

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ІЗ ЗМІНОЮ СХЕМИ З'ЄДНАННЯ ФАЗ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА "ТРИКУТНИК – ЗІРКА"

При моделюванні динамічних режимів зміни схеми з'єднання фаз статора за допомогою розробленої математичної моделі асинхронного двигуна досліджено можливості зменшення динамічних навантажень.

При моделировании динамических режимов изменения схемы соединения фаз статора с помощью разработанной математической модели асинхронного двигателя исследованы возможности уменьшения динамических нагрузок.

ВСТУП

Забезпечення енергоефективної роботи асинхронного електроприводу при зміні навантаження можна досягти зміною напруги живлення. Це дозволяє стабілізувати ковзання, рівень насичення магнітного кола і підтримувати майже на номінальному рівні величини коефіцієнтів корисної дії та потужності. Ефективний дискретний спосіб такої зміни це переключення схеми з'єднання фаз "трикутник – зірка". Але його застосування, зокрема в електроприводі ескалатору метрополітену, обмежується значними динамічними навантаженнями в механічних ланках електромеханічної системи (ЕМС). В той же час відомий та апробований на практиці спосіб обмеження динамічних навантажень при керуванні електромагнітними перехідними процесами в асинхронному двигуні (АД) із зміною моменту та фази комутації обмоток статора напівпровідниковими ключовими елементами [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Дослідження можливостей зміни динамічних навантажень та розробка алгоритму керування комутаторами повинні спиратись на ефективні і адекватні математичні моделі ЕМС з АД. Сучасним засобом моделювання складних електромеханічних систем є система імітаційного та структурного моделювання MATLAB-Simulink. Стандартні блоки АД бібліотек SimPowerSystems, Simscape цієї системи побудовано на математичній моделі, яка відповідає рівнянням електричної рівноваги, записаним відносно проєкцій сумарних просторових комплексів для схеми з'єднання фаз статора – "зірка". Це не відповідає умовам даного дослідження і потребує складання відповідної моделі АД із використанням методів структурного моделювання підсистеми Simulink і оформлення її у вигляді нового блоку.

Потрібну модель, із довільною схемою з'єднання фаз статора, розроблено в роботі [2]. Для оцінки можливості застосування цієї моделі для моделювання режимів зміни схеми з'єднання фаз статора, в даній роботі, на прикладі ЕМС із АД 4A355S8, досліджено особливості процесів зміни схеми з'єднання фаз "трикутник – зірка".

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Математичну модель ЕМС з АД в системі імітаційного та структурного моделювання MATLAB-Simulink для дослідження динамічних режимів зміни схеми з'єднання фаз "трикутник – зірка" наведено на рис. 1.

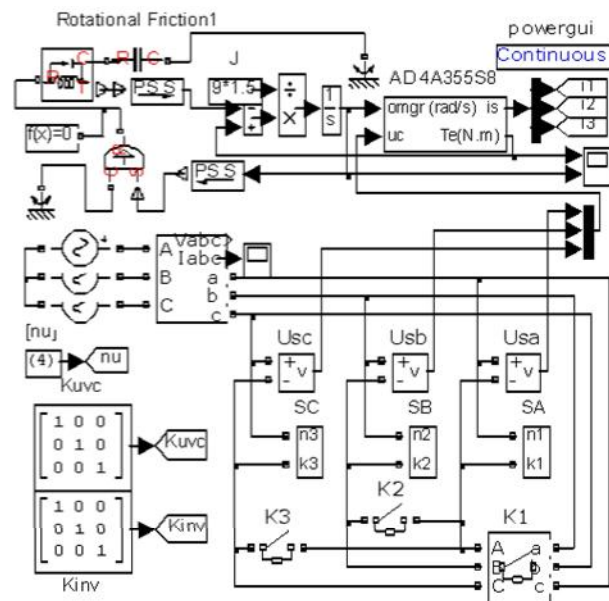


Рис. 1. Математична модель ЕМС з АД при переключеннях "трикутник – зірка"

Дана модель крім стандартних блоків бібліотек SimPowerSystems, Simscape складається з блоку AD4A355S8, який реалізує математичну модель АД із довільною схемою з'єднання фаз [2]. Інтеграція цієї моделі до системи імітаційного моделювання здійснюється блоками SA, SB, SC, які побудовано із використанням бібліотечних блоків керування джерел струму [2] і моделюють електричні кола фаз статора. Узгодження математичної моделі АД із зовнішньою мережею здійснюється матрицями $[K_{uv}]$, $[K_{in}]$ – перетворень напруг фаз до напруг мережі і незалежних струмів фаз до струмів всіх фаз. Матриця $[nu]$ задає порядки гармонік МРС. Блок AD4A355S8 використовує сталі параметри АД, які визначаються в ньому [2] за номінальними параметрами заступної схеми. Вхідними сигналами є напруги зовнішньої мережі і частота обертання ротора, вихідними – величини струмів всіх фаз та електромагнітного моменту.

Зміна схеми з'єднання фаз "трикутник" на схему "зірка" здійснюється розмиканням трифазного контактора K1 (час $t_{вкл.1}$) та замиканням контакторів K2, K3 (час $t_{вкл.2}$, $t_{вкл.3}$, відповідно). Рівняння механічної рівноваги моделюється засобами системи Simulink. Момент опору на валу АД задано блоком бібліотеки Simscape.

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ

Дослідження режимів роботи при переключенні "трикутник – зірка" здійснено на базі ЕМС із АД 4А355S8. Зведений момент інерції є 1.5 кратним до моменту інерції ротора. Момент опору змінюється в межах 0.1...0.3 номінального пропорційно швидкості. Як показало моделювання при даних умовах зміна схеми з'єднання фаз АД забезпечує підвищення коефіцієнту потужності з 0.6 до 0.85.

Протікання перехідних процесів ускладнюється взаємодією струмів короткозамкненого ротора, які не затухли, з післякомутаційними струмами фаз статора. Їх співвідношення обумовлює величини кидків струмів та електромагнітного моменту. Режим, який досліджується, складається з пуску та роботи із схемою "трикутник", розмикання контактора К1 і режиму затухання струмів ротора, замикання контакторів К2, К3 і роботи із схемою "зірка". На рис.2, 3 наведено розрахункові залежності зміни в часі електромагнітного моменту та частоти обертання ротора.

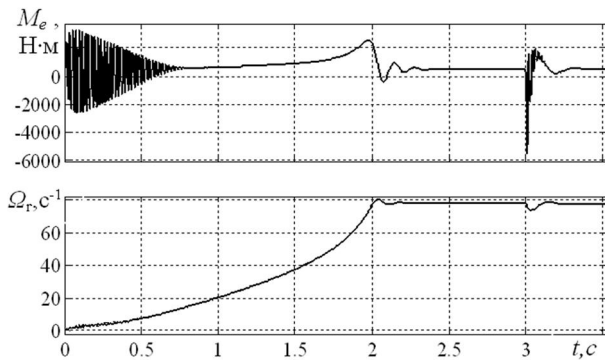


Рис. 2. Динамічні характеристики: $t_{\text{вкл.1}} = 3$ с;
 $t_{\text{вкл.2}} = 3.001$ с; $t_{\text{вкл.3}} = 3.001$ с

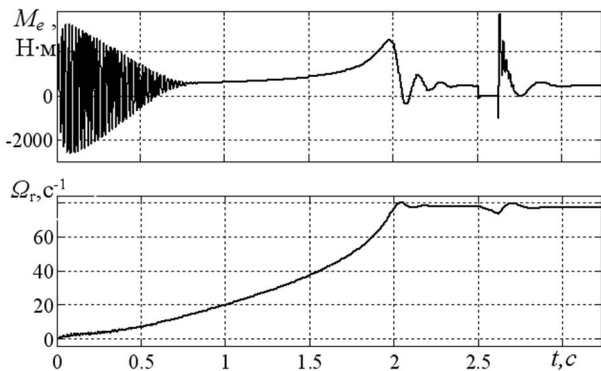


Рис. 3. Динамічні характеристики: $t_{\text{вкл.1}} = 2.5$ с;
 $t_{\text{вкл.2}} = 2.62$ с; $t_{\text{вкл.3}} = 2.62$ с

Видно, що кидки електромагнітного моменту при замиканні контакторів К2, К3 ставлять під сумнів працездатність даної схеми без додаткових заходів по їх зниженню. Варіювання величиною затримки замикання контакторів К2, К3 після розмикання К1 дозволяє зменшити кидки моменту.

Максимального ефекту можна досягти при почерговому спрацьовуванні контакторів К2, К3 із потрібними затримками. Фрагмент динамічних характеристик із подібною мінімізацією показано на рис. 4. Час спрацьовування контакторів визначено за результатами серії чисельних експериментів із використанням наведеної математичної моделі. Видно, що порівняно з варіантом рис. 2 від'ємний кидок моменту зменшився на порядок.

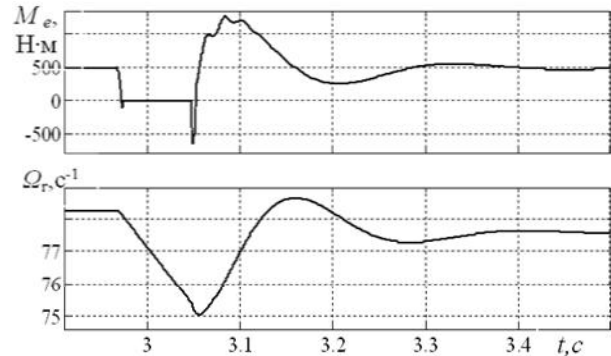


Рис. 4. Динамічні характеристики: $t_{\text{вкл.1}} = 2.966$ с;
 $t_{\text{вкл.2}} = 3.0526$ с; $t_{\text{вкл.3}} = 3.0472$ с

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мамедов Ф.А., Резниченко В.Ю., Малиновский А.Е. Принцип формирования переходных процессов в асинхронных двигателях при несимметричных режимах // Тр. Моск. энергет. ин-та. – 1974. – Вып. 196. – С. 11-19.
2. Попович О.М. Математична модель для дослідження режимів асинхронних машин електромеханотронних систем // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 4. – С. 25-32.

Bibliography (transliterated): 1. Mamedov F.A., Reznichenko V.Yu., Malinovskij A.E. Princip formirovaniya perehodnyh processov v asinhronnyh dvigatelyah pri nesimmetrichnyh rezhimakh // Tr. Mosk. `energet. in-ta. - 1974. - Vyp. 196. - S. 11-19. 2. Popovich O.M. Matematichna model' dlya doslidzhennya rezhimiv asinhronnih mashin elektromehanotronnih sistem // Tehn. elektrodinamika. - 2010. - № 4. - S. 25-32.

Надійшла 05.10.2010

Попович Олександр Миколайович, к.т.н., с.н.с.
Институт электродинамики НАН Украины
03680, Киев, пр. Победы, 56
тел. (044) 454-26-37

Popovich O.M.

Modeling of dynamic loads under delta-to-star conversion of an asynchronous motor phase connection.

At modeling of dynamic conditions of delta-to-star conversion of stator phase connection by means of a developed mathematical model of an asynchronous motor, feasibility of dynamic load dropping is investigated.

Key words – asynchronous motor, stator phase connection, delta-star conversion, dynamic conditions, modeling.