

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРИФАЗНО-ОДНОФАЗНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ В ПУСКОВИХ РЕЖИМАХ

Шуруб Ю.В., к.т.н.

Інститут електродинаміки НАН України
Україна, 03680, Київ, пр-кт Перемоги, 56
тел. (044) 454-26-37

Запропоновано засіб покращення експлуатаційних властивостей трифазно-однофазних асинхронних електроприводів за рахунок використання комбінованих схем, розроблено математичну модель для аналізу динамічних процесів, що виникають в таких електроприводах внаслідок схемних перемикачів.

Предложен способ улучшения эксплуатационных свойств трехфазно-однофазных асинхронных электроприводов за счет использования комбинированных схем, разработана математическая модель для анализа динамических процессов, возникающих в таких электроприводах вследствие схемных переключений.

Актуальним є питання підвищення експлуатаційних властивостей трифазних асинхронних двигунів (АД) з фазозсуваючими конденсаторами, що живляться від однофазної мережі – трифазно-однофазних електроприводів (ЕП). Такі електроприводи мають досить низьку кратність пускового моменту (0,3-0,5). Для отримання задовільного пускового моменту на період пуску паралельно робочому додають пусковий конденсатор, що знижує надійність електромеханічної системи, підвищує її вартість та масо-габаритні показники. Перехідні процеси при комутаціях пускового конденсатора супроводжуються появою екстраструмів в колі конденсаторів з великою швидкістю зростання струму, що призводить до зносу контактної апаратури та перешкоджає використанню в якості комутаторів напівпровідникових вентилів. В деяких випадках проблема може бути вирішена шляхом застосування комбінованої схеми включення ЕП, де використовується один (робочий) конденсатор, але різні схем вмикання силової частини ЕП (обмоток АД і конденсатора) в пусковому та робочому режимах [1].

Один із варіантів схеми такого комбінованого включення приведений на рис. 1. Пуск двигуна здійснюється при послідовно-паралельному включенні його обмоток (положення контактора К - 2), що має більший пусковий момент, ніж схема Штейнметца (положення контактора К - 1). Тоді як в робочому режимі обмотки двигуна вмикаються по схемі Штейнметца, що має кращі енергетичні показники в області номінальних ковзань. Така комбінована схема дозволяє отримати кратність пускового моменту 0,4-0,8. Додатковий тиристорний регулятор VS дозволяє регулювати швидкість двигуна в робочому режимі і величину пускового моменту.

Зацікавленість викликає перехідний процес, обумовлений комутацією силової частини системи в процесі пуску, оскільки в момент комутації виникає можливість значних динамічних поштовхів електромагнітного моменту двигуна та короточасних кидків струму. Мінімізація цих факторів через вибір оптимального закону керування перекомутацією силових схем сприятиме підвищенню експлуатаційних характеристик трифазно-однофазного електроприводу. Відомо, що максимальна амплітуда перехідного струму,

що виникає внаслідок зміни структури силової схеми, залежить від початкового значення струмів в колі статора, від фазового кута φ в момент комутації (кут комутації), що відраховується від моменту переходу кривої напруги через нуль, та фазового кута навантаження. Останній залежить від швидкості двигуна в момент комутації. Причому, в момент комутації джерелом зовнішньої енергії для силових кіл статора є не тільки мережа живлення, а й ЕРС обертання, обумовлене незатухшим полем ротора, що теж залежить від швидкості обертання двигуна. Отже, оптимальний закон керування перекомутацією силових схем визначається для заздалегідь вибраного значення швидкості моментом комутації, тобто фазовим кутом φ , при якому миттєвий кидок струму буде мінімальним, що через складність електромагнітних процесів в комбінованій схемі може бути визначений тільки методом математичного моделювання.

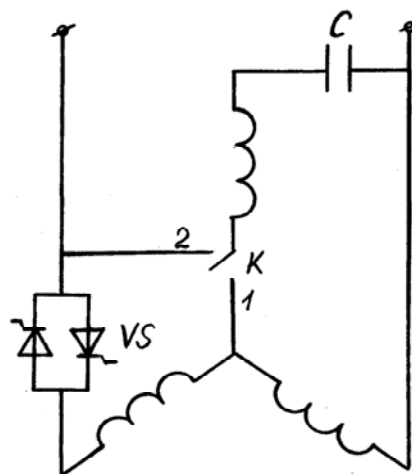


Рис. 1. Схема комбінованого включення трифазно-однофазного асинхронного електроприводу

Для аналізу перехідних процесів, що виникають при схемних перемикачях, розроблена узагальнена математична модель трифазно-однофазного електроприводу, де структура матричних диференціальних рівнянь електричної рівноваги незалежно від схеми з'єднання силової частини системи залишалась незмін-

ною, а зміна структури силового кола супроводжувалась тільки зміною коефіцієнтів диференціальних рівнянь, не порушуючи при цьому закони безперервності потокозчеплень двигуна та зарядів конденсатора.

В системі координат статора $\alpha, \beta, 0$ електромеханічні процеси в АД описуються наступною системою рівнянь в матричній формі:

$$\begin{aligned} \bar{u}_s &= R_s \bar{i}_s + \sigma L_s D \bar{i}_s + \frac{L_m}{L_r} D \bar{\psi}_r; \\ 0 &= -R_r \frac{L_m}{L_r} \bar{i}_s + \frac{R_r}{L_r} \bar{\psi}_r + D \bar{\psi}_r + \omega \bar{\psi}_r; \\ M &= \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_r} (\bar{\psi}_\alpha^r i_\beta^s - \bar{\psi}_\beta^r i_\alpha^s); J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\bar{u}_s = |u_\alpha^s, u_\beta^s|^t$ - вектор напруг статора, $\bar{i}_s = |i_\alpha^s, i_\beta^s|^t$ -

вектор струмів статора, $\bar{\psi}_r = |\psi_\alpha^r, \psi_\beta^r|^t$ - вектор потокозчеплень ротора, $L_s = L_m + L_{\sigma s}$, $L_r = L_m + L_{\sigma r}$ - повні індуктивності статора і ротора; L_m - індуктивність намагнічуючого конура; $L_{\sigma s}$ - індуктивність розсіювання статора; $L_{\sigma r}$ - індуктивність розсіювання ротора, R_s, R_r - активні опори статора і ротора;

$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}$ - коефіцієнт розсіювання; J - момент

інерції $\bar{\omega} = \begin{vmatrix} 0 & \omega \\ -\omega & 0 \end{vmatrix}$ - матриця, що визначає ЕРС обертання, D - символ диференціювання по часу.

Для вирішення системи (1) необхідно виразити вектор напруг статора $\bar{u}_s = |u_\alpha^s, u_\beta^s|^t$ через параметри зовнішнього кола двигуна і змінні стану, за які приймаються струми статора $\bar{i}_s = |i_\alpha^s, i_\beta^s|^t$ та потокозчеп-

лення ротора $\bar{\psi}_r = |\psi_\alpha^r, \psi_\beta^r|^t$. Опираючись на рівняння Кірхгофа та відомі співвідношення між електромагнітними змінними в ортогональній системі координат $\alpha, \beta, 0$ і в природній системі координат A, B, C ,

можливо визначити, що в загальному випадку вектор напруг статора для досліджуваних схем (Штейнметца і послідовно-паралельної) є функцією напруги мережі u , вектора струму статора \bar{i}_s , вектора потокозчеп-

лень ротора $\bar{\psi}_r$ і напруги на конденсаторі u_C , яка в свою чергу може бути визначена через складові вектора \bar{i}_s . Тоді загальний вираз для визначення вектора напруг статора буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{u}_s &= k_1 u + \frac{1}{C_1} k_2 \frac{1}{D} \bar{i}_s + L_m \left(\frac{L_m}{L_r} - 1 \right) k_3 D \bar{i}_s + \\ &+ \frac{L_m}{L_r} k_4 D \bar{\psi}_r. \end{aligned} \quad (2)$$

У правій частині виразу (2) перша складова обумовлена дією напруги мережі, друга – напругою на конденсаторі, третя – дією протиЕРС від струмів нульової послідовності, четверта – протиЕРС обертання.

Числові значення матриць коефіцієнтів $\bar{k}_1 - \bar{k}_4$, що дозволяють зв'язати вектор напруги статора двофазної моделі АД в координатах статора $\alpha, \beta, 0$, з параметрами зовнішнього кола двигуна (напруга мережі, ємність конденсатора) і змінними стану (вектори струму статора і потокозчеплення ротора) залежать від положення комутатора К і приведені в роботі [1].

Таким чином, зміна структури силового кола не вимагає зміни системи диференціальних рівнянь, а супроводжується тільки зміною коефіцієнтів $\bar{k}_1 - \bar{k}_4$ в рівнянні (2).

Математичне моделювання динамічних процесів, що виникають внаслідок схемних перемикачів в трифазно-однофазних електроприводах з комбінованою схемою включення дозволило провести оптимізацію моменту перемикачів силових схем включення по критерію мінімального кидка струмів в комутуємих силових колах. Аналіз перехідних процесів, що відбуваються в таких електроприводах, показав, що максимальне миттєве значення струму в момент комутації в комбінованій схемі не перевищує п'ятикратного номінального. Тоді як при застосуванні пускового конденсатора короточасні стрибки струму можуть в десятки раз перевищувати його номінальне значення. В залежності від фазового кута ϕ в момент комутації кратність максимального кидка струму до його номінального значення коливалась від 1,5 до 5. Отже вибором оптимального значення моменту комутації можливо значно зменшити максимальні кидки струму в колі статора та покращити експлуатаційні властивості електроприводу.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Шуруб Ю.В. Аналіз динамічних процесів в трифазно-однофазних асинхронних електроприводах із схемою комбінованого включення. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип.4/2005(33) – С. 33-35.

Надійшла 30.08.2006