

ТЕПЛОВА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА В СТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМАХ

Квітка С. О., Вовк О. Ю., Квітка О. С.

*Таврійський державний агротехнологічний університет**Обґрунтовано еквівалентну теплову схему та наведено математичну модель теплового стану асинхронного електродвигуна, що працює в стаціонарних режимах.*

Постановка проблеми. Питання про тепловий стан електричного двигуна є ключовим питанням його працездатності в цілому. Крім того, в умовах роботи особливо важливим є контроль температури найбільш нагрітих частин обмоток електродвигуна. Достовірна інформація про поточний тепловий стан електродвигуна дозволяє забезпечити його захист від можливих аварійних режимів, які пов'язані з температурними змінами [2].

Широке розповсюдження в процесі дослідження теплового стану електричних машин отримав метод побудови теплової моделі з використанням еквівалентних теплових схем, що дозволяє визначити середні температури окремих елементів їх конструкції. При цьому складається система рівнянь, яка враховує теплову взаємодію джерел тепловиділення у вузлах електричної машини. Однак, одна й та ж конструкція електричної машини може бути представлена різними тепловими схемами, що відрізняються ступенем деталізації можливих шляхів протікання теплових потоків. Основну проблему складає точне визначення теплових опорів між елементами конструкції, в яких відбувається виділення тепла, і оточуючим середовищем. Теоретичні розрахунки, які дозволяють врахувати велику кількість параметрів електричної машини і розподіл температурних полів по її об'єму, не завжди придатні для практичного використання, так як потребують знання великої кількості параметрів конструкції електричної машини і застосовуваних матеріалів [2]. Тому необхідно обґрунтувати теплову модель асинхронного електродвигуна з використанням еквівалентної теплової схеми, яка дозволить контролювати його тепловий стан в процесі експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі еквівалентні теплові схеми асинхронного електродвигуна, що використовуються для аналізу теплового стану електродвигуна в процесі його експлуатації, мають у своєму складі одне, два, або три тіла [3], не дозволяють в повній мірі визначити тепловий стан окремих вузлів асинхронного електродвигуна (обмоток статора і ротора, магнітопроводу і підшипників).

Найбільш відомі еквівалентні теплові схеми не враховують теплопередачі або через повітряний зазор від ротора до статора, або від лобових частин обмотки статора до повітря, або обидва ці шляхи [1]. Отримати задовільні результати за такими неадекватними схемами можна тільки за рахунок певних умовностей при розрахунку параметрів.

В докладних теплових схемах асинхронних електродвигунів кількість вузлів, а отже рівнянь теплового балансу, складає 11...20 і більше при розбитті двигуна на більшу кількість ділянок за довжиною [1]. Од-

нак автори [1] відмічають, що користуватися такими схемами з великою кількістю вузлів доцільно лише в рідкісних випадках (наприклад, при проектуванні системи охолодження та при розрахунку порівняно великих електродвигунів). В практичних розрахунках асинхронних електродвигунів широко застосовуються спрощені еквівалентні теплові схеми з числом вузлів 6...10 [1]. Спрощення полягають у тому, що симетричні вузли докладної схеми, що знаходяться в приблизно однакових умовах, об'єднуються (лобові частини обмотки, повітря усередині машини, підшипникові щити) і еквівалентними перетвореннями теплової схема перетворюється в схему з меншою кількістю вузлів - джерел виділення тепла.

Мета статті. Метою даної роботи є обґрунтування теплової моделі асинхронного електродвигуна з використанням спрощеної еквівалентної теплової схеми, яка дозволить контролювати його тепловий стан в процесі експлуатації.

Основні матеріали дослідження. Розглянемо асинхронний електродвигун у тепловому відношенні як систему, що складається із шістьох тіл (рис. 1):

- 1) лобова частина обмотки статора;
- 2) пазова частина обмотки статора;
- 3) осердя статора;
- 4) внутрішнє повітря;
- 5) ротор (обмотка ротора);
- 6) корпус.

На схемі (рис. 1) наведено наступні умовні позначення:

$C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ – теплоємності відповідних тіл електродвигуна, Дж/°С;

$\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$ – перевищення температур відповідних тіл електродвигуна над температурою навколишнього середовища, °С;

$\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_4, \Delta P_5$ – втрати активної потужності у відповідних тілах електродвигуна, Вт;

$A_{12}, A_{14}, A_{23}, A_{35}, A_{36}, A_{45}, A_{46}$ – теплопровідності між відповідними тілами електродвигуна, Вт/°С;

A_{60} – теплопровідність між корпусом і навколишнім середовищем, Вт/°С;

$C_{\text{сеп}}$ – теплоємність навколишнього середовища, Дж/°С;

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

Тепловий процес асинхронного електродвигуна можна описати системою диференціальних рівнянь першого порядку. Їх число залежить від кількості тіл, на яке розбивається електрична машина. Складемо систему рівнянь теплового балансу для схеми, наведеної на рис. 1.

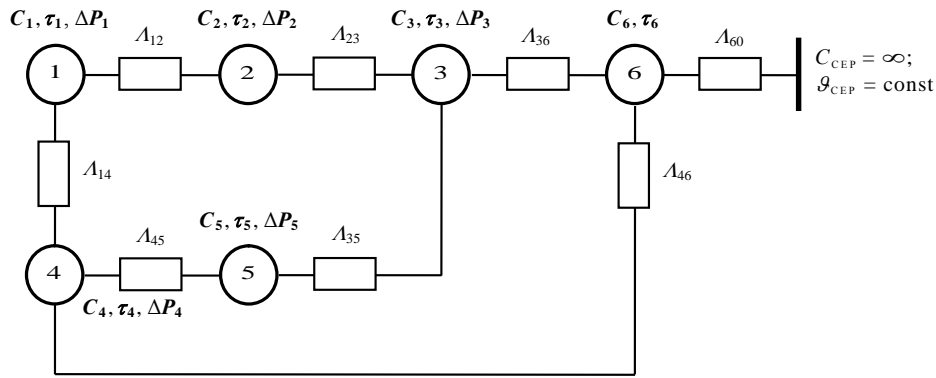


Рисунок 1 – Еквівалентна теплова схема асинхронного електродвигуна

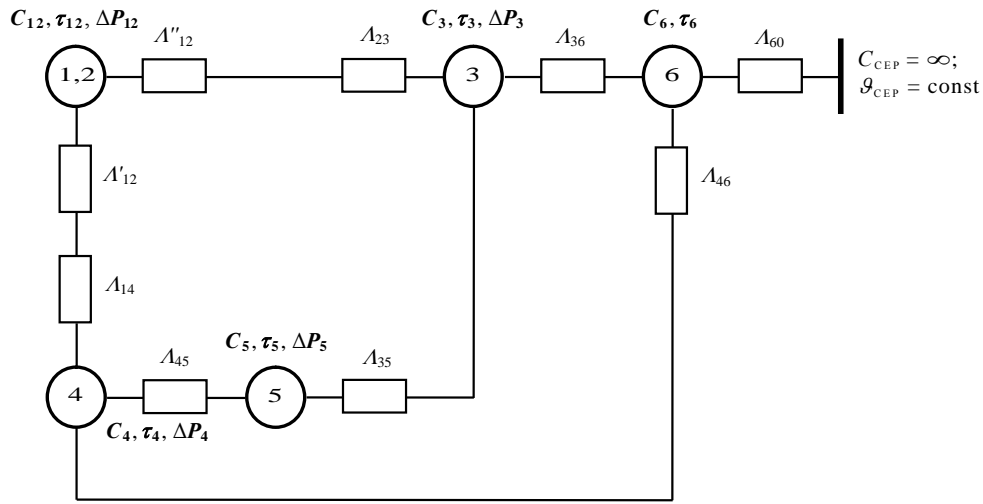


Рисунок 2 – Еквівалентна теплова схема асинхронного електродвигуна з об'єднаними пазовою і лобовою частинами обмотки

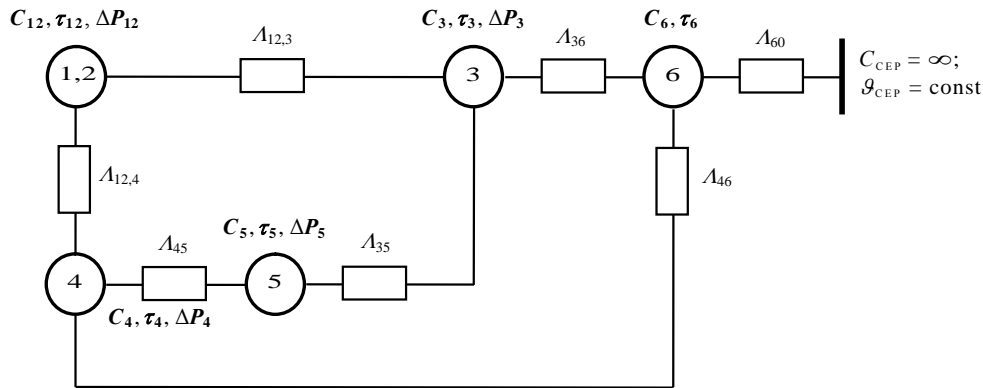


Рисунок 3 – Кінцевий вид перетвореної еквівалентної теплової схеми асинхронного електродвигуна

$$\left. \begin{aligned}
 C_1 d\tau_1/dt &= -(\Lambda_{12} + \Lambda_{14})\tau_1 + \Lambda_{12}\tau_2 + \Lambda_{14}\tau_4 + \Delta P_1; \\
 C_2 d\tau_2/dt &= -(\Lambda_{12} + \Lambda_{23})\tau_2 + \Lambda_{12}\tau_1 + \Lambda_{23}\tau_3 + \Delta P_2; \\
 C_3 d\tau_3/dt &= -(\Lambda_{23} + \Lambda_{35} + \Lambda_{36})\tau_3 + \Lambda_{23}\tau_2 + \Lambda_{35}\tau_5 + \\
 &+ \Lambda_{36}\tau_6 + \Delta P_3; \\
 C_4 d\tau_4/dt &= -(\Lambda_{14} + \Lambda_{45} + \Lambda_{46})\tau_4 + \Lambda_{14}\tau_1 + \Lambda_{45}\tau_5 + \\
 &+ \Lambda_{46}\tau_6 + \Delta P_4; \\
 C_5 d\tau_5/dt &= -(\Lambda_{45} + \Lambda_{35})\tau_5 + \Lambda_{45}\tau_4 + \Lambda_{35}\tau_3 + \Delta P_5; \\
 C_6 d\tau_6/dt &= -(\Lambda_{36} + \Lambda_{46} + \Lambda_{60})\tau_6 + \Lambda_{36}\tau_3 + \Lambda_{46}\tau_4.
 \end{aligned} \right\} (1)$$

Система диференціальних рівнянь (1), які описують процеси нагріву двигуна, є тепловою моделлю асинхронного електродвигуна. Основні чинники, що визначають точність розрахунку за рівняннями (1) наступні:

– точність завдання джерел теплоти, тобто втрат активної потужності ΔP у відповідних тілах електродвигуна;

– точність визначення теплопровідностей Λ між відповідними тілами електродвигуна, які в свою чергу залежать від коефіцієнтів теплопровідності λ і коефіцієнтів тепловіддачі α .

Для усталеного теплового режиму асинхронного електродвигуна ($d\tau_1/dt = d\tau_2/dt = d\tau_3/dt = d\tau_4/dt = d\tau_5/dt = d\tau_6/dt = 0$) система рівнянь (1) після перетворень буде мати такий вигляд

$$\left. \begin{aligned} (\Lambda_{12} + \Lambda_{14})\tau_1 - \Lambda_{12}\tau_2 - \Lambda_{14}\tau_4 &= \Delta P_1; \\ (\Lambda_{12} + \Lambda_{23})\tau_2 - \Lambda_{12}\tau_1 - \Lambda_{23}\tau_3 &= \Delta P_2; \\ (\Lambda_{23} + \Lambda_{35} + \Lambda_{36})\tau_3 - \Lambda_{23}\tau_2 - \Lambda_{35}\tau_5 - \Lambda_{36}\tau_6 &= \Delta P_3; \\ (\Lambda_{14} + \Lambda_{45} + \Lambda_{46})\tau_4 - \Lambda_{14}\tau_1 - \Lambda_{45}\tau_5 - \Lambda_{46}\tau_6 &= \Delta P_4; \\ (\Lambda_{45} + \Lambda_{35})\tau_5 - \Lambda_{45}\tau_4 - \Lambda_{35}\tau_3 &= \Delta P_5; \\ (\Lambda_{36} + \Lambda_{46} + \Lambda_{60})\tau_6 - \Lambda_{36}\tau_3 - \Lambda_{46}\tau_4 &= 0. \end{aligned} \right\} (2)$$

Так як в схемі (рис. 1) розглянуті лобова і пазова частини обмотки статора окремо, а необхідно знати середнє перевищення температури обмотки, то за правилами еквівалентних перетворень [1] об'єднаємо ці джерела тепла в одне. Після перетворення теплова схема має п'ять тіл (рис. 2).

Об'єднаємо теплопровідності Λ'_{12} з Λ_{14} та Λ''_{12} з Λ_{23} . В підсумку маємо еквівалентну теплову схему (рис. 3), якій відповідає система рівнянь (3).

$$\left. \begin{aligned} (\Lambda_{12,3} + \Lambda_{12,4})\tau_{12} - \Lambda_{12,3}\tau_3 - \Lambda_{12,4}\tau_4 &= \Delta P_{12}; \\ (\Lambda_{12,3} + \Lambda_{35} + \Lambda_{36})\tau_3 - \Lambda_{12,3}\tau_{12} - \Lambda_{35}\tau_5 - \Lambda_{36}\tau_6 &= \Delta P_3; \\ (\Lambda_{12,4} + \Lambda_{45} + \Lambda_{46})\tau_4 - \Lambda_{12,4}\tau_{12} - \Lambda_{45}\tau_5 - \Lambda_{46}\tau_6 &= \Delta P_{4}; \\ (\Lambda_{45} + \Lambda_{35})\tau_5 - \Lambda_{45}\tau_4 - \Lambda_{35}\tau_3 &= \Delta P_5; \\ (\Lambda_{36} + \Lambda_{46} + \Lambda_{60})\tau_6 - \Lambda_{36}\tau_3 - \Lambda_{46}\tau_4 &= 0. \end{aligned} \right\} (3)$$

Перевірка теплової моделі проводилась на прикладі асинхронного електродвигуна АИР100Л4 потужністю 4 кВт. Були отримані і проаналізовані графіки нагріву кожної з частин двигуна. При усталеному режимі криві нагріву майже співпадають з кривими, що отримані експериментальним шляхом.

Висновки. Була отримана теплова модель, яка описує температурні режими асинхронного електродвигуна і найбільш точно відображає перевищення температури в його окремих частинах. Дана модель дає результати, які відрізняються від результатів отриманих експериментальним шляхом не більше ніж на 3...5 %, що цілком припустимо.

Таким чином, спрощена еквівалентна теплова схема, яка складається з п'яти тіл, і математична модель теплового стану асинхронного двигуна адекватно відображає фізичні процеси, що відбуваються в електродвигуні закритого виконання з природним охолодженням.

Дана теплова схема і математична модель дозволяють оцінити тепловий стан основних елементів асинхронного електродвигуна в режимах з різним навантаженням при тривалому режимі роботи, проводити аналіз зміни теплового стану при зміні втрат в електродвигуні.

Отримана спрощена теплова модель може бути використана в сучасних системах електроприводу і

захисту електродвигунів загальнопромислового виконання.

Список використаних джерел

1. Сипайлов Г. А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: учеб. для вузов / Г. А. Сипайлов, Д. И. Санников, В. А. Жадан. – М. : Высш. шк., 1989. – 239 с.

2. Бешта А. С. Диагностика теплового состояния асинхронного двигателя / А. С. Бешта [и др.] // Сб. науч. тр. Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск "Проблемы автоматизированного электропривода". Теория и практика. – Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 469-472.

3. Вовк О. Ю. Аналітичне порівняння методів визначення усталеного перевищення температури обмоток статора асинхронного електродвигуна / О. Ю. Вовк, С. О. Квітка, В. Ф. Яковлев // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів". – Суми : СНАУ, 2011. – №8(23). – С.114–116.

4. Вовк О. Ю. Аналіз усталеного теплового режиму асинхронного електродвигуна в експлуатації / О. Ю. Вовк // Праці ТДАТУ. – Мелітополь : ТДАТУ, 2005. – Вип. 32. – С. 33-39.

5. Гольдберг О. Д. Проектирование электрических машин: учеб. для вузов / О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко; Под ред. О. Д. Гольдберга. – М.: Высшая школа, 2001. – 430 с.

Аннотация

ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ

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

Обоснована еквівалентна теплова схема и представлена математическая модель теплового состояния асинхронного электродвигателя работающего в стационарных режимах.

Abstract

HEAT MODEL OF AN ASYNCHROUS MOTOR IN STATIONARY MODES

S. Kvitka, A. Vovk, A. Kvitka

Equivalent heat diagram is substantiated as well as mathematical model is presented. The model describes the heat state of an asynchronous motor, while working in stationary modes.