

## КОНТРОЛЬ ЗА ПЕРЕВАНТАЖЕННЯМ НА БАЗІ ТЕПЛОВОЇ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

### Вступ.

Робота регульованого електропривода змінного струму загальнопромислових механізмів характеризується періодичними перевантаженнями з поступовим переходом у зону номінальних навантажень або нижчих за номінальне значення. При цьому, розподілення теплового поля в електричній машині є неоднорідним внаслідок нестационарності складових у структурі теплових втрат. Додатковий вплив на процес нагрівання електричної машини додають зовнішні фактори, такі як зміна температури зовнішнього середовища та погіршення вентиляційних характеристик системи охолодження електричного двигуна.

### Постановка задач дослідження.

Для ефективного контролю за тепловим станом асинхронного двигуна необхідно визначити залежність між максимально припустимим значенням струму та параметрами теплової моделі, що враховує динамічну складову втрат електричної машини.

### Матеріали досліджень.

Одним з головних факторів, який впливає на ресурс роботи електричної машини (ЕМ), є температура її конструктивних елементів. Перевищення припустимої температури ізоляції призводить до значного скорочення терміну її служби, підвищується вірогідність теплового пробую і виходу машини з ладу [1]. Отже, тепловий стан електричної машини є головним чинником, який визначає її навантажувальну здатність і надійність. Зусилля спеціалістів в галузі електричних машин спрямовані на поліпшення теплової картини двигунів, а також на розробку принципів оптимальної експлуатації електропривода, що полягає у максимальному використанні навантажувальної здатності електричної машини за умовою неперевищення припустимої температури ізоляції.

У більшості традиційних підходів електричний двигун розглядається як одномасова модель з певною тепловою ємністю та коефіцієнтом тепловіддачі. Вважається [2], що інтенсивність охолодження двигуна пропорційна швидкості його обертання. Досвід експлуатації частотно-керованих приводів з широким регулюванням швидкості довів неприпустимість такого підходу. Розрахунок температури за припущенням пропорційності охолодження швидкості обертання давав «оптимістичні» прогнози. На практиці це призводить до перегріву електродвигунів при їх експлуатації на малих швидкостях.

Тому необхідне коригування існуючих підходів щодо визначення температури вузлів ЕМ – розрахунок напрямку температурного градієнта при зміні параметрів живлення для регулювання швидкості електропривода.

На сьогоднішній день в сучасних частотно-керованих електроприводах системи температурного захисту орієнтовані на контроль фазового струму та розрахунок допустимого часу роботи при заданій перевантажувальній здатності [2].

У серійних перетворювачах частоти, витримка часу  $T_B$  до моменту відключення електродвигуна під час перевантаження розраховується за наступною формулою:

$$T_B = T \cdot \ln \left( \frac{k^2}{k^2 - 1} \right), \text{ с}$$

де  $k = \frac{I_s}{I_y}$  – поточне значення коефіцієнта перевантаження за струмом електродвигуна;

$I_s$  – діюче значення струму статора електродвигуна;

$I_y$  – значення струму статора, що відповідає уставці часострумовевого захисту;

$$T = \frac{T_y}{\ln \left( \frac{k_y^2}{k_y^2 - 1} \right)}, \text{ с}$$

де  $T_y$  – нормоване значення часу роботи з перевантаженням;

$k_y$  – нормоване значення кратності перевантаження.

Під час вибору перетворювачів частоти для врахування зміни теплового режиму двигуна використовуються так звані граничні механічні характеристики [2]. За допомогою цих характеристик заздалегідь прогнозується обмеження робочої температури з відповідним зменшенням навантаження.

Існуючі методи температурного захисту не дозволяють об'єктивно оцінити температурний стан електричної машини, при цьому адекватність реакції системи захисту сумнівна. Постає задача розробки нових підходів, що дозволять аналізувати тепловий стан електричної машини з урахуванням режимів роботи та особливостей системи регулювання.

Відомо [1], що найбільший вплив на нагрів ізоляції має величина та тривалість протікання струмів, більших за номінальне значення. Дані параметри залежать від характеру технологічного процесу. Так, регульований електропривод змінного струму працює в режимах з швидкозмінним навантаженням. Для таких режимів характерна нестационарність складових у структурі теплових втрат.

З метою поточного контролю температури в критичних вузлах без безпосереднього виміру температур в роботі [3] представлена структура спостерігача теплового стану електродвигуна змінного струму. Дана структура базується на рівняннях теплового балансу в електричній машині та дозволяє враховувати зміни у складі теплової моделі машини.

Як було сказано раніше, максимальне використання навантажувальної здатності електричної машини можливе за умови неперевикнення припустимої температури ізоляції обмотки статора. Тоді, використавши теплову модель [4], можливо визначити залежність між максимально-припустимим значенням струму в обмотках статора та параметрами теплової моделі.

Розглянемо рівняння даної моделі, що описує процес теплового обміну в колі обмотки статора:

$$C_4 \frac{dT_4}{dt} + T_4 \cdot (\lambda_6 + \lambda_4) - T_3 \cdot \lambda_6 - T_1 \cdot \lambda_4 = \Delta P_{Cu} - \Delta P_{Fe},$$

де  $T_1$  – температура корпусу;  $T_3$  – температура сталі магнітопроводу статора;  $T_4$  – температура обмотки статора;  $\lambda_4, \lambda_6$  – теплові провідності між вузлами електродвигуна;  $\Delta P_{Cu}$  – втрати в міді обмотки статора;  $\Delta P_{Fe}$  – втрати в сталі магнітопроводу статора.

Прийmemo, що максимальне значення температури в обмотці статора обмежується максимально припустимим значенням температури для заданого класу ізоляції  $T_4 = T_{\max Iso}$ . Основними втратами що гріють, в електричній машині є втрати в міді обмотки статора  $\Delta P_{Cu} = 3I_1^2 R$ , звідки визначимо величину струму, що спричиняє нагрів. З урахуванням запропонованого обмеження за температурою запишемо вираз для максимально припустимого значення струму:

$$I_{\max} = \left( \frac{1}{3R} \left( \Delta P_{Fe} + C_4 \frac{dT_4}{dt} + T_{\max Iso} (\lambda_6 + \lambda_4) - T_3 \lambda_6 - T_1 \lambda_4 \right) \right)^{1/2}.$$

Таким чином, використовуючи теплову модель асинхронного двигуна можливо не лише контролювати тепловий стан, а й проводити корекцію навантаження з урахуванням встановленого обмеження.

#### **Висновки.**

Встановлена залежність між максимально припустимим значенням струму та параметрами теплової моделі, що враховує динамічну складову втрат електричної машини. Це дозволяє обмежувати максимальне значення струму асинхронного двигуна у відповідності до теплового стану електричної машини, що змінюється.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Нестационарна складова структури теплових втрат асинхронного двигуна в переміжному режимі роботи / Худолій С.С. // Гірничі електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2010. – Вип.84 - С. 193-197.
2. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями/Учебное пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006, – 94 с.
3. Спостерігач теплового стану асинхронного електродвигуна. / Бешта О.С., Худолій С.С., Neuberger N, Nolle E. – Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково-технічного журналу «ЕЛЕКТРОІНФОРМ»- Львів: ЕКРінформ, 2009, – с.258-260.
4. Бешта А.С., Худолій С.С., Neuberger N., Nolle E. Диагностика теплового состояния асинхронного двигателя // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблеми автоматизированного электропривода. Теория и практика» / Днепродзержинск: ДГТУ, 2007.-С.469-472.