



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **45151** (13) **U**
(51) **МПК (2009)**
H02K 15/00
G01R 31/34

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ЗАХИСТУ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ ВІД ТЕПЛОВОГО ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ

1

2

(21) u200905521

(22) 01.06.2009

(24) 26.10.2009

(46) 26.10.2009, Бюл.№ 20, 2009 р.

(72) СИВОКОБИЛЕНКО ВІТАЛІЙ ФЕДОРОВИЧ,
ТКАЧЕНКО СЕРГІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

(73) ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІ-
ВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб захисту асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором від теплового перевантаження, що включає попереднє визначення перед введенням в експлуатацію короткозамкненого асинхронного двигуна при відомій початковій температурі холодного стану машини опору обмоток статора, гілки намагнічування з досліду неробочого ходу і функціональних залежностей опору ротора від ковзання з дослідів подачі на статор трифазної напруги різної частоти при нерухомій

машині, безперервне вимірювання в робочому режимі миттєвих значень фазних струмів і напруг, ковзання, температури нагріву статора, обчислення за даними вимірювань активних опорів ротора для поточного ковзання і поточної температури і для поточного ковзання і температури холодного стану, визначення температури нагріву ротора на основі порівняння між собою вказаних вище опорів, при перевищенні допустимих значень температури нагріву статора або ротора проводять відключення двигуна від живильної мережі, який **відрізняється** тим, що в динамічних режимах додатково вимірюють напругу, що пропорційна похідним фазних струмів статора, за допомогою яких з диференціально-інтегральних рівнянь контурів статора і ротора знаходять похідні струмів гілки намагнічування і контуру ротора, а потім визначають температуру нагріву ротора.

Корисна модель відноситься до електротехніки, а саме до способів захисту короткозамкненого асинхронного електродвигуна (АЕД) від теплового перевантаження статора і ротора, і може бути використана для вимірювання температури ротора машини і для побудови вдосконаленого захисту від перегріву машини.

Відомі способи для захисту від теплового перевантаження АЕД засновані на використуванні інтегральної залежності струму статора у функції часу (мікропроцесорний термінал захисту АЕД з короткозамкненим ротором РДЦ-01, виробництва БАТ «Електротехнічний завод» РЕЛСіС®, Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: Учебник для вузов / В.А. Андреев. - 4-е изд. Перераб. и. доп. - М.: Высш. Шк., 2006. - 639с: ил. ISBN 5-06-004826-8). Проте цим способом властиві недоліки у виді відсутності контролю температури нагріву обмоток статора і ротора.

Найближчим по технічній суті є спосіб захисту від теплового перегріву статора і ротора АЕД (Патент України №27710, МПК7 H02K15/00, опубл.

12.11.2007), який розкритий в описі способу захисту асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором від теплового перевантаження. Захист здійснюють шляхом попереднього визначення перед введенням в експлуатацію короткозамкненого асинхронного двигуна при відомій початковій температурі холодного стану машини опору обмоток статора, гілки намагнічування з досліду неробочого ходу і функціональні залежності опору ротора від ковзання з дослідів подачі на статор трифазної напруги різної частоти при нерухомій машині, безперервного вимірювання в робочому режимі миттєвих значень фазних струмів і напруг, ковзання, температури нагріву статора, обчислення за даними вимірювань активних опорів ротора для поточного ковзання і поточної температури та для поточного ковзання і температури холодного стану, визначення температури нагріву ротора на основі порівняння між собою вказаних вище опорів, при перевищенні допустимих значень температури нагріву статора і ротора

(13) **U**

(11) **45151**

(19) **UA**

проводять відключення двигуна від живлячої мережі.

Досягнення технічного результату найближчим аналогом представляється можливим тільки в стаціонарних режимах роботи АЕД при постійному навантаженні на валу і незмінній напрузі статора. У динамічних режимах виникають похибки вимірювань, що впливають на точність визначення температури нагріву обмотки ротора.

Загальними ознаками найближчого аналога, з ознаками способу захисту, що заявляється, від теплового перевантаження є: попереднє визначення перед введенням в експлуатацію короткозамкненого асинхронного двигуна при відомій початковій температурі холодного стану машини опору обмоток статора, вітки намагнічування з досліді неробочого ходу і функціональні залежності опору ротора від ковзання з дослідів подачі на статор трифазної напруги різної частоти при нерухомій машині, безперервне вимірювання в робочому режимі миттєвих значень фазних струмів і напруг, ковзання, температури нагріву статора, обчислення за даними вимірювань активних опорів ротора для поточного ковзання і поточної температури і для поточного ковзання і температури холодного стану, визначення температури нагріву ротора на основі порівняння між собою вказаних вище опорів, при перевищенні допустимих значень температури нагріву статора або ротора проводять відключення двигуна від живлячої мережі.

У основу корисної моделі поставлена задача удосконалення способу захисту асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором від теплового перевантаження, в якому за рахунок можливості урахування похідних струмів при розрахунку температури нагріву ротора забезпечується підвищення точності вимірювань температури, що приводить до підвищення надійності релейного захисту двигуна.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі захисту асинхронного електродвигуна з короткозамкнутим ротором від теплового перевантаження, який включає попереднє визначення перед введенням в експлуатацію короткозамкненого асинхронного двигуна при відомій початковій температурі холодного стану машини опору обмоток статора, вітки намагнічування з досліді неробочого ходу і функціональні залежності опору ротора від ковзання з дослідів подачі на статор трифазної напруги різної частоти при нерухомій машині, безперервне вимірювання в робочому режимі миттєвих значень фазних струмів і напруг, ковзання, температури нагріву статора, обчислення за даними вимірювань активних опорів ротора для поточного ковзання і поточної температури і для поточного ковзання і температури холодного стану, визначення температури нагріву ротора на основі порівняння між собою вказаних вище опорів, при перевищенні допустимих значень температури нагріву статора або ротора проводять відключення двигуна від живлячої мережі, згідно корисної моделі в динамічних режимах додатково вимірюють напругу, що пропорційна похідним фазних струмів статора, за допомогою яких з диференціально-інтегральних рівнянь контурів статора і ротора

знаходять похідні струмів вітки намагнічування і контура ротора, а потім виробляють обчислення температури нагріву ротора.

Суть способу пояснюється рисунками 1 і 2, на яких представлені Фіг.1 Функція активного опору ротора від ковзання $R_R^{исх}(s)$ для початкової температури холодного стану $T_R^{нач}$, Фіг.2 Схема заміщення АЕД з урахуванням ефекту витіснення струму та контуром втрат в сталі.

Процес визначення температури виробляється при будь-якій величині живлячої напруги, струму і навантаженню на валу. Контроль температури нагріву виробляється безперервно, шляхом додаткового вимірювання напруг, що пропорційні похідним фазних струмів статора, за допомогою яких з інтегрально-диференціального рівняння вхідного кола статора знаходять похідні струмів вітки намагнічування і контура ротора, а потім виробляють обчислення температури нагріву ротора на основі розрахунку, що використовує схему заміщення АЕД показану на Фіг.2.

Пропонований спосіб вимірювання може бути реалізований для контролю теплового стану ротора короткозамкнених асинхронних електродвигунів, для виявлення режиму перевантаження машини, що є найчастішою причиною пошкодження АЕД.

Приклад реалізації способу:

Попереднє проведення дослідів холостого ходу і короткого замикання, подачі на статор трифазної напруги різної частоти при нерухомій машині, вимірювання початкової температури холодного стану обмоток статора ($T_s^{поч}$) і ротора ($T_R^{поч}$).

Визначення за даними дослідів опорів у відносних одиницях (в.о.) для обмоток статора ($R_s, X_{ос}$), вітки намагнічування (X_u), контура втрат в сталі ($R_{FE}, X_{оFE}$) і функціональних залежностей опору ротора $R_R^{исх}(s)$ від ковзання при відомій початковій температурі холодного стану $T_R^{поч}$.

Для робочого стану машини в кожному циклі виконуються:

- вимірювання фазних струмів (i_a, i_b, i_c) і напруг (u_a, u_b, u_c);
- вимірювання ковзання s ;
- вимірювання температури нагріву обмотки статора T_s ;
- вимірювання похідних фазних струмів статора (pi_a, pi_b, pi_c);
- коректування активного опору обмотки статора АЕД

$$R_{СК} = R_s(1 + \alpha \cdot (T_s - T_s^{поч})),$$

де α - температурний коефіцієнт провідника обмотки статора, $1/^\circ\text{C}$; T_s - поточне значення температури обмоток статора, що вимірюється термодатчиками, $^\circ\text{C}$;

- переклад миттєвих значень фазних струмів (i_a, i_b, i_c) і напруг (u_a, u_b, u_c) в нерухому систему координат α, β ($i_\alpha, i_\beta, u_\alpha, u_\beta$)

$$i_\alpha = \frac{2}{3} \cdot (i_a - \frac{i_b + i_c}{2}), \quad i_\beta = \frac{i_b + i_c}{\sqrt{3}},$$

$$u_\alpha = \frac{2}{3} \cdot (u_a - \frac{u_b + u_c}{2}), \quad u_\beta = \frac{u_b + u_c}{\sqrt{3}};$$

- визначення напруги кола статора в осях α, β

$$u_{\mu\alpha} = u_{\alpha} - R_{SK} \cdot i_{\alpha} - X_{\sigma S} \cdot p i_{\alpha},$$

$$u_{\mu\beta} = u_{\beta} - R_{SK} \cdot i_{\beta} - X_{\sigma S} \cdot p i_{\beta};$$

- визначення струму контура втрат в сталі в осях α , β на основі чисельного рішення диференціальних рівнянь методом Ейлера

$$i_{FE\alpha}^{n+1} = (u_{\mu\alpha} - R_{FE} \cdot i_{FE\alpha}^n) \cdot \frac{h}{X_{\sigma FE}} + i_{FE\alpha}^n,$$

$$i_{FE\beta}^{n+1} = (u_{\mu\beta} - R_{FE} \cdot i_{FE\beta}^n) \cdot \frac{h}{X_{\sigma FE}} + i_{FE\beta}^n,$$

де h - проміжок часу між вимірюваннями; n - поточна розрахункова крапка

- визначення струму вітки намагнічування в осях α , β на основі чисельного рішення диференціальних рівнянь методом Ейлера

$$i_{\mu\alpha}^{n-1} = u_{\mu\alpha} \cdot \frac{h}{X_{\mu}} + i_{\mu\alpha}^n,$$

$$i_{\mu\beta}^{n-1} = u_{\mu\beta} \cdot \frac{h}{X_{\mu}} + i_{\mu\beta}^n;$$

- визначення струму, що протікає в короткозамкненій обмотці ротора

$$i_{R\alpha} = i_{\alpha} - i_{FE\alpha} - i_{\mu\alpha},$$

$$i_{R\beta} = i_{\beta} - i_{FE\beta} - i_{\mu\beta};$$

- визначення похідної струму ротора ($p i_{R\alpha}$, $p i_{R\beta}$) чисельним способом по трьох попередніх крапках в осях α , β

$$p i_{R\alpha} = \frac{1}{2 \cdot h} \cdot (3 \cdot i_{R\alpha}^n - 4 \cdot i_{R\alpha}^{n-1} + i_{R\alpha}^{n-2}),$$

$$p i_{R\beta} = \frac{1}{2 \cdot h} \cdot (3 \cdot i_{R\beta}^n - 4 \cdot i_{R\beta}^{n-1} + i_{R\beta}^{n-2});$$

- обчислення активного опору ротора в гарячому стані для поточного значення ковзання s

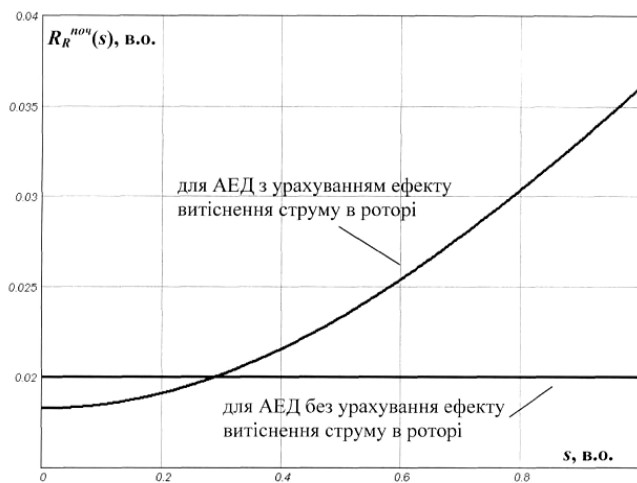
$$R_R^{gap}(s) = \frac{U_{\mu\beta} \cdot p i_{R\alpha} - U_{\mu\alpha} \cdot p i_{R\beta}}{I_{R\alpha} \cdot p i_{R\beta} - I_{R\beta} \cdot p i_{R\alpha}};$$

- обчислення температури ротора АЕД

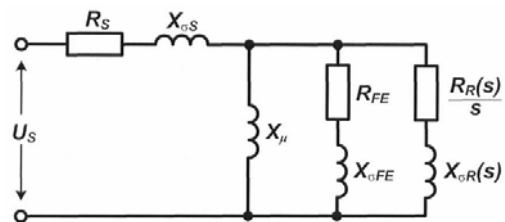
$$T_R = \left[\frac{R_R^{gap}(s) - R_R^{поч}(s)}{R_R^{поч}(s)} \cdot (235 + T_R^{поч}) + T_R^{поч} \right], ^\circ C;$$

- порівняння температури ротора з його допустимим значенням і при перевищенні температури допустимого значення проводять відключення електродвигуна від живлячої мережі.

Використання запропонованого способу забезпечує удосконалення способу захисту асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором від теплового перевантаження за рахунок безперервного вимірювання параметрів стану машини в динамічних режимах (фазні струми і напруги, ковзання, температура статора), додаткового вимірювання похідних струмів статора і безперервного визначення температури нагріву ротора.



Фиг. 1



Фиг. 2