

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПРИ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ

Стьопін Ю. О.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Досліджена робота асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг. Приведена математична модель теплових процесів в електродвигунах при ustalених режимах роботи.

Постановка проблеми. Дослідження режимів роботи сільських розподільних мереж 0,38/0,22 кВ, до яких приєднано електрообладнання господарств, свідчить про те, що в наслідок значної протяжності низьковольтних мереж, а також змішаного підключення однофазних та трифазних споживачів (де загальна потужність однофазних споживачів часто перевищує потужність трифазних) має місце недопустима несиметрія струмів та напруг. В реальних умовах експлуатації електроспоживачів України несиметричний режим є звичайним робочим режимом сільських мереж 0,38/0,22 кВ [1]. Несиметрія виявляється у різкому погіршенні техніко-економічних характеристик елементів мережі (зниженні експлуатаційної надійності і терміну роботи електродвигунів, виникненні ряду негативних явищ у мережах та ін.). Додаткові втрати у лініях 0,38 кВ, розподільних і споживчих трансформаторах тільки із-за нерівномірного навантаження по фазам складають 4 % від всієї електроенергії, що споживає сільське господарство.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [3] показали, що відхилення напруги у сільських споживачів значно перевищують норми, що встановленні ГОСТ 13109-97. В господарствах, найбільш віддалених від джерел живлення, відхилення напруги знаходиться у допустимих межах тільки 54 % часу, а нерівномірність навантаження фаз коливається в межах 16-22 %. Математичне очікування величини несиметрії напруг по даним [2] складає 7,3 %, що значно перевищує вимоги ГОСТ 13109-97. Напряга прямої послідовності складає 89 % від номінальної, що на 3,5 % нижче мінімально допустимої на затискачах електродвигунів по умовам їх пуску у симетричному режимі.

Мета статті. Теоретично (на основі комплексного дослідження теплових процесів) визначити допустимі параметри експлуатації асинхронних електродвигунів при несиметрії напруг.

Основні матеріали дослідження. Метод еквівалентних теплових схем заснований на аналогії теплових потоків і електричних токів. Основне припущення цього метода складається у заміні дійсних розподілених джерел теплоти та теплових провідностей зосередженими. Це дозволяє звести метод еквівалентних теплових схем до розрахунку лінійного кола звичайними алгебраїчним методом. Спрощена теплова схема заміщення електродвигуна серії АИР (рис. 1) має 10 джерел теплоти та 18 провідностей. Джерелами теплоти є: – втрати в спинці статора P_{st1} ; – втрати в пазовій частині обмотки статора $P_{st2a}, P_{st2b}, P_{st2c}$; – втрати в лобовій частині обмотки статора

$P_{st2d}, P_{st2e}, P_{st2f}$; – втрати механічні P_{mech} ; – загальні втрати в зубцях статора ΣP_{st1} ; – загальні втрати в роторі ΣP_{ro} . Теплові потоки розміщуються у електродвигуні в наступних напрямках. Тепловий потік від пазової частини обмотки статора передається лобовим частинам (теплова провідність Λ_{st1}), зубцям та спинці сердечника статора (теплові провідності Λ_{st2} і Λ_{st3}). Тепловий потік з лобових частин обмотки статора передається внутрішньому повітрю (провідність Λ_{st4}). Тепловий потік від пазової частини обмотки ротора передається зубцям статора (провідність Λ_{ro1}). Тепловий потік від торцевих частин ротора переластся внутрішньому повітрю (провідність Λ_{ro2}). Загальний тепловий потік від ротора, пазової частини обмотки та сердечника статора передається станині асинхронного електродвигуна (провідність Λ). Внутрішнє повітря віддає теплоту оболонці електродвигуна (провідність Λ_{st5}), яка в свою чергу, передає її охолоджуючому повітрю (провідність Λ_n). Приймаємо наступні припущення: – у поперечному перетині машини відсутнє переміщення теплоти (кутовий градієнт температури $d\theta/d\varphi = 0$), що дозволяє розглядати двохмірну задачу у поздовжньому перетині; – температура сталі сердечника статора (спинки та зубців), ротора, міді обмотки статора (пазової та лобової частини в кожній фазі) приймається однаковою по кожному з тіл, що розглядаються; – втрати в сталі сердечника не залежать від температури; – значення питомих теплопровідностей та тепловіддачі постійні і не залежать від температури; – теплопередачу через вал нехтуємо; – сердечники статора і ротора проводять теплоту тільки у радіальному напрямку; – нехтуємо тепловим опором між станиною та щитами електродвигуна.

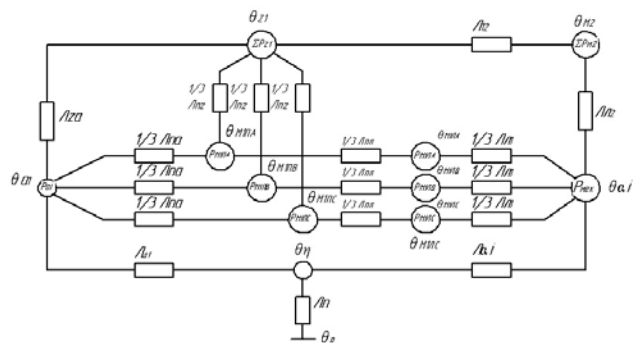


Рисунок 1 – Теплова схема заміщення електродвигуна серії АИР

Перелічені припущення не порушують загальної

реальної картини теплових процесів, дають незначну похибку і можливі для практичних розрахунків.

Для представленої теплової схеми заміщення електродвигуна складемо систему рівнянь:

$$\theta_{a1}(J_{\Delta 1} + J_{Pa} + J_{za}) - \theta_{z1} \cdot J_{za} - \theta_{\Pi} \cdot J_{\Delta 1} - \theta_{M1PA}, \quad (1)$$

$$\theta_{z1}(J_{za} + J_{Pz} + J_{I2}) - \theta_{a1} \cdot J_{za} - \theta_{M2} \cdot J_{I2} - \theta_{M1PA}, \quad (2)$$

$$\theta_{M1PA}(J_{Pa} + J_{Pz} + J_{Pa}) / 3 + \theta_{a1} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{z1} \cdot J_{Pz} / 3 + \theta_{M1PB}(J_{Pa} + J_{Pz} + J_{Pa}) / 3 + \theta_{a1} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{z1} \cdot J_{Pz} / 3 + \theta_{M1PC}(J_{Pa} + J_{Pz} + J_{Pa}) / 3 + \theta_{a1} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{z1} \cdot J_{Pz} / 3$$

$$\theta_{M1PA}(J_{Pa} + J_{a1}) / 3 - \theta_{M1PA} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{a1} \cdot J_{a1} / 3 = \theta_{M1PB}(J_{Pa} + J_{a1}) / 3 - \theta_{M1PB} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{a1} \cdot J_{a1} / 3 =$$

$$\theta_{M1PC}(J_{Pa} + J_{a1}) / 3 - \theta_{M1PC} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{a1} \cdot J_{a1} / 3 =$$

$$\theta_{M2}(J_{I2} + J_{a2}) - \theta_{z1} \cdot J_{a2} - \theta_{a1} \cdot J_{a2} = \sum P_{M2} \quad (5)$$

$$\theta_{ai}(J_{a2} + J_{a1} + J_{ai}) - \theta_{M2} \cdot J_{a2} - \theta_{\Pi} \cdot J_{ai} - \theta_{M1PA} \quad (6)$$

$$\theta_{\Pi}(J_{\Delta 1} + J_{\Pi} + J_{ai}) - \theta_{a1} \cdot J_{\Delta 1} - \theta_{ai} \cdot J_{ai} - \theta_0 \cdot J_{\Pi} = \quad (7)$$

Приймаємо позначення: $J_{\Delta 1} + J_{Pa} + J_{za} = J_{11}$;
 $J_{za} + J_{Pz} + J_{I2} = J_{22}$; $J_{Pa} + J_{Pz} + J_{Pa} = J_{33}$;
 $J_{Pa} + J_{a1} = J_{44}$; $J_{I2} + J_{a2} = J_{55}$;
 $J_{a2} + J_{a1} + J_{ai} = J_{66}$; $J_{\Delta 1} + J_{\Pi} + J_{ai} = J_{77}$.

Отримуємо:

$$\theta_{a1} \cdot J_{11} - \theta_{z1} \cdot J_{za} - \theta_{\Pi} \cdot J_{\Delta 1} - (\theta_{M1PA} + \theta_{M1PB} + \theta_{M1PC}) \cdot J_{Pa} / 3 = P_{a1}, \quad (8)$$

$$\theta_{z1} \cdot J_{22} - \theta_{a1} \cdot J_{za} - \theta_{M2} \cdot J_{I2} - (\theta_{M1PA} + \theta_{M1PB} + \theta_{M1PC}) \cdot J_{Pa} / 3 = \sum P_{z1}, \quad (9)$$

$$\theta_{M1PA} \cdot J_{33} / 3 + \theta_{a1} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{z1} \cdot J_{Pz} / 3 - \theta_{M1PA} \cdot J_{Pa} / 3 = P_{M1PA},$$

$$\theta_{M1PB} \cdot J_{33} / 3 + \theta_{a1} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{z1} \cdot J_{Pz} / 3 - \theta_{M1PB} \cdot J_{Pa} / 3 = P_{M1PB}, \quad (10)$$

$$\theta_{M1PC} \cdot J_{33} / 3 + \theta_{a1} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{z1} \cdot J_{Pz} / 3 - \theta_{M1PC} \cdot J_{Pa} / 3 = P_{M1PC},$$

$$\theta_{M1PA} \cdot J_{44} / 3 - \theta_{M1PA} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{a1} \cdot J_{a1} / 3 = P_{M1PA},$$

$$\theta_{M1PB} \cdot J_{44} / 3 - \theta_{M1PB} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{a1} \cdot J_{a1} / 3 = P_{M1PB}, \quad (11)$$

$$\theta_{M1PC} \cdot J_{44} / 3 - \theta_{M1PC} \cdot J_{Pa} / 3 - \theta_{a1} \cdot J_{a1} / 3 = P_{M1PC},$$

$$\theta_{M2} \cdot J_{55} - \theta_{z1} \cdot J_{a2} - \theta_{a1} \cdot J_{a2} = \sum P_{M2}, \quad (12)$$

$$\theta_{ai} \cdot J_{66} - \theta_{M2} \cdot J_{a2} - \theta_{\Pi} \cdot J_{ai} - (\theta_{M1PA} + \theta_{M1PB} + \theta_{M1PC}) \cdot J_{Pa} / 3 = P_{mex}, \quad (13)$$

$$\theta_{\Pi} \cdot J_{77} - \theta_{a1} \cdot J_{\Delta 1} - \theta_{ai} \cdot J_{ai} - \theta_0 \cdot J_{\Pi} = 0 \quad (14)$$

Питання розрахунків теплових провідностей достатньо докладно викладені в [1, 3]. Розрахунок втрат

потужностей в електродвигуні (праві частини рівнянь також не викликають ускладнень. Звичайно, втрати потужності будуть змінюватися за величиною по мірі зміни режиму роботи (навантаження на валу і ступені несиметрії напруг). Невідомими величинами при цьому в системі рівнянь будуть перевищення температур окремих частин електродвигуна над температурою навколишнього середовища.

Система рівнянь легко вирішується за допомогою обчислювальної техніки. Для цього вона попередньо повинна записуватися у матричній формі.

Висновки. Результати розрахунків теплових процесів, проведених для електродвигунів серії АІР, показали незначну похибку у порівнянні з експериментальними даними (абсолютна різниця температур в межах 0 – 8 °С).

Список використаних джерел

1. Бакумов Ю. В. Влияние температуры окружающей среды на тепловое состояние оребренных асинхронных двигателей / Ю. В. Бакумов // Электротехника. – 1974. – № 3. – с. 31-33.
2. Готтер Г. В. Нагревание и охлаждение электрических машин / Г. В. Готтер. – М.: Госэнергоиздат, 1961. – 460 с.
3. Ивоботенко Б. А. Планирование эксперимента в электромеханике / Б. А. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский, И. П. Копылов. – М.: Энергия, 1975. – 460 с.
4. Деменин В. Н. Анализ несимметрии в сельских сетях Новосибирской области / В. Н. Деменин // Механизация и электрификация сельского хозяйства Сибири. – 1978. – № 3. – с. 21-24.
5. Мишин В. И. Принцип расчета характеристик асинхронных двигателей при асимметрии напряжений / В. И. Мишин, Г. С. Герасименко - Киев: Научные труды УСХА, 1985. – с. 32-37.

Аннотация

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ НЕСИМЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ

Стьопін Ю. О.

Исследована работа асинхронных электродвигателей при несимметрии напряжений. Приведена математическая модель тепловых процессов в электродвигателях при установившихся режимах работы.

Abstract

RESEARCH OF ASYNCHRONOUS MOTORS' WORK UNDER TENSION ASYMMETRY IN STEADY-STATE CONDITIONS

Y. Styopin

The operation of induction motors in the voltage unbalance. The above mathematical model of thermal processes in electric motors at steady speeds.