

УДК 62 - 83 : 621. 313. 333

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЕНСОВАНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Ю.М. Васьковський, докт. техн. наук

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»;

Р.М. Чусько, канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Проведено дослідження механічних характеристик компенсованого асинхронного двигуна за допомогою теорії електромагнітного поля та їх порівняння із механічними характеристиками серійного асинхронного двигуна.

Ключові слова: *компенсований асинхронний двигун, механічна характеристика, електромагнітне поле, електромагнітний момент.*

Проблема. Важливе практичне значення має розрахунок та аналіз механічних характеристик компенсованих асинхронних двигунів (КАД), експлуатаційні показники яких повністю визначаються їх природною механічною характеристикою. Точність розрахунку механічної характеристики КАД багато в чому залежить від точності розрахунку струмів короткозамкненої обмотки ротора. На розподіл і величину струмів ротора суттєво впливає ефект витіснення вихрових струмів у масивних статора ротора, який у різній мірі проявляється при різних ковзаннях ротора (різних частотах струму ротора). В класичній теорії електричних машин дана задача розв'язується за допомогою колової схеми заміщення машини. Причому урахування ефекту витіснення виконується шляхом корегування параметрів обмотки ротора в залежності від величини ковзання за допомогою поправочних коефіцієнтів, які отримано при аналітичному розв'язанні окремої задачі про проникнення магнітного поля в один ізольований паз ротора з масивним електропровідним провідником. Використання методів теорії поля забезпечує більш високу точність розрахунку механічних характеристик КАД.

Метою роботи є дослідження механічних характеристик компенсованого асинхронного двигуна та їх порівняльний аналіз із механічними характеристиками серійного асинхронного двигуна (АД).

Вихідні дані та методика досліджень. В основі польового методу визначення механічної характеристики КАД лежить спосіб визначення електромагнітного обертаючого моменту асинхронного двигуна за результатами розрахунку розподілу його електромагнітного поля.

Двовимірне електромагнітне поле в поперечному перерізі АД описується наступним диференціальним рівнянням в часткових похідних:

$$\frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial y^2} - j\omega_1 s \mu \gamma \dot{A}_z = -\mu \dot{J}_{z\text{статор}} \quad (1)$$

де \dot{A}_z — векторний магнітний потенціал, ω_1 — кутова частота обертання поля статора, S — ковзання ротора, μ — магнітна проникність, γ — електропровідність.

Складові вектора магнітної індукції за відомими значеннями векторного магнітного потенціалу:

$$B_x = \partial A_z / \partial y, B_y = -\partial A_z / \partial x. \quad (2)$$

Використовуючи результати розрахунку електромагнітного поля розраховуються нормальна T_n (направлена уздовж вектора нормалі до поверхні ротора) та тангенціальна T_τ (направлена уздовж дотичної до поверхні ротора) складові тензора магнітного натягнення за наступними формулами:

$$T_n = \frac{1}{2\mu} \cdot (B_n^2 - B_\tau^2). \quad (3)$$

$$T_\tau = \frac{B_n \cdot B_\tau}{\mu}, \quad (4)$$

де B_n , B_τ — відповідно нормальна та тангенціальна складові вектора магнітної індукції, які знаходяться по наступним співвідношенням:

$$B_n = B_x \frac{x}{R_\delta} + B_y \frac{y}{R_\delta}, \quad (5)$$

$$B_\tau = B_x \frac{y}{R_\delta} - B_y \frac{x}{R_\delta}. \quad (6)$$

У формулах (5), (6) позначено: x, y, R_δ — декартові координати і радіус-вектор точки, в якій розраховуються складові вектора магнітної індукції. Тензор магнітного натягнення має фізичну розмірність тиску (Н/м²).

Сумарна тангенціальна складова електромагнітної сили, яка створює електромагнітний момент КАД, визначається при інтегруванні тангенціальної складової тензора магнітного натягнення уздовж поверхні ротора:

$$F_{\tau} = \int_S T_{\tau} ds = \frac{1}{\mu} \cdot \int_S B_n \cdot B_{\tau} \cdot dS. \quad (7)$$

Електромагнітний обертальний момент КАД визначається як добуток тангенціальної складової електромагнітної сили, яка прикладена до поверхні ротора, на плече сили — відстань від поверхні до центра обертання. Якщо поверхнею є циліндр, то плечем сили є радіус цього циліндра. У разі двовимірного електромагнітного поля машини вираз для електромагнітного моменту можна отримати з наступних міркувань. Зважаючи на симетрію картини поля, розрахунки достатньо провести в межах одної полюсної поділки.

З урахуванням виразу (7) повний електромагнітний момент між статором і ротором електричної машини визначається наступною формулою:

$$M_{EM} = 2 \cdot p \cdot F_{\tau} \cdot R_{\delta} = \frac{2 \cdot p \cdot R_{\delta} \cdot l_{\Pi}}{\mu_0} \cdot \int_0^{\tau} B_n \cdot B_{\tau} \cdot dl, \quad (8)$$

де p, τ — число пар полюсів і полюсна поділка. При цьому враховано, що площа інтегрування дорівнює $S = l_j \tau$, а $\mu = \mu_0$, тобто розглядається границя, що межує з поверхнею повітряного проміжку. При використанні методу скінченних елементів у результаті заміни лінійного інтеграла кінцевою сумою по відрізках, обмежених Q вузлами скінченних елементів, які лежать на розрахунковій лінії, з (4) остаточно отримуємо наступну розрахункову формулу:

$$M_{EM} = \frac{2 \cdot p \cdot R_{\delta} \cdot l_{\Pi}}{\mu_0} \cdot \sum_i^{Q-1} B_{ni} \cdot B_{\tau i} \cdot \Delta l_i, \quad (9)$$

де $B_{ni}, B_{\tau i}$ — нормальна і тангенціальна складові магнітної індукції на i — ому відрізьку Δl_i — довжина відрізьку.

Формула (5) дуже зручна і дає можливість ефективно розрахувати електромагнітний момент між статором і ротором для поточного знайденого розподілу поля.

Результати досліджень. З метою оцінки ефективності КАД проведено порівняльний аналіз механічних характеристик серійного АД типу АИР71В2 та розробленого на його основі КАД. Характеристики обох двигунів розраховані польовим методом.

Двигун має наступні дані: кількість пар полюсів — 1; кількість пазів статора і ротора — $Z_1 = 24$, $Z_2 = 20$; внутрішній діаметр осердя статора — $D_1 = 65$ мм; зовнішній діаметр осердя статора — $D_a = 65$ мм; висота повітряного проміжку — $\delta = 0,35$ мм; відкриття пазів статора $b_{m1} = 2$ мм; пази ротора закриті; кількість пазів на полюс і фазу складає $q = 4$.

Відмінність КАД від АД АИР71В2 полягає у наступному. Кожна фазна зона АИР71В2, яка містить $q = 4$, розділена на дві підзони з кількістю котушок $q = 2$. При цьому чотири послідовно з'єднані котушки в кожній фазній зоні статора АИР71В2 розділені на дві паралельні гілки, кожна з яких містить дві послідовно з'єднані котушки, причому в одну паралельну гілку включена електрична ємність, яка створює фазовий зсув струму в зазначеній паралельній гілці. Величина ємності вибирається таким чином, щоб виконувалася фундаментальна умова оптимальної компенсації $\alpha + \theta = 0$, де α — просторовий кут зсуву між фазовими підзонами (в ел. град.); θ — фазовий кут між струмами в зазначених паралельних гілках. При цьому, як доведено попередніми дослідженнями, КАД має кращий (більш наближений до синусоїдального) розподіл магнітної індукції уздовж полюсної поділки в повітряному проміжку.

Для розрахунку механічних характеристик використовувалася задана залежність струму в обмотці статора від ковзання, яку зображено на рис. 1. Дана залежність отримана попередніми розрахунками з використанням відомих значень параметрів і схеми заміщення короткозамкненого АД.

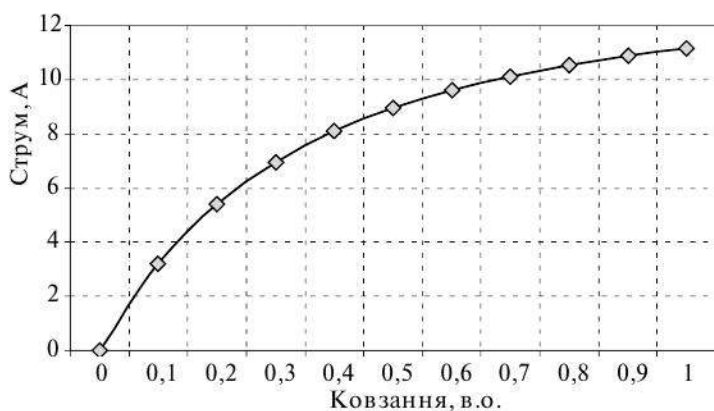


Рис. 1. Розрахункова залежність струму в обмотці статора від ковзання

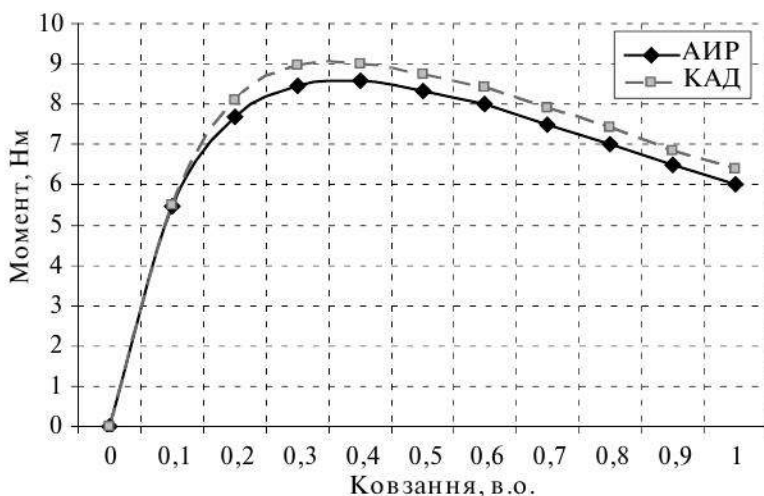


Рис. 2. Механічні характеристики серійного АД та КАД

Результати порівняльного аналізу механічних характеристик серійного АИР71В2 і КАД зображено на рис. 2.

Як видно з рис. 2, з точки зору експлуатаційних вимог механічна характеристика КАД має кращі показники, ніж у серійного АИР71В2. На більшій частині характеристики крива КАД проходить вище за криву механічної характеристики АИР71В2. Зокрема, механічна характеристика КАД має вищий на 7% максимальний електромагнітний момент і вищий на 8% пусковий момент.

Висновки.

1. КАД має більш синусоїдний розподіл магнітного поля в повітряному проміжку (більшу амплітуду першої гармоніки магнітної індукції) завдяки наявності дванадцятизонної структури обмотки статора КАД.
2. Покращення форми магнітного поля спричиняє більш ефективне електро-механічне перетворення енергії в КАД, у тому числі і при пуску. Це сприяє, перш за все, покращенню динамічних показників КАД: збільшенню миттєвих значень електромагнітного моменту КАД та протягом пуску двигуна призводить до зменшення часу пуску КАД.

Бібліографія

1. *Васьковський Ю.М.* Польовий аналіз електричних машин. Навчальний посібник / Васьковський Ю.М. — К.: НТУУ «КПІ», 2007. — 192 с.
2. *Васьковський Ю.М.* Математичне моделювання електромагнітного поля компенсованого асинхронного двигуна / Васьковський Ю.М., Чуєнко Р.М. // Електротехніка і електромеханіка. — 2012. — № 2. — 26-30.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПЕНСИРОВАННОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Проведено дослідження механічних характеристик компенсованого асинхронного двигачеля з використанням теорії електромагнітного поля и их сравнение с механічними характеристиками серийного асинхронного двигачеля.

Ключевые слова: *Компенсований асинхронний двигачель, механічеська характеристика, електромагнітне поле, електромагнітний момент.*

RESEARCH OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE COMPENSATED INDUCTION MOTOR

Comparison of mechanical characteristics of the serial and compensated induction motors with use of the theory of an electromagnetic field is carried out.

Key words: *compensated induction motor, mechanical characteristic, electromagnetic field, electromagnetic torque.*