

УДК 621.313.333+621.316.925.4

## АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ДЛЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ЗАХИСТУ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ

Нестерчук Д.М., к.т.н.,

Рижков А.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел.: (097)43-96-458

**Анотація** – робота присвячена розробці алгоритму для функціонування системи діагностування та захисту низьковольтних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором та його адаптації для конкретних типів електродвигунів.

**Ключові слова:** алгоритм, асинхронний електродвигун, система діагностування та захист, ідентифікація

*Постановка проблеми.* Однією з основних задач сучасних промислового і агропромислового виробництва є підвищення якості, конкурентоспроможності та економічності продукції, підвищення її надійності, зниження вартості, матеріалоємності і енергоспоживання. Тому особливий вплив на вирішення цього завдання надає надійність роботи асинхронних електродвигунів (АД), які використовуються як приводні механізми для обладнання промислового і агропромислового виробництва. Зазвичай дані АД розраховуються на термін служби до 5...20 років з проведенням капітальних ремонтів. Обов'язковою умовою при експлуатації АД є робота при номінальних або каталожних параметрах, що вказуються в паспорті АД. Однак необхідно зазначити, що реальні умови роботи низьковольтних АД з короткозамкненим ротором є умови, які далекі від необхідних. До чинників, що спотворюють номінальні експлуатаційні режими роботи АД, належать:

- спотворення напруги живлення, яке виникає наявністю несиметричного навантаження;
- несправності системи охолодження електричної машини;
- порушення правил технічної експлуатації – часті технологічні перевантаження, незадовільні умови навколишнього середовища, а

саме, підвищена вологість, агресивне середовище, перепади температури [1, 2, 3].

Анормальні режими роботи АД призводять до росту температури їх обмоток та, як наслідок, до скорочення строку служби. Залежно від теплового стану АД і навколишнього середовища ступінь їх впливу може бути різною: якщо різниця температур електродвигуна і навколишнього середовища невелика, а енергія, що виділяється, значна, то її основна частина поглинається обмоткою, сталлю статора і ротора, корпусом та іншими його частинами. Відбувається інтенсивне зростання температури ізоляції. По мірі нагрівання все більше проявляється вплив тепловіддачі.

Процес встановлюється після досягнення рівноваги між виділеним теплом і теплом, що віддається в навколишнє середовище. Ріст температури ізоляції обмоток є причиною старіння ізоляції обмоток статора та сприяє появі таких відмов, як міжфазні короткі замикання та виткові замикання [1–4].

Підвищення струму понад допустиме значення не відразу призводить до аварійного стану. Потрібен деякий час, перш ніж статор і ротор нагріються до граничної температури.

Тому немає необхідності в тому, щоб захист реагував на кожне перевищення струму. Він повинен відключати машину тільки в тих випадках, коли виникає небезпека швидкого зносу ізоляції. З точки зору нагріву ізоляції велике значення мають величина і тривалість протікання струмів, що перевищують номінальне значення. Ці параметри залежать, насамперед, від характеру технологічного процесу [3, 5].

Зазначені обставини зумовлюють необхідність підвищення вимог щодо експлуатації АД, з урахуванням їх реальних індивідуальних характеристик і параметрів, які можуть змінитися в процесі роботи або під час ремонту, впровадження нових підходів до принципів побудови пристроїв моніторингу та захисту АД, а також удосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів для системи діагностування та захисту АД.

*Аналіз останніх досліджень.* За даними статистичного аналізу, що зібраний та проаналізований багатьма авторами [1–8], саме обмотки статора є причиною виходу з ладу електродвигунів в 75...85% випадків, на пошкодження підшипникового вузла припадає 5...8%, пошкодження в роторі – 5...8% від загального числа відмов елементів конструкції АД.

За даними літературних джерел існують класичні методи побудови захисту, які ґрунтуються на застосуванні захисту від перевантаження статора при використанні діючого значення сили струму від часу спрацювання або часо-струмової характеристики [6].

До недоліків таких методів можна віднести неможливість контролю температури обмоток статора та ротора АД, а також неспроможності захисту при багатократних пусках при включеному навантаженні.

Більшість методів та пристрої теплового захисту АД, які побудовані на сучасних мікропроцесорах, засновано на безперервному вимірюванні температури обмотки статора за допомогою вбудованого в фазні обмотки напівпровідникових термодатчиків.

Слід зазначити, що до недоліків такого підходу слід віднести інерційність термодатчиків та відсутність контролю температури ізоляції обмоток ротора. В [7] наведена детальна інформація щодо розрахунку теплового стану АД з застосуванням динамічних теплових схем заміщення АД. В [8] запропонований спосіб контролю температури ротора в стаціонарному режимі за даними вимірювання сили струму, напруги та ковзання.

Актуальним в наш час є впровадження комбінованого теплового захисту на базі сучасних мікроконтролерів, так як стало можливим вирішувати задачу діагностування АД та побудови комбінованого захисту для ізоляції обмоток, як статора, так й ротора АД, як при повільних, так й при швидких наростаннях теплових перевантажень.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Створення алгоритму ідентифікації параметрів АД, як основи інформаційного забезпечення процесу експлуатації і ремонту АД, для зменшення ресурсних та енергетичних витрат.

*Основні матеріали дослідження (основна частина).* В процесі експлуатації і ремонту параметри і характеристики асинхронного електроприводу змінюються і вимагають свого визначення для забезпечення реального номінального навантаження на електропривод і подовження строку служби АД.

Тому є актуальною необхідність визначення реальних параметрів АД. Сучасний розвиток інформаційних технологій дозволяє вирішувати проблему шляхом створення єдиної системи інформаційного забезпечення при функціонуванні системи діагностування та захисту АД з к.з. ротором.

Основою системи при експлуатації АД є моніторинг параметрів і технічного стану електроприводу.

Узагальнена система діагностування та захисту групи АД наведена на рис.1 [9].

Вхідними сигналами системи є фазні струми статора, напруга живлення та температура ізоляції обмоток АД. Збір даних з первинних перетворювачів щодо величин фазних струмів, напруги живлення та температури ізоляції обмоток здійснює вимірювальна частина ВПК.

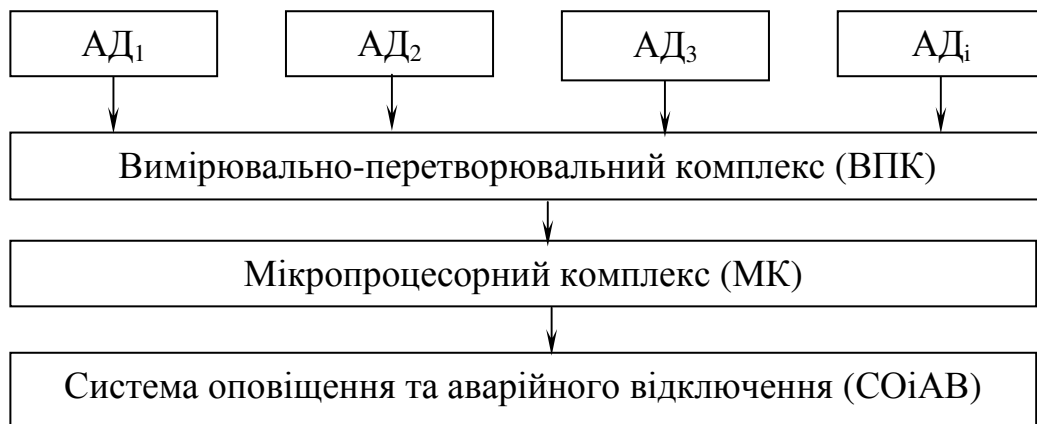


Рис. 1. Система діагностування та захисту групи АД.

Перетворення отриманих вимірювальних сигналів в дискретний вид здійснюється в частині перетворення ВПК системи. В МК системи реалізується алгоритм обробки вимірювальної інформації, реалізації моделі функціональної діагностики АД за величинами параметрів моделі діагностики, їх зберігання і відомостей про моніторинг роботи АД, а також надається рішення щодо можливості подальшої роботи, наявності виду несправності, визначення її розвитку та прогнозування очікуваного строку безвідмовної роботи АД.

Інформація щодо моніторингу роботи АД надається оператору за допомогою системи оповіщення. За необхідністю здійснюється відключення АД від мережі живлення.

За результатами моніторингу оцінюється фактичний технічний стан АД, розбіжність значень параметрів контролю, а також визначається критичний вузол, який потребує ремонту за результатами прогнозування, а не за графіком.

Загальними методами для реалізації моніторингу параметрів асинхронного електроприводу в процесі експлуатації є методи ідентифікації за вимірювальними сигналами згідно алгоритмів ідентифікації номінальних параметрів.

Алгоритм ідентифікації номінальних параметрів і параметрів динамічного режиму АД – це послідовність кроків, які дозволяють отримати при використанні вимірювально-перетворювального комплексу системи масиву даних усталених та перехідних процесів струмів та напруг, достатніх для подальшої процедури ідентифікації АД [10].

Початковими даними для алгоритму є сила електричного струму, що споживається АД, та допоміжні параметри, до яких належать – номінальна потужність, номінальний струм, номінальний коефіцієнт корисної дії АД, клас нагрівостійкості системи ізоляції, інтервал часу зчитування сили струму (крок дискретизації).

На основі вище наведеного масиву даних, який вводиться оператором в пам'ять мікроконтролера, останнім здійснюється ідентифікація опору фаз статора, а також аналітично визначається коефіцієнт втрат потужності  $a$  з урахуванням розподілу втрат потужності в АД в цілому.

Алгоритм складається з таких кроків:

- 1) визначення поточного часу;
- 2) дискретне вимірювання миттєвих значень сили струму АД;
- 3) обчислення діючого значення сили струму з числовою фільтрацією отриманих значень;
- 4) визначення середньоквадратичного діючого значення сили струму;
- 5) визначення кратності струму по відношенню до номінального струму

$$k = \frac{I}{I_{\text{ном}}} ; \quad (1)$$

- б) визначення усталеного перевищення температури електродвигуна над температурою навколишнього середовища

$$\tau_y = \tau_n \cdot \frac{a + k^2}{a + 1}, \quad (2)$$

де  $\tau_n$  - номінальне перевищення температури електродвигуна над температурою навколишнього середовища, °C ;

- 7) визначення еквівалентної постійної часу нагрівання АД

$$T = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot \tau_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot \tau_2}{\Delta P_n}, \quad (3)$$

де  $c_1$  – питома теплоємність міді,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  ;

$m_1$  – маса міді (обмотки), кг;

$\tau_{1n}$  – номінальне перевищення температури міді, °C ;

$c_2$  – питома теплоємність сталі,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  ;

$m_2$  – маса сталі, кг;

$\tau_{2n}$  – номінальне перевищення температури сталі, °C [3];

- 8) визначення перевищення температури обмотки згідно рівняння нагріву обмотки

$$\tau = \tau_y \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \tau_{\text{поч}} e^{-\frac{t}{T}}, \quad (4)$$

де  $\tau_{\text{поч}}$  – початкове перевищення температури обмотки АД, °C ;

$t$  – поточний час, с;

9) визначення фактичної температури обмотки електродвигуна з урахуванням температури навколишнього середовища  $\vartheta_{сер}$

$$\Theta = \tau + \vartheta_{сер}; \quad (5)$$

10) перевірка умов

- якщо  $\tau > \tau_n$ , то в мікропроцесорному комплексі формується сигнал персоналу щодо початку теплового перевантаження;

- якщо  $\Theta > \Theta_n$ , то в мікропроцесорному комплексі формується команда на відключення АД.

#### *Висновки.*

1 Запропонований алгоритм може бути основою для побудови системи безперервного та неруйнівного діагностування асинхронних електродвигунів.

2 Наявність мікропроцесорного комплексу в системі діагностування дозволить оперативно адаптувати алгоритм і параметри системи під параметри конкретного типу асинхронного електродвигуна.

#### *Список використаних джерел.*

1. Гольдберг О.Д. Надежность электрических машин: учебник для студ. высш. учеб.заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 288 с.

2. Кузнецов Н.Л. Надежность электрических машин / Н.Л. Кузнецов – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.

3. Овчаров В.В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / В.В.Овчаров. – К.: Изд – во УСХА, 1990. – 168 с.

4. Соркин М. Асинхронные электродвигатели 0,4 кВ. Аварийные режимы работы / М. Соркин // Новости электротехники. – 2005. – №2(32). – С. 36–38.

5. Закладний О.М. Захист як складник системи функціонального діагностування асинхронних електродвигунів / О.М.Закладний, В.В.Прокопенко, О.О.Закладний // Промелектро. – 2010. - №4. – С.36–40.

6. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электро-снабжения: учебник для Вузов / В.А.Андреев. - 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 2006. – 639 с.

7. Невзлин Б.И. Определение температуры срабатывания термодетектора / Б. И. Невзлин, Мохамед Аль-Фаваир, Е. Б. Ковалёв // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». - Донецьк: ДонНТУ, 2003. - Вип. 67. – С.185-189.

8. *Сивокобыленко В.Ф.* Микропроцессорная защита от тепловой перегрузки асинхронных электродвигателей/ В. Ф. Сивокобыленко, С. Н. Ткаченко// Технічна електродинаміка. Тем.вип. «Проблемисучасноїенергетики».Ч.1. – 2008. – С.47-52.

9. *Ніфантиєв О.М.* Система діагностики несправностей та моніторингу роботи групи асинхронних електродвигунів / О.М.Ніфантиєв, Д.М.Нестерчук // Зб. тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, спеціалістів, аспірантів «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика». - Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2015. – С.133.

10. *Бешта О.С.* Ідентифікація параметрів електропривода в задачах енерго- і ресурсозбереження (розвиток теорії, розробка і впровадження): Дис...доктор. техн. наук; 03.09.03/ НГУ. – Дніпропетровськ, 2001. – 344 с.

## **АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ**

Нестерчук Д.Н., Рыжков А.А.

*Аннотация* – работа посвящена разработке алгоритма для функционирования системы диагностирования и защиты низковольтных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором и его адаптации для конкретных типов электродвигателей.

## **ALGORITHMIZATION TO RUN THE SYSTEM OF DIAGNOSTICS AND PROTECTION OF LOW-VOLTAGE INDUCTION MOTORS WITH SQUIRREL-CAGE ROTOR**

D. Nesterchuk, A. Ryzhkov

### *Summary*

The paper is devoted to the development of an algorithm to run the system of diagnostics and protection of low-voltage induction motors with squirrel-cage rotor and its adaptation for specific types of electric motors.