

## НЕПРЯМИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ІМПУЛЬСУ КВАДРАТУ ПУСКОВОГО СТРУМУ

Вовк О. Ю., Квітка С. О., Стребков О. А.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Проведено аналіз процесу теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна в післяпусковий період та розроблено непрямий спосіб вимірювання імпульсу квадрату пускового струму.

**Постановка проблеми.** При живленні виробничих приміщень підприємств АПК часто спостерігається знижена напруга на вводах в будівлю. Значне зниження напруги при пуску асинхронних електродвигунів робочих машин призводить до нагріву обмоток статора, що супроводжується додатковим тепловим зношенням ізоляції, яке відбувається в основному в період роботи електродвигуна після запуску, тобто при його охолодженні до номінального перевищення температури.

Показником додаткового зношення ізоляції в післяпусковий період є імпульс квадрату пускового струму. [1]

Тому розробка способу вимірювання імпульсу квадрату пускового струму для діагностування пускового режиму асинхронного електродвигуна представляє як теоретичний, так і практичний інтерес, що є задачею даного дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз робіт в цьому напрямку показує, що питання діагностування пускових режимів роботи асинхронних електродвигунів частково вирішено в роботі [2], але для цього застосовується громіздкий математичний апарат. В роботі [3] з метою дослідження теплового перехідного процесу в електродвигуні запропонована безітераційна методика визначення параметрів схеми заміщення асинхронного електродвигуна.

У зв'язку з цим виникає задача розробки способу діагностування асинхронного електродвигуна шляхом вимірювання імпульсу квадрату пускового струму непрямим способом, що є актуальним завданням.

**Мета статті.** Дослідити процес теплового зношення ізоляції електродвигуна та розробити непрямий спосіб вимірювання імпульсу квадрату пускового струму.

**Основні матеріали дослідження.** Тепловий перехідний процес при пуску приводного електродвигуна швидкоплинний, тому з достатнім ступенем точності можемо прийняти, що він протікає адіабатично.

Запишемо рівняння теплового балансу для обмотки статора [1]:

$$Cd\tau = P_0(1 + \alpha\tau)dt, \quad (1)$$

де  $C$  – теплоємність обмотки, Дж/°С;

$P_0$  – втрати активної потужності в обмотці статора при температурі навколишнього середовища, Вт;

$\alpha$  – температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника обмотки, 1/°С;

$\tau$  – перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища, °С;

$t$  – поточний час, с.

Перепишемо рівняння (1) в наступному вигляді:

$$T_n \frac{d\tau}{dt} - \tau - \frac{1}{\alpha} = 0, \quad (2)$$

$$\text{де } T_n = \frac{C}{\alpha P_0}. \quad (3)$$

Розв'язавши рівняння (2), знаходимо вираз поточного перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища:

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

де  $\tau_{\text{поч}}$  – початкове перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища, °С.

Втрати активної потужності в обмотці при температурі навколишнього середовища

$$P_0 = 3r_0 I_n^2, \quad (5)$$

де  $r_0$  – активний опір фази обмотки статора при температурі навколишнього середовища, Ом;

$I_n$  – діюче значення сили пускового електричного струму, який протікає по обмотці статора, А.

Активний опір фази обмотки статора при температурі навколишнього середовища:

$$r_0 = r_{20}(1 + \alpha(\vartheta_{\text{cep}} - 20)), \quad (6)$$

де  $r_{20}$  – активний опір фази обмотки статора при температурі 20 °С;

$\vartheta_{\text{cep}}$  – температура навколишнього середовища, °С.

Підставимо (5) в (3) і отримаємо:

$$T_n = \frac{C}{3\alpha r_0 I_n^2}. \quad (7)$$

Знайдемо максимальне перевищення температури обмотки в кінці розгону електродвигуна:

$$\tau_m = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{\text{ноч}}\right) e^{\frac{\alpha \tau_0 I_n^2 t_n}{C}} - \frac{1}{\alpha}, \quad (8)$$

де  $\tau_m$  – максимальне перевищення температури обмотки статора над температурою навколишнього середовища, °C;

$t_n$  – час розгону електродвигуна, с.

Відповідно до [1] позначимо величину  $I_n^2 t_n$  буквою  $\Pi$  і назвемо імпульсом квадрату діючого значення сили пускового струму, тобто

$$\Pi = I_n^2 t_n. \quad (9)$$

З урахуванням того, що діюче значення сили пускового струму асинхронного електродвигуна є функція часу, то більш точно імпульс квадрату пускового струму запишемо наступним чином:

$$\Pi = \int_0^{t_n} I_n^2 dt. \quad (10)$$

Тоді рівняння (8) запишеться наступним чином:

$$\tau_m = \left(\frac{1}{\alpha} + \tau_{\text{ноч}}\right) e^{\frac{\alpha \tau_0 \Pi}{C}} - \frac{1}{\alpha}, \quad (11)$$

Враховуючи порівняльну швидкоплинність процесу нагрівання обмотки при пуску, можна прийняти, що обмотка досягає максимального перевищення температури в момент часу  $t=0$ . В післяпусковий період охолодження обмотки до номінального значення швидкість зміни температури буде невеликою у відповідності до кривої охолодження:

$$\tau = \tau_n \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \tau_m e^{-\frac{t}{T}}, \quad (12)$$

де  $\tau$  – поточне перевищення температури обмотки, °C;

$\tau_n$  – номінальне перевищення температури обмотки, °C;

$t$  – поточний час, с;

$T$  – постійна часу нагрівання електродвигуна, с;

$\tau_m$  – максимальне перевищення температури обмотки в кінці пуску, °C.

Швидкість теплового зношення ізоляції в післяпусковий період опишеться виразом:

$$\varepsilon = \varepsilon_n e^{B \left( \frac{1}{\theta_n} - \frac{1}{\tau_n (1 - e^{-\frac{t}{T}}) + \tau_m e^{-\frac{t}{T}} + \vartheta_{\text{ср}} + 273} \right)}, \quad (13)$$

$\varepsilon$  – поточна швидкість теплового зношення ізоляції, бгод/год;

$\varepsilon_n$  – номінальна швидкість теплового зношення ізоляції, бгод/год;

$B$  – параметр, який характеризує клас ізоляції, К;

$T$  – постійна часу нагрівання електродвигуна, с;

$\theta_n$  – абсолютна номінальна температура ізоляції, К;

К;

$\vartheta_{\text{ср}}$  – температура навколишнього середовища, °C.

Додаткове теплове зношення ізоляції в післяпусковий період відбувається на інтервалі часу від нуля до  $5T$  і може бути знайдено за виразом:

$$E_{\text{дод}} = \int_0^{5T} \varepsilon dt - 5T \varepsilon_n, \quad (14)$$

де  $\varepsilon$  – описується в (13).

В [1] проведено кількісний аналіз додаткового теплового зношення ізоляції обмотки у функції максимального перевищення температури обмотки електродвигуна типорозміру 4A100S2Y3, в результаті якого можна зробити висновок, що додаткове теплове зношення ізоляції залежить від постійної часу нагрівання електродвигуна, максимального перевищення температури в кінці пуску та температури навколишнього середовища.

Була досліджена також залежність додаткового теплового зношення ізоляції у функції імпульсу квадрату пускового струму електродвигуна (рис. 1).

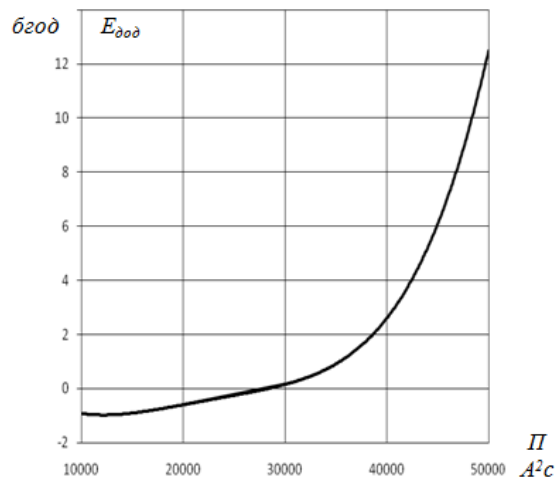


Рисунок 1 – Залежність додаткового теплового зношення ізоляції у функції імпульсу квадрату пускового струму електродвигуна

Як показано вище, нагрів обмоток статора супроводжується додатковим тепловим зношенням ізоляції, яке відбувається в основному в період роботи електродвигуна після запуску, тобто при його охолодженні до номінального перевищення температури.

Показником додаткового зношення ізоляції в післяпусковий період є імпульс квадрату пускового струму.

Обґрунтуємо непрямий метод вимірювання імпульсу квадрату електричного струму.

Енергія, яка йде на нагрів однієї фази обмотки статора електродвигуна:

$$W = C\tau, \quad (15)$$

де  $C$  – теплоємність однієї фази обмотки статора електродвигуна, Дж/°С;

$\tau$  – перевищення температури однієї фази обмотки статора над температурою навколишнього середовища, °С.

З іншого боку запишемо другий вираз енергії, яка йде на нагрів однієї фази обмотки статора електродвигуна:

$$W = rI^2t, \quad (16)$$

де  $r$  – активний опір однієї фази обмотки статора, Ом;

$I$  – сила пускового електричного струму електродвигуна, А;

$t$  – час аварійного пускового режиму, с.

Підставимо (15) в (16):

$$C\tau = rI^2t. \quad (17)$$

Перепишемо рівняння, ввівши імпульс квадрату пускового струму:

$$C\tau = r\Pi, \quad (18)$$

де  $\Pi$  - імпульс квадрату пускового струму, А<sup>2</sup>с.

Звідки знаходимо:

$$\Pi = \frac{C\tau}{r}. \quad (19)$$

Тоді допустиме перевищення температури однієї фази обмотки статора може бути знайдено наступним чином:

$$\tau_{\text{дон}} = \frac{r\Pi_{\text{дон}}}{C}, \quad (20)$$

де  $\Pi_{\text{дон}}$  – допустиме значення імпульсу квадрату пускового струму, А<sup>2</sup>с.

Таким чином, допустиме значення імпульсу квадрату пускового струму прямо пропорційне перевищенню температури однієї фази обмотки статора, тобто  $\tau_{\text{дон}} = f(\Pi_{\text{дон}})$ .

В пристрої контроль імпульсу квадрату пускового струму відбувається за допомогою вимірювання перевищення температури обмотки над температурою навколишнього середовища. Структурна схема пристрою захисту електродвигуна від нездійсненого пуску наведена на рис. 2.

Пристрій працює наступним чином. Вимірюється перевищення температури обмоток статора трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором за допомогою термопари ТП. Сигнал від термопари підсилюється підсилювачем П, далі зна-

чення підсиленої напруги порівнюється із заданим значенням за допомогою порівняльного елемента ПЕ. При перевищенні допустимих значень заданої напруги термопари спрацьовує виконавчий орган ВО на поліпшення умов запуску електродвигуна.

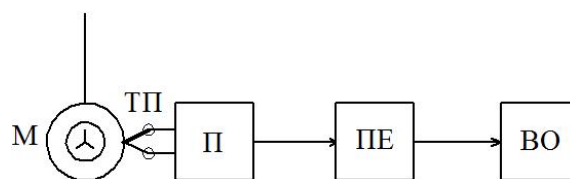


Рисунок 2 – Структурна схема пристрою захисту електродвигуна від нездійсненого пуску наведена

**Висновки.** Таким чином, вимірювання імпульсу квадрату пускового струму, який еквівалентний додатковому тепловому зношенню ізоляції, відбувається непрямым шляхом за допомогою термопари.

### Список використаних джерел

1. Стребков О. А. Дослідження електро-механічних і теплових перехідних процесів при пуску асинхронних електродвигунів / О. А. Стребков. // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2015. – Т. 6, N 6(26). – С. 18-25.
2. Гашимов М. А. Диагностическое исследование электрических неисправностей электроэнергетических машин для задач экспресс-оценки технического состояния в процессе их работы М. А. Гашимов, Н. К. Рамазанов // Электротехника. – 2006. – № 3. – С. 14–22.
3. Крупенин Н. В. Новые возможности в диагностике электрических машин Крупенин Н. В., Голубев А. В., Завидей В. И. // Электричество. – 2011. – № 9. – С. 45–48.

### Аннотация

#### КОСВЕННЫЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ИМПУЛЬСА КВАДРАТА ПУСКОВОГО ТОКА

Вовк А. Ю., Квитка С.А., Стребков А.А.

*Проведен анализ процесса теплового износа изоляции асинхронного электродвигателя в послепусковой период и разработан косвенный способ измерения импульса квадрата пускового тока*

### Abstract

#### INDIRECT METHOD OF MEASUREMENT IMPULSE OF THE SQUARE OF THE STARTING CURRENT

A. Vovk, S. Kvitka, A. Strebkov

*The analysis of the process of heat insulation the induction motor in afterstarting period and developed an indirect method of measuring the impulse of the square of the starting current are investigated.*