

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З СУМІЩЕНИМИ ОБМОТКАМИ

Найбільш розповсюдженим типом електродвигуна в промисловості являється асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, як найбільш проста, надійна і відносно дешева електрична машина.

Разом з перевагами, асинхронний двигун (АД) має й недоліки: при роботі в режимі, відмінному від номінального, він має знижені енергетичні показники: коефіцієнт корисної дії (η), коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$).

Одним з шляхів удосконалення конструкції асинхронного двигуна є схема асинхронного двигуна з суміщеними обмотками (АДСО).

Математична модель АДСО як багатообмоточної електричної машини складається з рівнянь електричної рівноваги для всіх контурів і рівняння руху ротора.

Уявімо АДСО як систему магнітнозв'язаних обмоток, розташованих на статорі і роторі. При розробці рівнянь математичної моделі АДСО скористаємося у якості аналога запропонованими в [4] рівняннями математичної моделі АД в нерухомих фазних координатах.

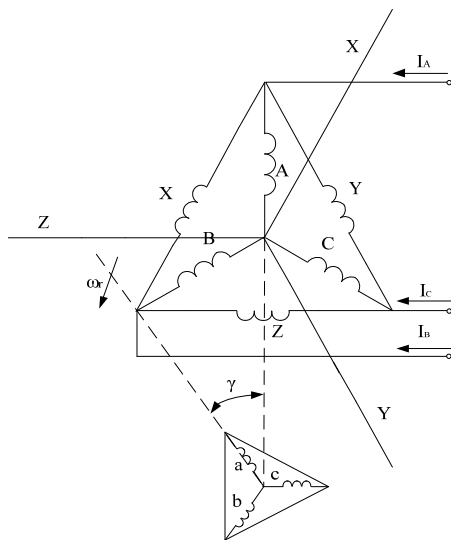


Рис. 1 Схема обмоток статора і ротора АДСО

Рівняння електричної рівноваги для двох фаз статора і фази ротора електричної машини може бути записано у вигляді:

$$\begin{cases} U_A = i_A R_{s1} + \frac{d\psi_A}{dt}; \\ U_X = i_X R_{s2} + \frac{d\psi_X}{dt}; \\ 0 = i_c R_r + \frac{d\psi_c}{dt}. \end{cases} \quad (1)$$

де U_k , R_k , I_k , $\frac{d\psi_k}{dt}$ - напруга, струм, опір та похідна поточкозчеплення відповідного k-го контуру.

Представимо систему рівнянь поточкозчеплення для кожної фази статора і ротора АДСО на прикладі фази А:

$$\begin{aligned} \psi_A = & L_A i_A + M_{s1} (i_B + i_C) + \\ & M_1 \left(i_a \cos \gamma + i_b \cos \left(\gamma + \frac{2\pi}{3} \right) + i_c \cos \left(\gamma - \frac{2\pi}{3} \right) \right) + \\ & M_2 \left(i_X \cos \beta + i_Y \cos \left(\beta + \frac{2\pi}{3} \right) + i_Z \cos \left(\beta - \frac{2\pi}{3} \right) \right); \end{aligned} \quad (2)$$

де M_{s1} - взаємна індуктивність між фазами статора основної обмотки;

M_1 - взаємна індуктивність між фазами статора і ротора;

M_2 - взаємна індуктивність між фазами статора основної і

додаткової обмотки.

Узагальнений алгоритм розв'язання системи рівнянь для АДСО, записаної відносно поточкозчеплення обмоток, можливо представити в наступному вигляді:

1) Використовуючи інформацію о поточному значенні кутової швидкості і куті повороту, визначаємо значення взаємних індуктивностей між обмотками статора і ротора. Таким чином, ми розраховуємо коефіцієнти системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) при невідомих струмах обмоток.

2) Поточне значення поточкозчеплення являється значенням правих частин системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

3) В результаті розв'язання СЛАР обчислюємо значення струмів окремих обмоток АДСО.

4) Використовуючи отримані значення струмів і підставляючи їх в систему рівнянь (1), обчислюємо значення похідних поточкозчеплень окремих обмоток АДСО.

5) Використовуючи чисельний метод розв'язання системи диференційних рівнянь Рунге-Кутти 4 – го порядку, розраховуємо значення поточкозчеплень на наступному кроці розрахунків. Якщо час розрахунку не перебільшує максимально заданий, то повертаємося до 1-го пункту.

Запропонований алгоритм передбачає динамічне формування матриці коефіцієнтів системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Коефіцієнти СЛАР рівні взаємній індуктивності між відповідною парою обмоток і являються періодичними функціями кутового положення ротора АДСО.

Для завершення математичної моделі АДСО необхідно також додати рівняння руху ротора. Основне питання полягає в розрахунку електромагнітного моменту АДСО.

Згідно [3], електромагнітний момент узагальненої електричної машини дорівнює першій похідній електромагнітної енергії в зазорі машини по куту положення ротора:

$$M_s = p \frac{\partial (\frac{1}{2} \sum_{k=1}^N \psi_k I_k)}{\partial \theta} \quad (3)$$

де p - число пар полюсів статорних обмоток АДСО.

Повна система рівнянь АДСО являє собою систему диференціальних рівнянь 11-го порядку - 9 рівнянь електричної рівноваги контурів АДСО, рівняння руху ротора і рівняння інтегрування кутової швидкості для визначення кутового положення ротора. Ця система рівнянь є нелінійною і може бути вирішена чисельно за допомогою описаного вище алгоритму з рішенням проміжної СЛАР.

Об'єктом моделювання, аналізу і порівняння двох типів укладання обмоток статора обрано трифазний асинхронний двигун АИР 180 S4 з наступними паспортними даними:

Таблиця 1 - Електричні параметри двигуна АИР 180 S4

P_n , кВт	n_n , об/хв	U_n , В	f , Гц	$\frac{I_{II}}{I_H}$	$\frac{M_{II}}{M_H}$	$\frac{M_{max}}{M_H}$	ККД, %	$\cos \phi$, %
22	1485	660	50	7	1.4	2	90.5	0.87

Подальший розрахунок пов'язаний з громіздкими та тривалими обчисленнями, тому для спрощення задачі доцільно використати програмний пакет Matlab 7.0.

Для чисельного розв'язання рівнянь АДСО була розроблена математична модель у програмному пакеті Matlab 7.0. Для чисельного інтегрування диференціальних рівнянь використаний метод Рунге-Кутти 4-го порядку з постійним кроком інтегрування. Для вирішення СЛАР використано метод обертань. Результати моделювання пуску АД(зліва) АДСО(справа) та зображено на рисунку 2.

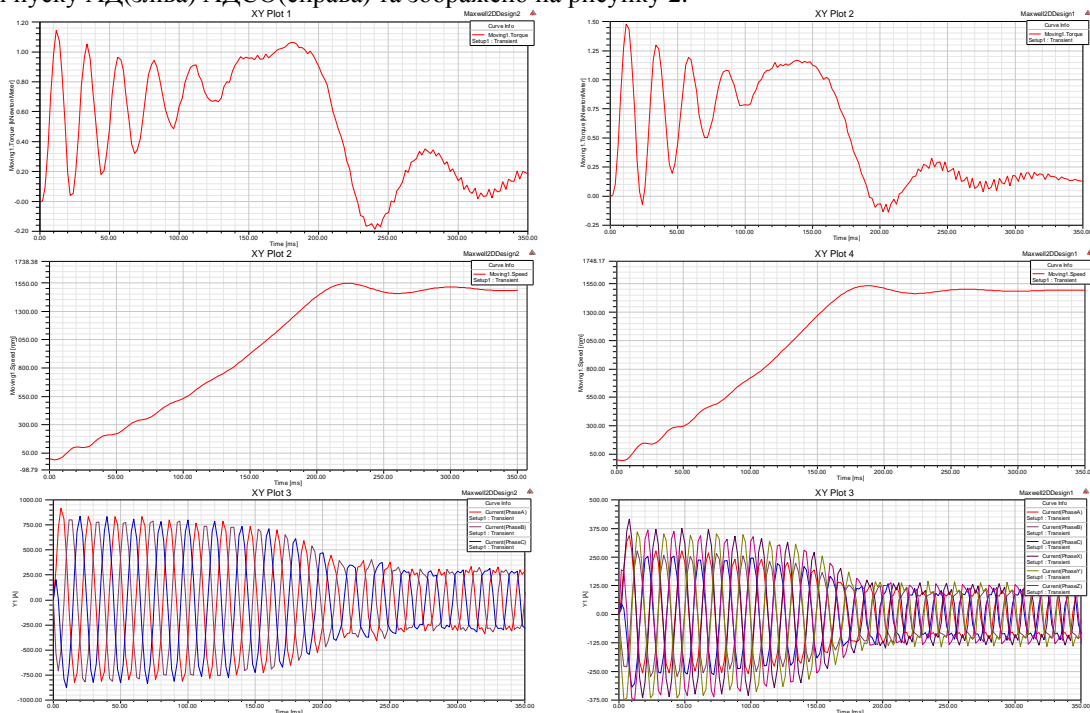


Рис. 2 Перехідні процеси моделі АД(зліва) та ДСО(справа)

Отже, в результаті моделювання отримано наступні чисельні результати: значення критичного моменту становить $M_{Ad} = 1080 \text{ Нм}$, $M_{Adco} = 1150 \text{ Нм}$; тривалість перехідного процесу $t_{Ad} = 0.33 \text{ с}$, $t_{Adco} = 0.27 \text{ с}$; амплітудне значення номінального струму $I_{rAd} = 300 \text{ А}$, $I_{rAdco} = 100 \text{ А}$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Параметрический электропривод. [Электронный ресурс]/ Парфентьев Д.В. Режим доступа: <http://el-lance.ru/news/2010-08-23-86>.
2. Новые энергосберегающие технологии_[Электронный ресурс]/ Яловега С.Н. Режим доступа: http://kopen.narod.ru/product_1.html
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. Учеб. для вузов – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2001, - 327 с, ил.
4. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / Чорний О.П., Луговой А.В., Родькін Д.Й., Сисюк Г.Ю., Садовой О.В. – Кременчук, 2001 - 376 с.