

МЕТОД ТА ПРИСТРІЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОТОЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ НИЗЬКОВОЛЬТНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Нестерчук Д. М., Попова І. О., Постнікова М. В.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Досліджений вплив підвищеної вологості навколишнього середовища на розвиток пошкоджень та знос ізоляції обмоток низьковольтних асинхронних електродвигунів. Обґрунтовано, що поточний технічний стан ізоляції обмоток асинхронних електродвигунів визначається опором ізоляції, а параметром прогнозування є опір корпусній ізоляції змінному струму. Здійснена структуризація щодо будови пристрою прогнозування та моніторингу технічного стану ізоляції обмоток асинхронних електродвигунів.

Постановка проблеми. Надійність низьковольтних асинхронних електродвигунів (АД) визначається надійністю та станом ізоляції обмоток, які в процесі експлуатації підпадають під складні та несприятливі умови. Властивістю ізоляції обмоток є її електрична міцність, яка від дії вологості навколишнього середовища може різко зменшуватися, що призводить до зменшення опору ізоляції обмотки, до появи та підвищення струму витоку через ізоляцію на корпус АД.

Вирішення зазначених задач відкриває нові можливості щодо контролю поточного стану АД та створення систем прогнозування, моніторингу та захисту. Проблема зниження ефективності та надійності експлуатації електродвигунів пов'язана з проблемою виникнення аварійних режимів їх роботи та аварійної зупинки двигунів [1...3]. Тому обґрунтування методу і його технічна реалізація у пристрої прогнозування і моніторингу технічного стану (ТС) ізоляції обмоток АД є актуальними питаннями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз літературних джерел [1...6] показав наявність певного практичного досвіду при вирішенні питань прогнозування та моніторингу поточного технічного стану ізоляції обмоток АД. Особливий інтерес представляє питання методології прогнозування стану ізоляції в процесі експлуатації АД.

Дослідженнями таких питань займалися вчені В. В. Овчаров, О. Д. Гольдберг, М. Л. Кузнецов, О. М. Закладний [1...4]. Процеси старіння ізоляції обмоток АД проходять поступово, так як здійснюється усихання, випаровування летючих компонентів, зменшення еластичності ізоляції та підвищення її крихкості, що призводить до розвитку процесів механічного старіння. В ізоляції з'являються тріщини, розшаровування та створюються умови для іонізаційних явищ. Волога сприяє прискоренню та активізації процесів старіння ізоляції обмоток. Волога проникає до ізоляції обмоток електродвигуна, головним чином, в періоди її неробочого стану.

Особливо інтенсивно цей процес проходить під час охолодження електродвигуна, так як в цей період тиск в порах та капілярах ізоляції менший, ніж атмосферний тиск. Мала в'язкість та інші властивості води сприяють її проникненню до пор ізоляції та, як наслідок, виникає гідролітичне руйнування ізоляції обмоток. Головним чинником, який визначає строк служби ізоляції обмоток електродвигуна, є її теплове старіння. [1, 2].

Мета статті. Обґрунтування положень методу прогнозування поточного ТС ізоляції обмоток низьковольтних АД за величиною струму витоку, як параметра прогнозування, та розробка пристрою прогнозування та моніторингу ТС ізоляції обмоток.

Основні матеріали дослідження. Як показав аналіз досліджень [1, 3, 6] загальний технічний стан ізоляції обмоток АД визначається сукупним зносом ізоляції, який викликаний тепловим її зносом, зносом від дії термомеханічних навантажень, вологості, вібрації, від дії перенапруги та електродинамічних навантажень. Опір ізоляції та її електрична міцність знижуються та створюються передумови для появи струмів витоку. Руйнування ізоляції обмоток проходить поступово, нерівномірно та завершується пробоем в найбільш слабкому місці. Тому авторами було встановлено, що діагностичною ознакою розвитку процесів пошкодження та зносу ізоляції обмоток АД при поточній експлуатації є підвищена вологість навколишнього середовища. Таким чином головним питанням стає обґрунтування параметрів діагностування процесів зносу ізоляції обмоток при поточній експлуатації від дії вологості, таких як опір корпусної ізоляції АД та струм витоку через корпусну ізоляцію.

Для досліджень розроблена розрахункова схема корпусної ізоляції, як електричного кола з розподіленими електричними параметрами для однієї фази АД – рис.1.

За першим законом Кірхгофа:

$$i = \left(i - \frac{di}{dx} dx \right) + \left(u - \frac{du}{dx} dx \right) \cdot g_0 dx + C_0 dx \frac{d}{dt} \left(u - \frac{du}{dx} dx \right). \quad (1)$$

Після проміжних перетворень отримано рівняння

$$\frac{di}{dt} = g_0 u + C_0 \frac{du}{dt}, \quad (2)$$

а після введення комплексів напруги, струму, опору і провідності, отримано, що

$$\frac{di}{dx} = (g_0 + j\omega C_0) \cdot \dot{U} = Y_0 \cdot \dot{U}, \quad (3)$$

де Y_0 — комплекс провідності одиниці довжини проводу обмотки; R_0 — активний опір одиниці довжини проводу обмотки; L_0 — індуктивність одиниці довжини проводу обмотки; g_0 — активна провідність ізо-

ляції на корпус одиниці довжини проводу обмотки; C_0 – ємність ізоляції між корпусом та одиницею довжини проводу обмотки; $I_{авит}$ – фазний струм витоку через ізоляцію на корпус АД; $U_{ак}$ – напруга між початком фази обмотки та корпусом АД

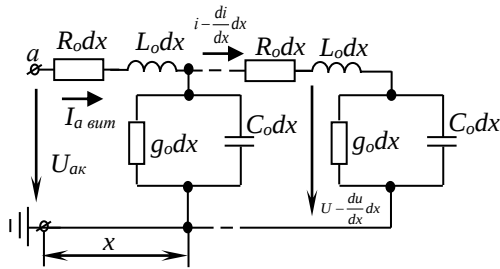


Рисунок 1 - Розрахункова схема корпусної ізоляції, як електричного кола з розподіленими електричними параметрами для однієї фази АД

Напруга між певною точкою фази і корпусом визначається за виразом [1]

$$\dot{U} = \dot{U}_{ак} \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right); \quad (4)$$

$$\frac{di}{dx} = Y_0 \cdot \dot{U} \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right), \quad (5)$$

де x - довжина проводу від початку фази;
 l - довжина проводу.

Струм витоку через ізоляцію на корпус електродвигуна

$$\dot{I}_{авит} = \frac{Y_0 \cdot \dot{U}_{авит}}{2} \cdot l. \quad (6)$$

Вираз (6) є справедливим для трифазних симетричних величин струму та напруги. У випадку несиметрії трифазної системи з'являється напруга зміщення нейтралі

$$U_{ак} + U_{вк} + U_{ск} = 3 \cdot U_0, \quad (7)$$

де U_0 - симетрична складова нульової послідовності трифазної несиметричної системи фазної напруги.

Напруга між фазою АД та його корпусом буде змінюватись за рівнянням [1]

$$\dot{U} = \dot{U}_A \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) + \dot{U}_0 \cdot \frac{x}{l}. \quad (8)$$

Сумарний струм витоку через ізоляцію на корпус АД від напруги зміщення нейтралі дорівнює

$$\dot{I}_{рез.вит} = \dot{I}_{авит} + \dot{I}_{ввит} + \dot{I}_{свит} = \frac{3 \cdot Y_0 \cdot \dot{U}_A}{2} \cdot l. \quad (9)$$

Згідно [1] при несиметрії трифазної системи окрім сумарного струму витоку від напруги зміщення, діє

додатковий струм витоку від наявності активної та ємнісної провідностей Y_k в точці виникнення короткого замикання, який описується виразом

$$\dot{I}_{доодвит} = Y_k \cdot \dot{U}_A \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right) + Y_k \cdot \dot{U}_0 \cdot \frac{x}{l}. \quad (10)$$

Аналіз виразу (10) показав, що величина додаткового струму витоку залежить від місця виникнення виткового замикання. За результатами проведених аналітичних досліджень встановлено, сумарний струм витоку через ізоляцію на корпус АД складається з сумарного струму витоку від напруги зміщення струму $\dot{I}_{рез.вит}$ та з додаткового струму витоку від наявності провідностей $\dot{I}_{доодвит}$.

Як наслідок, сумарний струм витоку через ізоляцію на корпус АД може бути прийнятим як параметр прогнозування поточного ТС ізоляції АД.

Авторами представлений можливий варіант апаратної реалізації запропонованого методу прогнозування поточного технічного стану ізоляції низьковольтних АД – рисунок 2.

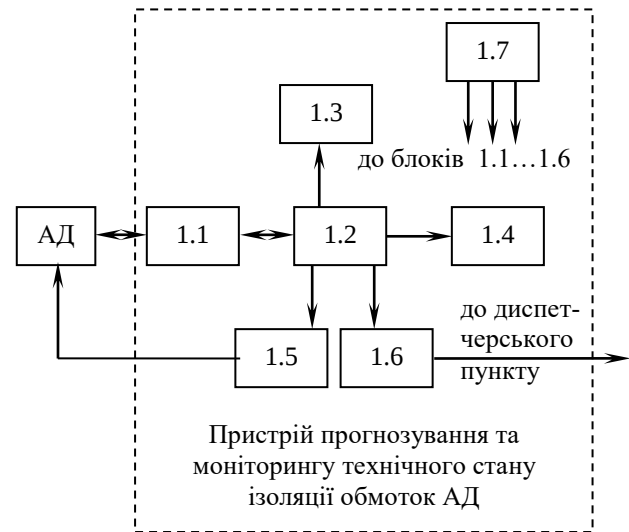


Рисунок 2 – Схема електрична структурна пристрою: 1.1 – блок контролю та вимірювання опору ізоляції обмотки; 1.2 – мікроконтролер; 1.3 – блок світлової сигналізації; 1.4 – блок цифрової індикації; 1.5 – блок керування режимом "сушка ізоляції"; 1.6 – блок комутаційного зв'язку з диспетчерським пунктом; 1.7 – блок живлення

Пристрій прогнозування та моніторингу створює з трифазною мережею, з АД та з електромагнітним пускатем єдину систему для функціонування пристрою [7].

Блок 1.7 надає напругу живлення для електронних блоків пристрою, а також напругу випробування при контролі величини опору між обмотками та корпусом електродвигуна.

Пристрій функціонує у двох режимах: режим №1 – "контроль опору ізоляції" та режим №2 – "сушка ізоляції". При роботі пристрою в режимі №1 в блоці 1.1 формується електричний сигнал щодо виміряної

величини опору ізоляції, який надходить на блок 1.2. В мікроконтролері 1.2 за спеціальною програмою здійснюється порівняння опору з нормованим значенням опору. Результати вимірювань надаються на цифровому дисплеї блока 1.4.

При зволоженні ізоляції обмоток опір ізоляції зменшується, спрацьовує блок 1.1 пристрою. В мікроконтролері 1.2 формується електричний сигнал, який запускає блок 1.5 пристрою. Процес сушки ізоляції здійснюється за наявності фазної напруги, яка надає живлення на дві послідовно включені обмотки АД, слід відзначити, що для обертання ротора така напруга не є достатньою, але струм, що протікає по обмоткам, підігріває та сушить ізоляцію [7].

Якщо в процесі сушки ізоляції обмоток опір ізоляції став дорівнювати нормованій величині, мікроконтролер 1.2 формує електричний сигнал на припинення роботи блоку 1.5. Блок 1.6 пристрою забезпечує узгоджену роботу пристрою з диспетчерським пультом збору інформації щодо стану низьковольтних АД в процесі експлуатації. Блок 1.3 надає світлові сигналізаційні сигнали щодо режимів роботи пристрою: при режимі №1 надаються сигнали зеленого кольору, а при режимі №2 – сигнали синього кольору.

Висновки.

1 На розвиток пошкоджень та знос ізоляції обмоток низьковольтних асинхронних електродвигунів впливає підвищена вологість навколишнього середовища.

2 Встановлено, що сумарний струм витoku через ізоляцію на корпус АД складається з сумарного струму витoku від напруги зміщення струму та з додаткового струму витoku від наявності провідностей.

3 Обґрунтовано, що сумарний струм витoku через ізоляцію на корпус АД є параметром прогнозування поточного ТС ізоляції АД.

4 Практичне впровадження пристрою прогнозування та моніторингу технічного стану ізоляції обмоток АД дозволить вирішити задачу підвищення експлуатаційної надійності низьковольтних асинхронних електродвигунів для електроприводу робочих машин технологічних ліній.

Список використаних джерел

1. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / В. В. Овчаров. – К.: Изд-во УСХА, 1990. – 168 с.
2. 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.
3. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин / Н. Л. Кузнецов - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
4. 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.
5. Нестерчук Д. М. До питання підвищення експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів

/ Д. М. Нестерчук, С. О. Квітка // Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції "Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві". – Кіровоград: КНТУ, 2015. – С. 19-20.

6. Халіман Л. Г. Дослідження стану ізоляції обмоток асинхронних електродвигунів при асиметрії напруги та розробка пристрою комбінованого захисту / Л. Г. Халіман, Д. М. Нестерчук // Вісник Сумського НАУ. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". – Вип. 10/1 (29). – Суми: СНАУ, 2016 – С. 167-174.

7. Пат. 106523 Україна, МПК (2016.01) H02N 7/00. Пристрій моніторингу поточного стану ізоляції обмоток групи трифазних асинхронних електродвигунів з їх автоматичним сушінням / Нестерчук Д. М., Квітка С. О. - №1 11245; Заявлено 16.11.2015; Опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8. – 4 с.

Аннотация

МЕТОД И УСТРОЙСТВО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ НИЗКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Нестерчук Д. Н., Попова И. А.,
Постникова М. В.

Исследовано влияние повышенной влажности окружающей среды на развитие повреждений и износ изоляции обмоток низковольтных асинхронных электродвигателей. Обосновано, что точное техническое состояние изоляции обмоток асинхронных электродвигателей определяется сопротивлением изоляции, а параметром прогнозирования является сопротивление корпусной изоляции переменному току. Осуществлена структуризация конструкции устройства прогнозирования и мониторинга технического состояния изоляции обмоток асинхронных электродвигателей.

Abstract

METHOD AND DEVICE FOR PREDICTING THE CURRENT TECHNICAL CONDITION OF INSULATION OF LOW-VOLTAGE ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

D. Nesterchuk, I. Popova,
M. Postnikova

The influence of high environment humidity on damage development and insulation of windings wear the low voltage asynchronous electric motors is researched. There were justified the current technical state of windings isolation of asynchronous electric motors is determined by insulation resistance and prediction parameter is body insulation resistance to alternating current. The prediction and monitoring device the technical condition of winding isolation of asynchronous electric motors structure was made.