26; \end{aligned}$$

де  $U_{s\alpha 1}=U_{a1}$ ,  $U_{s\alpha 2}=U_{a2}$ ,  $U_{s\alpha 3}=U_{a3}$  - значення проекції вектора напруги (для трьох послідовних інтервалів виміру), підведеного до статора двигуна, на вісь  $\alpha$  нерухомої щодо статора системи координат;

$$U_{s\beta 1} \frac{U_{a1} + 2U_{b1}}{\sqrt{3}}, U_{s\beta 2} \frac{U_{a2} + 2U_{b2}}{\sqrt{3}}, U_{s\beta 3} \frac{U_{a3} + 2U_{b3}}{\sqrt{3}}$$

- значення проекції вектора напруги, підведеного до статора двигуна, на вісь  $\beta$  нерухомої щодо статора системи координат;

$$\begin{aligned} k26 &= k16 k3 + k22 k17 + k1 k16 k14; \\ k27 &= k16 k4 + k22 k18 + k1 k16 k15; \\ k28 &= k3 k19 + k24 dt k17 + k20 k22 + U_{s\alpha 2} k16 dt + U_{s\alpha 1} k14 k16 \\ & dt + k14 k19 k1; \\ k29 &= k19 k4 + k24 dt k18 + k22 k21 + U_{s\beta 2} k16 dt + U_{s\alpha 1} k15 k16 \\ & dt + k15 k1 k19; \\ k30 &= k23 k17 + k11 k16 + k9 k16 k14; \\ k31 &= k23 k18 + k16 k12 + k9 k16 k15; \end{aligned}$$

$U_{a1}, U_{a2}, U_{a3}, U_{b1}, U_{b2}, U_{b3}$  - значення фазних напруг фаз А и В для трьох послідовних інтервалів виміру;

$i_{s\alpha 1}=i_{a1}, i_{s\alpha 2}=i_{a2}, i_{s\alpha 3}=i_{a3}, i_{s\alpha 4}=i_{a4}$  - значення проекції вектора струму статора (для чотирьох послідовних інтервалів виміру) на вісь  $\alpha$  нерухомої щодо статора системи координат;

$$i_{s\beta 1} \frac{i_{a1} + 2i_{b1}}{\sqrt{3}}, i_{s\beta 2} \frac{i_{a2} + 2i_{b2}}{\sqrt{3}}, i_{s\beta 3} \frac{i_{a3} + 2i_{b3}}{\sqrt{3}},$$

$$i_{s\beta 4} \frac{i_{a4} + 2i_{b4}}{\sqrt{3}} - \text{значення проекції вектора струму}$$

статора (для чотирьох послідовних інтервалів виміру) на вісь  $\beta$  нерухомої щодо статора системи координат;

$i_{a1}, i_{a2}, i_{a3}, i_{a4}, i_{b1}, i_{b2}, i_{b3}, i_{b4}$  - значення фазних струмів фаз А и В для чотирьох послідовних інтервалів виміру;

$\omega=\omega_p$  - електрична частота обертання ротора ( $p$  - число пар полюсів).

Корисна модель відноситься до галузі електротехніки, а саме до визначення внутрішніх параметрів асинхронних машин (активних опорів, власних індуктивностей статора й ротора і їхніх взаємних індуктивностей), і може бути використана для функціонального діагностування, прогнозування стану електродвигунів і створення пристроїв превентивного захисту.

Відомий спосіб визначення характеристик асинхронного двигуна й пристрій для його реалізації (див., наприклад, Патент РФ №2143121 С1 від 20.12.1999р. МПК G01R31/34). Відомий спосіб передбачає визначення характеристик асинхронного двигуна при загальмованому роторі й живленні обмоток статора від джерела змінної частоти й напруги, визначення розрахункової напруги без обліку впливу активного опору обмоток статора, вимір у процесі дослідження поточного значення цієї напруги й зміна величини живлячої напруги доти, поки поточні й розрахункові значення не збіжаться,

з наступним виміром сили або моменту й струму.

Відомий також спосіб діагностування асинхронного двигуна (див., наприклад, Патент РФ №2178229 С2 від 01.06.1999р. МПК H02K15/00, G01R31/34). Відомий спосіб включає вимір значення активних опорів обмоток статора й ротора, опорів ізоляції обмоток статора й ротора, коефіцієнта абсорбції, коефіцієнта співвідношення ємностей, обмірюваних при різних частотах іспитової напруги, температури обмоток статора й порівняння обмірюваних значень із гранично припустимими, при цьому спочатку вимірюють значення активного опору обмоток статора й ротора, а після виміру значення температури обмотки статора вимірюють значення температури підшипників, тиску щіток й їхню висоту.

Недоліком відомих способів є вимога втручання в роботу асинхронного двигуна й/або створення спеціальних режимів його роботи (коротке замикання, холостий хід, загальмовування ротора, жи-

влення обмоток статора від джерела змінної частоти й напруги й т.д.).

Відомий також спосіб визначення наведених активного й індуктивного опорів ротора асинхронного двигуна (див., наприклад, Авторське посвідчення СРСР №1222048 А1 від 01.06.1999р. МПК G01R31/34). Даний спосіб включає вплив на двигун номінальною по частоті й амплітуді напругою, вимір номінальної частоти напруги, частоти обертання ротора, що встановилася, споживаної активної потужності й току, обчислення по розрахунковій формулі наведених активного й індуктивного опорів ротора, при цьому після виміру частоти  $\omega_b$  обертання ротора синфазно підвищують частоту й напругу живлення до досягнення ротором частоти обертання, рівної  $(1,05-1,5) \omega_n/P$ , де  $P$  - число пар полюсів, після чого синфазно знижують частоту й напругу живлення до номінальної, а величину споживаного струму  $i$  й частоту  $\omega_p$  обертання ротора вимірюють при нульовому значенні споживаної активної потужності, і наведені активний й індуктивний опори ротора обчислюють по формулах:

$$r_2' = \frac{(U_1 - I_1 x_1)^2 r_m \left(1 - \frac{\omega_p P}{\omega_n}\right)}{U_1^2 - 2U_1 I_1 (x_1 + x_m) + I^2 \left[(x_1 + x_m)^2 + r_m^2\right]},$$

$$x_2' = \frac{(U_1 - I_1 x_1) \left[ I \left( r_m^2 + x_m^2 \right) - U_1 x_m + I_1 x_1 x_m \right]}{U_1^2 - 2U_1 I_1 (x_1 + x_m) + I^2 \left[(x_1 + x_m)^2 + r_m^2\right]}$$

де  $x_1$  - індуктивний опір ротора,  
 $r_m$  й  $x_m$  - активний й індуктивний опір контуру, що намагнічує, двигуна,  
 $U_1$  - номінальна напруга.

Даний спосіб визначення наведених активного й індуктивного опорів ротора асинхронного двигуна є найбільш близьким по технічній сутності й ефекту, що досягається, до заявляемого способу визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статорів і роторів асинхронних двигунів.

Недоліком даного способу є вимога втручання в роботу асинхронного двигуна й/або створення спеціальних режимів його роботи (вплив на двигун номінальною по частоті й амплітуді напругою, синфазне підвищення частоти й напруги живлення й

синфазне зниження частоти й напруги живлення до номінальних значень).

Загальними ознаками найближчого аналога (прототипу) і способу визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статора й ротора асинхронних двигунів, що заявляється, є:

- реєстрація реально діючих в асинхронному двигуні сигналів й обчислення по розрахункових формулах параметрів асинхронного двигуна.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статорів і роторів асинхронних двигунів шляхом пасивної реєстрації сигналів від асинхронного двигуна й наступного обчислення по розрахункових формулах параметрів асинхронного двигуна, що дозволить підвищити ефективність визначення параметрів асинхронного двигуна і, як наслідок, заощаджувати електричну енергію.

Очікуваним технічним результатом корисної моделі, що заявляється, (способу визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статорів і роторів асинхронних двигунів) є підвищення ефективності визначення параметрів асинхронного двигуна шляхом пасивної реєстрації сигналів від асинхронного двигуна і їх наступної статистичної обробки.

Зазначений технічний результат досягається тим, що в способі визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статорів і роторів асинхронних двигунів, що включає реєстрацію реально діючих в асинхронному двигуні сигналів й обчислення по розрахункових формулах параметрів асинхронного двигуна, відповідно до технічного рішення, що заявляється,

- реєстрацію реально діючих в асинхронному двигуні сигналів здійснюють у режимах його робочого функціонування з наступною статистичною обробкою сигналів;

при цьому в якості реально діючих в асинхронному двигуні сигналів використовують миттєві значення фазних струмів для 4-х послідовних інтервалів виміру, миттєві значення фазних або лінійних напруг для 4-х послідовних інтервалів виміру й частоту обертання вала машини (один вимір при стабільній швидкості або чотири - при нестабільній), а як параметри асинхронних двигунів - активні опори статора й ротора, власні індуктивності статора й ротора і їхню взаємну індуктивність; причому обчислення параметрів асинхронного двигуна виконують по формулах:

$$R_s = \frac{-k_2 - Bk_{10} + Cdt \left( -U_{s\beta 1} + B \frac{di_{s\beta 1}}{dt} \right) + k_{13} \left( k_1 + Bk_9 + Cdt \left( U_{s\alpha 1} - B \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right) \right)}{(k_{16} + Ck_{19})} \quad (1)$$

$$\text{де } B = \frac{-k_{34}C^2 - k_{26} - k_{28}C}{k_{30} + k_{32}C + k_{36}C^2}, \text{ а } C \text{ знаходять із}$$

$$k_{38}C^4 + k_{39}C^3 + k_{40}C^2 + k_{41}C + k_{42} = 0, \quad L_r = B - \frac{D}{C}, \quad (2)$$

$$\text{де}$$

$$D = \frac{k_1 + R_s k_5 + Bk_9 - Cdt \left( -U_{s\alpha 1} + R_s i_{s\alpha 1} + B \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right)}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})},$$

$$L_m = \sqrt{-\frac{D}{C}} L_r, \quad (3)$$

та

$$R_r = -CL_r, \quad (4)$$

у яких:

$$k_1 = U_{s\alpha 1} - U_{s\alpha 2} - \omega dt U_{s\beta 1};$$

$$k_2 = U_{s\beta 1} - U_{s\beta 2} - \omega dt U_{s\alpha 1};$$

$$k_3 = U_{s\alpha 2} - U_{s\alpha 3} - \omega dt U_{s\beta 2};$$

$$k_4 = U_{s\beta 2} - U_{s\beta 3} - \omega dt U_{s\alpha 2};$$

$$k_5 = (-i_{s\alpha 1} + i_{s\alpha 2} + \omega dt i_{s\beta 1});$$

$$k_6 = (-i_{s\beta 1} + i_{s\beta 2} - \omega dt i_{s\alpha 1});$$

$$k_7 = (-i_{s\alpha 2} + i_{s\alpha 3} + \omega dt i_{s\beta 2});$$

$$k_8 = (-i_{s\beta 2} + i_{s\beta 3} - \omega dt i_{s\alpha 2});$$

$$k_9 = \left( -\frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} + \omega dt \frac{di_{s\beta 1}}{dt} \right)$$

$$k_{10} = \left( -\frac{di_{s\beta 1}}{dt} + \frac{di_{s\beta 2}}{dt} - \omega dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right)$$

$$k_{11} = \left( -\frac{di_{s\alpha 2}}{dt} + \frac{di_{s\alpha 3}}{dt} + \omega dt \frac{di_{s\beta 2}}{dt} \right)$$

$$k_{12} = \left( -\frac{di_{s\beta 2}}{dt} + \frac{di_{s\beta 3}}{dt} - \omega dt \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} \right)$$

$$k_{13} = \frac{(i_{s\beta 1} - i_{s\beta 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})}$$

$$k_{14} = \frac{(i_{s\alpha 3} - i_{s\alpha 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})}$$

$$k_{15} = \frac{(i_{s\beta 3} - i_{s\beta 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})}$$

$$k_{16} = k_6 - k_5 k_{13}$$

$$k_{17} = k_7 + k_5 k_{14}$$

$$k_{18} = k_8 + k_{15} k_5$$

$$k_{19} = dt(-i_{s\beta 1} + i_{s\alpha 1} k_{13})$$

$$k_{20} = dt(-i_{s\alpha 2} - k_{14} i_{s\alpha 1})$$

$$k_{21} = dt(-i_{s\beta 2} - k_{15} i_{s\alpha 1})$$

$$k_{22} = -k_2 + k_{11} k_{13}$$

$$k_{23} = k_{13} k_9 - k_{10}$$

$$k_{24} = -U_{s\beta 1} + k_{13} U_{s\alpha 1}$$

$$k_{25} = \frac{di_{s\beta 1}}{dt} - k_{13} \frac{di_{s\alpha 1}}{dt}$$

$$k_{26} = k_{16} k_3 + k_{22} k_{17} + k_{11} k_{16} k_{14}$$

$$k_{27} = k_{16} k_4 + k_{22} k_{18} + k_{11} k_{16} k_{15}$$

$$k_{28} = k_3 k_{19} + k_{24} dt k_{17} + k_{20} k_{22} + U_{s\alpha 2} k_{16} dt + U_{s\alpha 1} k_{14} k_{16} dt + k_{14} k_{19} k_{1}$$

$$k_{29} = k_{19} k_4 + k_{24} dt k_{18} + k_{22} k_{21} + U_{s\beta 2} k_{16} dt + U_{s\alpha 1} k_{15} k_{16} dt + k_{15} k_{19} k_{1}$$

$$k_{30} = k_{23} k_{17} + k_{11} k_{16} + k_{9} k_{16} k_{14}$$

$$k_{31} = k_{23} k_{18} + k_{16} k_{12} + k_{9} k_{16} k_{15}$$

$$k_{32} = dt k_{17} k_{25} + k_{20} k_{23} + k_{11} k_{19} - dt \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} k_{16} - k_{14} k_{16} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + k_{14} k_{19} k_9$$

$$k_{33} = k_{18} dt k_{25} + k_{23} k_{21} + k_{12} k_{19} - dt \frac{di_{s\beta 2}}{dt} k_{16} - k_{15} k_{16} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + k_{15} k_{9} k_{19}$$

$$k_{34} = k_{24} k_{20} dt + dt U_{s\alpha 2} k_{19} + k_{14} k_{19} dt U_{s\alpha 1}$$

$$k_{35} = k_{24} k_{21} dt + dt U_{s\beta 2} k_{19} + k_{15} k_{19} dt U_{s\alpha 1}$$

$$k_{36} = k_{25} k_{20} dt - dt k_{19} \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} - k_{14} k_{19} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt}$$

$$k_{37} = k_{21} dt k_{25} - dt k_{19} \frac{di_{s\beta 2}}{dt} - k_{15} k_{19} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt}$$

$$k_{38} = -k_{37} k_{34} + k_{36} k_{35};$$

$$k_{39} = k_{36} k_{29} - k_{33} k_{34} - k_{28} k_{37} + k_{32} k_{35};$$

$$k_{40} = k_{27} k_{36} + k_{32} k_{29} - k_{31} k_{34} - k_{37} k_{26} -$$

$$k_{33} k_{28} + k_{30} k_{35};$$

$$k_{41} = k_{27} k_{32} + k_{30} k_{29} - k_{33} k_{26} - k_{31} k_{28};$$

$$k_{42} = k_{30} k_{27} - k_{31} k_{26};$$

де  $U_{s\alpha 1} = U_{a1}$ ,  $U_{s\alpha 2} = U_{a2}$ ,  $U_{s\alpha 3} = U_{a3}$  - значення проекції вектора напруги (для трьох послідовних інтервалів виміру), підведеного до статора двигуна, на вісь  $\alpha$  нерухомої щодо статора системи координат;

$$U_{s\beta 1} = \frac{U_{a1} + 2U_{b1}}{\sqrt{3}}, \quad U_{s\beta 2} = \frac{U_{a2} + 2U_{b2}}{\sqrt{3}},$$

$$U_{s\beta 3} = \frac{U_{a3} + 2U_{b3}}{\sqrt{3}} - \text{значення проекції вектора}$$

напруги, підведеного до статора двигуна, на вісь  $\beta$  нерухомої щодо статора системи координат;

$U_{a1}$ ,  $U_{a2}$ ,  $U_{a3}$ ,  $U_{b1}$ ,  $U_{b2}$ ,  $U_{b3}$  - значення фазних напруг фаз А і В для трьох послідовних інтервалів виміру;

$i_{s\alpha 1} = i_{a1}$ ,  $i_{s\alpha 2} = i_{a2}$ ,  $i_{s\alpha 3} = i_{a3}$ ,  $i_{s\alpha 4} = i_{a4}$  - значення проекції вектора струму статора (для чотирьох послідовних інтервалів виміру) на вісь  $\alpha$  нерухомої щодо статора системи координат;

$$i_{s\beta 1} = \frac{i_{a1} + 2i_{b1}}{\sqrt{3}}, \quad i_{s\beta 2} = \frac{i_{a2} + 2i_{b2}}{\sqrt{3}},$$

$$i_{s\beta 3} = \frac{i_{a3} + 2i_{b3}}{\sqrt{3}}, \quad i_{s\beta 4} = \frac{i_{a4} + 2i_{b4}}{\sqrt{3}} - \text{значення}$$

проекції вектора струму статора (для чотирьох послідовних інтервалів виміру) на вісь  $\beta$  нерухомої щодо статора системи координат;

$i_{a1}$ ,  $i_{a2}$ ,  $i_{a3}$ ,  $i_{a4}$ ,  $i_{b1}$ ,  $i_{b2}$ ,  $i_{b3}$ ,  $i_{b4}$ , - значення фазних струмів фаз А і В для чотирьох послідовних інтервалів виміру;

$\omega = \omega_r$  - електрична частота обертання ротора (р - число пар полюсів).

Сутність технічного рішення, що заявляється, полягає в тому, що при реєстрації реально діючих в асинхронному двигуні сигналів у режимах його робочого функціонування з наступною статистичною обробкою сигналів; при використанні в якості реально діючих в асинхронному двигуні сигналів миттєвих значень фазних струмів для 4-х послідовних інтервалів виміру, миттєвих значень фазних або лінійних напруг для 4-х послідовних інтервалів виміру й частоти обертання вала машини (один вимір при стабільній швидкості або чотири - при нестабільній), а в якості параметрів асинхронних двигунів - активних опорів статора й ротора, власних індуктивностей статора й ротора і їхньої взаємної індуктивності; і при обчисленні параметрів асинхронного двигуна по формулах (1)-(4), за рахунок пасивної реєстрації сигналів від асинхронного двигуна і їх наступної статистичної обробки відбувається підвищення ефективності визначення

параметрів асинхронного двигуна. При цьому для визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статорів і роторів асинхронних двигунів не потрібно створення спеціальних режимів роботи двигуна, наприклад коротке замикання або холостий хід, не потрібно створення особливих режимів живлення двигуна, наприклад, додавання постійних складових у живлячу напругу, не потрібно виміру параметрів механічної системи (момент інерції, статичний момент опору) і не потрібно проведення додаткових дослідів, а вектор параметрів системи визначається в повному обсязі. Таким чином, сукупність істотних ознак технічного

рішення, що заявляється (способу визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статорів і роторів асинхронних двигунів), дозволяє досягти технічного результату, зазначеного у корисній моделі, що заявляється.

Застосування способу визначення активних опорів, власних і взаємних індуктивностей статорів і роторів асинхронних двигунів, що заявляється, ілюструється наступним прикладом конкретного здійснення.

Приклад.

Діагностика двигуна 4A80A4

Обмірювані величини:

$$\left. \begin{aligned} U_{a1} &= -91.484\text{В}; \\ U_{a2} &= -114.533\text{В}; \\ U_{a3} &= -136.877\text{В}; \\ U_{a4} &= -158.377\text{В}; \end{aligned} \right\}$$

значення фазної напруги фази А для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6}\text{с}$

$$\left. \begin{aligned} U_{b1} &= 303.275\text{В}; \\ U_{b2} &= 307.789\text{В}; \\ U_{b3} &= 310.407\text{В}; \\ U_{b4} &= 311.11\text{В}; \end{aligned} \right\}$$

значення фазної напруги фази В для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6}\text{с}$

$$\left. \begin{aligned} i_{a1} &= 1.138\text{А}; \\ i_{a2} &= 0.854\text{А}; \\ i_{a3} &= 0.563\text{А}; \\ i_{a4} &= 0.27\text{А}; \end{aligned} \right\}$$

значення фазного струму фази А для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6}\text{с}$

$$\left. \begin{aligned} i_{b1} &= 2.536\text{А}; \\ i_{b2} &= 2.746\text{А}; \\ i_{b3} &= 2.939\text{А}; \\ i_{b4} &= 3.114\text{А}; \end{aligned} \right\}$$

значення фазного струму фази В для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6}\text{с}$

Переводимо обмірювані величини в нерухому щодо статора двокоординатну систему координат  $\alpha, \beta$ :

$$i_{\alpha}=i_a;$$

$$i_{\beta} = \frac{i_a + 2i_b}{\sqrt{3}} ;$$

$$U_{\alpha}=U_a;$$

$$U_{\beta} = \frac{U_a + 2U_b}{\sqrt{3}} .$$

$$\left. \begin{aligned} U_{s\alpha 1} &= -91.484\text{В}; \\ U_{s\alpha 2} &= -114.533\text{В}; \\ U_{s\alpha 3} &= -136.877\text{В}; \\ U_{s\alpha 4} &= -158.377\text{В}; \end{aligned} \right\}$$

значення проекцій вектора напруги статора на вісь  $\alpha$  для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6}\text{с}$

$$\left. \begin{aligned} U_{s\beta 1} &= 297.373\text{В}; \\ U_{s\beta 2} &= 289.279\text{В}; \\ U_{s\beta 3} &= 279.401\text{В}; \\ U_{s\beta 4} &= 267.8\text{В}; \end{aligned} \right\}$$

значення проекцій вектора напруги статора на вісь  $\beta$  для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6}\text{с}$

$$\left. \begin{aligned} i_{a1} &= 1.138 \text{ A}; \\ i_{a2} &= 0.854 \text{ A}; \\ i_{a3} &= 0.563 \text{ A}; \\ i_{a4} &= 0.27 \text{ A}; \end{aligned} \right\}$$

значення проекцій вектора струму статора на вісь  $\alpha$  для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6} \text{ c}$

$$\left. \begin{aligned} i_{s\beta 1} &= 3.585 \text{ A}; \\ i_{s\beta 2} &= 3.664 \text{ A}; \\ i_{s\beta 3} &= 3.719 \text{ A}; \\ i_{s\beta 4} &= 3.752 \text{ A}; \end{aligned} \right\}$$

значення проекцій вектора напруги статора на вісь  $\beta$  для 4-х послідовних вимірів з інтервалом  $dt=250 \cdot 10^{-6} \text{ c}$

Розраховуємо значення коефіцієнтів  $k_1$ - $k_{42}$ :

$$k_1 = U_{s\alpha 1} - U_{s\alpha 2} - \omega dt U_{s\beta 1} = 1.002 \text{ B}$$

$$k_2 = U_{s\beta 1} - U_{s\beta 2} + \omega dt U_{s\alpha 1} = 1.312 \text{ B}$$

$$k_3 = U_{s\alpha 2} - U_{s\alpha 3} - \omega dt U_{s\beta 2} = 0.896 \text{ B};$$

$$k_4 = U_{s\beta 2} - U_{s\beta 3} + \omega dt U_{s\alpha 2} = 1.386 \text{ B};$$

$$k_5 = -i_{s\alpha 1} + i_{s\alpha 2} + \omega dt i_{s\beta 1} = -0.019 \text{ A};$$

$$k_6 = -i_{s\beta 1} + i_{s\beta 2} - \omega dt i_{s\alpha 1} = -6.138 \cdot 10^{-3} \text{ A};$$

$$k_7 = -i_{s\alpha 2} + i_{s\alpha 3} + \omega dt i_{s\beta 2} = -0.018 \text{ A};$$

$$k_8 = -i_{s\beta 2} + i_{s\beta 3} - \omega dt i_{s\alpha 2} = -7.609 \cdot 10^{-3} \text{ A};$$

$$k_9 = -\frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} + \omega dt \frac{di_{s\beta 1}}{dt} = 2.16 \frac{\text{A}}{\text{c}};$$

$$k_{10} = -\frac{di_{s\beta 1}}{dt} + \frac{di_{s\beta 2}}{dt} - \omega dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} = -5.884 \frac{\text{A}}{\text{c}};$$

$$k_{11} = -\frac{di_{s\alpha 2}}{dt} + \frac{di_{s\alpha 3}}{dt} + \omega dt \frac{di_{s\beta 2}}{dt} = 2.615 \frac{\text{A}}{\text{c}};$$

$$k_{12} = -\frac{di_{s\beta 2}}{dt} + \frac{di_{s\beta 3}}{dt} - \omega dt \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} = -5.696 \frac{\text{A}}{\text{c}};$$

$$k_{13} = \frac{(i_{s\beta 1} - i_{s\beta 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})} = -0.275;$$

$$k_{14} = \frac{(i_{s\alpha 3} - i_{s\alpha 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})} = -1.018;$$

$$k_{15} = \frac{(i_{s\beta 3} - i_{s\beta 2})}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})} = 0.195;$$

$$k_{16} = k_6 - k_5 k_{13} = -0.22 \text{ A};$$

$$k_{17} = k_7 + k_5 k_{14} = 8.91 \cdot 10^{-4} \text{ A};$$

$$k_{18} = k_8 + k_{15} k_5 = -0.011 \text{ A};$$

$$k_{19} = dt(-i_{s\beta 1} + i_{s\alpha 1} k_{13}) = -0.017746 \text{ A} \cdot \text{c};$$

$$k_{20} = dt(-i_{s\alpha 2} - k_{14} i_{s\alpha 1}) = 7.646 \cdot 10^{-5} \text{ A} \cdot \text{c};$$

$$k_{21} = dt(-i_{s\beta 2} - k_{15} i_{s\alpha 1}) = -9.716 \cdot 10^{-4} \text{ A} \cdot \text{c};$$

$$k_{22} = -k_2 + k_{13} k_3 = -1.587 \text{ B}$$

$$k_{23} = k_{13} k_9 - k_{10} = 5.29 \frac{\text{A}}{\text{c}}$$

$$k_{24} = -U_{s\beta 1} + k_{13} U_{s\alpha 1} = -272.235 \text{ B}$$

$$k_{25} = \frac{di_{s\beta 1}}{dt} - k_{13} \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} = 0$$

$$k_{26} = k_{16} k_3 + k_{22} k_{17} + k_{13} k_{16} k_{14} = -5.846 \cdot 10^{-16} \text{ B} \cdot \text{A}$$

$$k_{27} = k_{16} k_4 + k_{22} k_{18} + k_{13} k_{16} k_{15} = 5.911 \cdot 10^{-16} \text{ B} \cdot \text{A}$$

$$k_{28} = k_3 k_{19} + k_{24} dt k_{17} + k_{20} k_{22} + U_{s\alpha 2} k_{16} dt + U_{s\alpha 1} k_{14} k_{16} dt + k_{14} k_{19} k_1 = 5.421 \cdot 10^{-18} \text{ B} \cdot \text{A} \cdot \text{c}$$

$$k_{29} = k_{19} k_4 + k_{24} dt k_{18} + k_{22} k_{21} + U_{s\beta 2} k_{16} dt + U_{s\alpha 1} k_{15} k_{16} dt + k_{15} k_{19} k_1 = 4.18 \cdot 10^{-17} \text{ B} \cdot \text{A} \cdot \text{c}$$

$$k_{30} = k_{23} k_{17} + k_{13} k_{16} + k_{9} k_{16} k_{14} = 8.349 \cdot 10^{-14} \frac{\text{A}^2}{\text{c}}$$

$$k_{31} = k_{23} k_{18} + k_{16} k_{12} + k_{9} k_{16} k_{15} = -5.642 \cdot 10^{-15} \frac{\text{A}^2}{\text{c}}$$

$$k_{32} = dt k_{17} k_{25} + k_{20} k_{23} + k_{13} k_{19} - dt \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} k_{16} - k_{14} k_{16} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + k_{14} k_{19} k_9 = 6.804 \cdot 10^{-15} \text{ A}^2$$

$$k_{33} = k_{18} dt k_{25} + k_{23} k_{21} + k_{12} k_{19} - dt \frac{di_{s\beta 2}}{dt} k_{16} - k_{15} k_{16} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} + k_{15} k_{9} k_{19} = -4.262 \cdot 10^{-16} \text{ A}^2$$

$$k_{34} = k_{24} k_{20} dt + dt U_{s\alpha 2} k_{19} + k_{14} k_{19} dt U_{s\alpha 1} = -6.287 \cdot 10^{-18} \text{ B} \cdot \text{A} \cdot \text{c}^2$$

$$k_{35} = k_{24} k_{21} dt + dt U_{s\beta 2} k_{19} + k_{15} k_{19} dt U_{s\alpha 1} = -2.795 \cdot 10^{-20} \text{ B} \cdot \text{A} \cdot \text{c}^2$$

$$k_{36} = k_{25} k_{20} dt - dt k_{19} \frac{di_{s\alpha 2}}{dt} - k_{14} k_{19} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} = 0$$

$$k_{37} = k_{21} dt k_{25} - dt k_{19} \frac{di_{s\beta 2}}{dt} - k_{15} k_{19} dt \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} = 6.776 \cdot 10^{-21} \text{ A}^2 \cdot \text{c}$$

$$k_{38} = -k_{37} k_{34} + k_{36} k_{35} = -8.724 \cdot 10^{-40} \text{ B} \cdot \text{A}^3 \cdot \text{c}^3$$

$$k_{39} = k_{36} k_{29} - k_{33} k_{34} - k_{28} k_{37} + k_{32} k_{35} = -1.353 \cdot 10^{-34} \text{ B} \cdot \text{A}^3 \cdot \text{c}^2$$

$$k_{40} = k_{27} k_{36} + k_{32} k_{29} - k_{31} k_{34} - k_{37} k_{26} - k_{33} k_{28} + k_{30} k_{35} = 2.851 \cdot 10^{-31} \text{ B} \cdot \text{A}^3 \cdot \text{c}$$

$$k_{41} = k_{27} k_{32} + k_{30} k_{29} - k_{33} k_{26} - k_{31} k_{28} = 7.292 \cdot 10^{-16} \text{ B} \cdot \text{A}^3$$

$$k_{42} = k_{30} k_{27} - k_{31} k_{26} = 7.401 \cdot 10^{-15} \frac{\text{B} \cdot \text{A}^3}{\text{c}}$$

Вирішуючи рівняння  $k_{38} C^4 + k_{39} C^3 + k_{40} C^2 + k_{41} C + k_{42} = 0$  будь-яким чисельним методом, одержуємо:  $C = -10.149 \text{ c}^{-1}$ .

Знаходимо проміжний параметр  $B$ :

$$B = \frac{-k34C^2 - k26 - k28C}{k30 + k32C + k36C^2} = 0.045 \text{ Гн.}$$

Знаходимо опір статора:

$$R_s = \frac{-k2 - Bk10 + Cdt \left( -U_{s\beta 1} + B \frac{di_{s\beta 1}}{dt} \right) + k13 \left( k1 + Bk9 + Cdt \left( U_{s\alpha 1} - B \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right) \right)}{(k16 + Ck19)} = 8.27 \text{ Ом.}$$

Знаходимо проміжний параметр D:

$$D = \frac{k1 + R_s k5 + Bk9 - Cdt \left( -U_{s\alpha 1} + R_s i_{s\alpha 1} + B \frac{di_{s\alpha 1}}{dt} \right)}{(i_{s\alpha 1} - i_{s\alpha 2})} = 3.753 \text{ Ом.}$$

Знаходимо власні індуктивності обмотки статора й ротора:

$$L_s = L_r = B - \frac{D}{C} = 0.415 \text{ Гн.}$$

Знаходимо взаємну індуктивність обмоток статора й ротора:

$$L_m = \sqrt{-\frac{D}{C} L_r} = 0.392 \text{ Гн.}$$

Знаходимо активний опір ротора:

$$R_r = -CL_r = 4.212 \text{ Ом.}$$

Таблиця

Найменування параметра	Паспортне значення параметра	Реальне значення параметра
Активний опір обмотки статора	9.5 Ом	8.27 Ом
Активний опір обмотки ротора	5 Ом	4.212 Ом
Власна індуктивність обмоток статора й ротора	0.470 Гн	0.415 Гн
Взаємна індуктивність обмоток статора й ротора	0.440 Гн	0.392 Гн

Як видно з результатів досвідченого визначення параметрів (див. табл.), реальні значення відрізняються від тих, які записані в паспорті.

Використання достовірних параметрів замість наближених паспортних дозволяє:

- Заощаджувати електроенергію, використовуючи економне векторне керування.

Векторне керування є дуже чутливим до параметрів машини й дає найкращі результати при максимально точному визначенні параметрів. При великій розбіжності реальних і паспортних пара-

метрів система векторного керування може навіть втратити працездатність.

- Заощаджувати ресурс машини. Наведений спосіб дозволяє визначати параметри машини після ремонту, які можуть істотно відрізнятися від таких перед ремонтом. Зі зміною параметрів міняється перевантажувальна здатність машини, що дозволяє використати машину тільки в тих навантажувальних режимах, які забезпечать номінальний тепловий режим. Дотримання номінального теплового режиму дозволяє збільшити міжремонтні строки для асинхронних двигунів.