

Н. Д. Красношанка¹
А. С. Титаренко¹

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ НЕРЕГУЛЬОВАНИХ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З МАСИВНИМИ ФЕРОМАГНІТНИМИ ЕКРАНАМИ ЕЛЕМЕНТІВ КОРОТКОЗАМКНЕНОГО РОТОРНОГО КОНТУРУ

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розглянуто питання енергетичної ефективності використання асинхронних електроприводів з масивними феромагнітними торцевими екранами елементів роторного контуру поза робочим повітряним зазором. Проведено порівняння енергетичних показників пускового і усталеного режимів роботи серійного і модифікованого асинхронних двигунів.

Ключові слова: електропривод, асинхронний двигун, масивний феромагнітний екран.

Вступ

Нерегульовані асинхронні електроприводи на сьогоднішній день залишаються широко розповсюдженими в різних галузях промисловості України. Як відомо, пусковий режим асинхронного двигуна супроводжується значними величинами струмів, які в 6...8 разів перевищують номінальні. Проте пусковий момент цього двигуна відносно невеликий і у більшості машин з короткозамкненим ротором більше номінального лише в 1,2...1,4 рази. Сукупність цих факторів призводить до значних втрат енергії в асинхронних електроприводах під час пуску. Одним із варіантів покращення енергетичних показників нерегульованих асинхронних електроприводів, що працюють з частими пусками, є застосування асинхронних двигунів з підвищеним пусковим моментом при одночасному обмеженні величини пускових струмів. Такого ефекту можна досягти при екрануванні фрагментів обмотки короткозамкненого ротора [1, 2]. Застосовуючи масивні феромагнітні екрани фрагментів короткозамкненої роторної обмотки поза робочим повітряним зазором асинхронного двигуна [3], можна збільшити пусковий момент нерегульованого електропривода і забезпечити механічну характеристику екскаваторного типу або близьку до неї. Крім того, використання двигунів такої конструкції дозволяє обмежити величину пускового струму. В асинхронних електроприводах з двигунами запропонованої модифікації зменшуються втрати енергії в пусковому режимі роботи [3], проте вони мають м'якшу робочу частину механічної характеристики, що призводить до збільшення втрат в усталеному режимі роботи.

Метою дослідження є визначення граничного часу роботи в усталеному режимі електропривода з асинхронним двигуном з масивними феромагнітними торцевими екранами елементів роторного контуру поза робочим повітряним зазором за умови більшої енергетичної ефективності протягом циклу, порівняно із використанням серійного двигуна.

Результати дослідження

Під час аналізу процесів в асинхронному двигуні вплив масивних торцевих феромагнітних екранів елементів роторного контуру поза робочим повітряним зазором може бути врахований введенням в схему заміщення додаткових активного r'_e і індуктивного опорів x'_e , зумовлених поглинанням енергії екранами. Падіння напруги на цих опорах буде еквівалентно додатковій ЕРС, яка створюється спільною дією МРС струмів роторної обмотки та вихрових струмів феромагнітних екранів [3]. Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна з масивними феромагнітними екранами показана на рис. 1, де r_1 , x_1 — активний та індуктивний опори

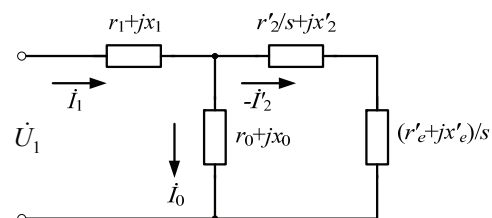


Рис. 1. Схема заміщення асинхронного двигуна з масивними феромагнітними екранами

обмотки фази статора; r'_2, x'_2, r'_e, x'_e — приведені активний та індуктивний опори ротора та феромагнітного екрана; r_0, x_0 — активний та індуктивний опори контуру намагнічування.

Величини активного r'_e і індуктивного x'_e еквівалентних опорів суттєво нелінійні та залежать від ковзання ротора відносно магнітного поля. На рис. 2 показана залежність цих опорів від величини ковзання, яка розрахована для асинхронного двигуна 4A160S2Y3 потужністю 15 кВт. Суцільною лінією зображена залежність еквівалентного внесеного активного опору екрана, а пунктирною — індуктивного. Розміри масивних феромагнітних екранів вибирались за умови формування механічної характеристики двигуна екскаваторного типу відповідно до методики, викладеної в [4]: осьова довжина $l_o = 0,033$ м і радіальна товщина $h = 0,015$ м. Як видно з рис. 2, зі зміною величини ковзання в діапазоні від 1 до 0,4 обидві складові еквівалентного внесеного опору екранів змінюються однаково. При ковзаннях менших 0,4 активна складова еквівалентного опору значно зменшується, в той час, як індуктивна мало змінюється до ковзання, що відповідає лінійній частині механічної характеристики (приблизно 0,1). Таким чином в усталеному режимі роботи індуктивна складова еквівалентного опору значно перевищує активну.

Проведені дослідження на математичній моделі [3] пускового і усталеного режимів роботи електропривода з серійним асинхронним двигуном 4A160S2Y3 і модифікованим з наведеними раніше параметрами масивних феромагнітних екранів. Енергетичні характеристики електроприводів досліджувались для режиму прямого пуску при сумарному двократному $J_\Sigma = 2 J_D$ і чотирикратному $J_\Sigma = 4 J_D$ приведені до вала двигуна моменті інерції і двох характерах навантаження — постійному, рівному номінальному, моменті двигуна та вентиляторному. Запропонований модифікований асинхронний двигун 4A160S2Y3 з масивними феромагнітними екранами при номінальному моменті на валу має ковзання 4 %, а у серійного номінальне ковзання 2,1 %.

Результати досліджень подані в табл. 1. Значення в чисельнику відповідають пуску електропривода з серійним двигуном, а в знаменнику — з модифікованим.

Таблиця 1

Показники пускових режимів асинхронних електроприводів з серійним двигуном 4A160S2Y3 і модифікованим з торцевими екранами елементів роторного контуру

Параметр	Постійний момент навантаження		Вентиляторний момент навантаження	
	$J_\Sigma = 4 J_D$	$J_\Sigma = 2 J_D$	$J_\Sigma = 4 J_D$	$J_\Sigma = 2 J_D$
Час пуску t_p , с	<u>3,58</u> 1,59	<u>2,0</u> 0,79	<u>1,19</u> 1,19	<u>0,68</u> 0,63
Втрати активної енергії W_a , Дж	<u>$15,18 \cdot 10^4$</u> $4,3 \cdot 10^4$	<u>$7,9 \cdot 10^4$</u> $2,1 \cdot 10^4$	<u>$4,3 \cdot 10^4$</u> $2,5 \cdot 10^4$	<u>$2,2 \cdot 10^4$</u> $1,3 \cdot 10^4$
Втрати реактивної енергії W_p , Дж	<u>$29,8 \cdot 10^4$</u> $7,6 \cdot 10^4$	<u>$15,6 \cdot 10^4$</u> $3,8 \cdot 10^4$	<u>$8,9 \cdot 10^4$</u> $4,7 \cdot 10^4$	<u>$4,6 \cdot 10^4$</u> $2,4 \cdot 10^4$
Повні втрати енергії W_s , Дж	<u>$35,4 \cdot 10^4$</u> $10,2 \cdot 10^4$	<u>$18,7 \cdot 10^4$</u> $5,1 \cdot 10^4$	<u>$10,8 \cdot 10^4$</u> $6,5 \cdot 10^4$	<u>$5,7 \cdot 10^4$</u> $3,4 \cdot 10^4$

В усталеному режимі роботи для електропривода з серійним двигуном споживана активна потужність $P_{1s} = 1,705 \cdot 10^4$ Вт, споживана реактивна потужність $Q_{1s} = 7,746 \cdot 10^3$ вар, повна споживана потужність $S_{1s} = 1,873 \cdot 10^4$ В·А, коефіцієнт потужності $\cos \varphi_{1s} = 0,91$. При використанні модифікованого двигуна $P_{1m} = 1,657 \cdot 10^4$ Вт, $Q_{1m} = 9,439 \cdot 10^3$ вар, $S_{1m} = 1,907 \cdot 10^4$ В·А, $\cos \varphi_{1s} = 0,87$.

Внаслідок впливу масивних феромагнітних екранів елементів роторного контуру в усталеному режимі роботи знижується коефіцієнт потужності двигуна і зростає споживання повної і реактивної потужностей. Збільшення ковзання в разі роботи з номінальним моментом призводить до незначного зменшення споживаної активної потужності.

Формування за допомогою масивних феромагнітних торцевих екранів механічної характеристики асинхронного двигуна екскаваторного типу [4] дозволяє збільшити величини пускового моменту і

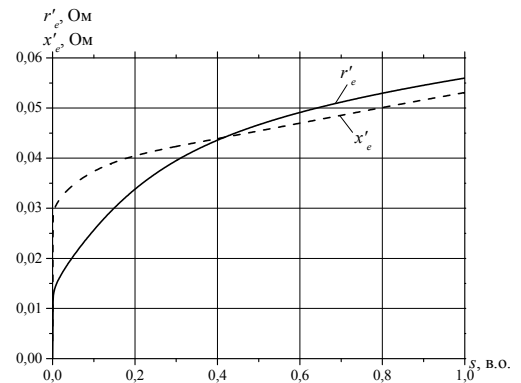


Рис. 2. Залежність активного (r'_e) і індуктивного (x'_e) еквівалентних опорів феромагнітних екранів від ковзання

динамічного моменту при ковзаннях більших критичного. Це призводить до зменшення часу пуску і, як наслідок, значно зменшуються втрати активної, реактивної і повної енергії в електроприводі.

Енергетична ефективність використання модифікованого асинхронного двигуна буде збільшуватись зі зростанням кількості пусків електропривода. Найбільшою мірою цей ефект буде проявлятися при складних умовах пуску: постійний момент навантаження і значний сумарний приведений момент інерції електропривода.

Доцільну тривалість роботи такого електропривода в усталеному режимі роботи будемо визначати, виходячи з критерію, що додаткові втрати енергії, які зумовлені наявністю екранів елементів роторної обмотки, не перевищують економії енергії в пусковому режимі. Так як з використанням модифікованого двигуна зменшується коефіцієнт потужності, порівняння будемо проводити за втратами реактивної енергії і повними втратами енергії.

Збільшення споживання відповідного виду енергії електроприводом з модифікованим двигуном в порівнянні з серійною машиною в усталеному режимі роботи визначається так:

$$\Delta Q_1 = Q_{1m} - Q_{1s} = 1,693 \cdot 10^3 \text{ вар};$$

$$\Delta S_1 = S_{1m} - S_{1s} = 0,34 \cdot 10^3 \text{ В}\cdot\text{А}.$$

Результати розрахунків подані в табл. 2.

Таблиця 2

Визначення доцільного часу роботи в усталеному режимі електроприводів з модифікованими двигунами

Параметр	Постійний момент навантаження		Вентиляторний момент навантаження	
	$J_{\Sigma} = 4 J_D$	$J_{\Sigma} = 2 J_D$	$J_{\Sigma} = 4 J_D$	$J_{\Sigma} = 2 J_D$
Зменшення споживання реактивної енергії при пуску ΔW_p , Дж	$22,2 \cdot 10^4$	$11,8 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^4$
Зменшення споживання повної енергії при пуску ΔW_s , Дж	$25,2 \cdot 10^4$	$13,6 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^4$	$2,3 \cdot 10^4$
Доцільний час роботи за споживанням реактивної енергії t_q , с	131	70	24	13
Доцільний час роботи за споживанням повної енергії t_s , с	741	400	126	67

Аналіз отриманих результатів показує, що чим складнішими з енергетичної точки зору є умови пуску електропривода (значний сумарний момент інерції і постійний статичний момент навантаження на рівні номінального моменту двигуна), тим більшою є енергетична ефективність використання асинхронних двигунів запропонованої модифікації. Внаслідок цього час роботи електропривода в усталеному режимі протягом одного циклу буде більшим. Застосування асинхронних двигунів з масивними торцевими феромагнітними екранами в нерегульованих електроприводах, які працюють з вентиляторним характером навантаження, особливо за незначних величин приведеного моменту інерції робочого механізму, не є доцільним.

Висновки

При постійному моменті навантаження електропривода, внаслідок впливу феромагнітних екранів, коефіцієнт потужності модифікованого двигуна в усталеному режимі роботи зменшується. Тому для того, щоб споживання реактивної потужності протягом одного циклу не було більшим, ніж з використанням серійного двигуна, час роботи в сталому режимі не повинен перевищувати 131 с при чотирикратному сумарному моменті інерції і 70 с при двократному.

Із встановленням компенсаторів реактивної потужності можна не вносити додаткових обмежень на час роботи в усталеному режимі. Економічна доцільність такого заходу повинна визначатись порівнянням вартостей додаткового обладнання і зекономленої протягом циклу електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вербовой П. Ф. Классификация и анализ конструкций роторов асинхронных двигателей : препр. / П. Ф. Вербовой // АН УССР. Ин-т электродинамики. — № 209. — К. : 1979. — 54 с.

2. Ставинский А. А. Короткозамкнутый ротор асинхронных двигателей с пониженной материалоемкостью и улучшенными пуско-регулирующими свойствами / А. А. Ставинский, Р. А. Ставинский. — Режим доступу : http://storage.library.opu.ua/online/periodic/ee_52/16.htm.

3. Красношапка Н. Д. Пускові режими асинхронних електроприводів з властивостями джерела моменту і з системами обмеження пускових струмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / Красношапка Наталія Дмитрівна; Ін-т електродинаміки НАН України. — Київ, 2006. — 21 с.

4. Красношапка Н. Д. Особенности определения параметров динамической модели асинхронного двигателя с ферромагнитными экранами частей короткозамкнутой роторной обмотки / Н. Д. Красношапка // Праці Інституту електродинаміки НАН України : наук. пр. — Київ : Ін-т електродинаміки НАН України, 1999. — Вип. Електротехніка. — С. 98—104.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Стаття надійшла до редакції 18.11.2015

Красношапка Наталія Дмитрівна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електропривода, e-mail: ndkr@ukr.net;

Титаренко Анна Сергіївна — студентка факультету електроенергетехніки та автоматики.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

N. D. Krasnoshapka¹

A. S. Tytarenko¹

Analysis of Unregulated Asynchronous Electric Drive Operation Modes with Massive Ferromagnetic Screens in Short-Circuit Rotor Contour

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

The problems of energy efficiency of asynchronous electric drive with butt end ferromagnetic screens in rotor contour beyond working air-gap are being considered in the paper. The comparison of the energy performance of start-up and steady modes of operation for the production and the modified asynchronous motors has been made.

Keywords: electric drive, asynchronous motor, massive ferromagnetic screen.

Krasnoshapka Natalia D. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Electromechanical Systems Automation and Electrical Drive, e-mail: ndkr@ukr.net;

Tytarenko Anna S. — Student of the Faculty Electric Power Engineering and Automation

Н. Д. Красношапка¹

А. С. Титаренко¹

Анализ режимов работы нерегулируемых асинхронных электроприводов с массивными ферромагнитными экранами элементов короткозамкнутого роторного контура

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Рассмотрены вопросы энергетической эффективности применения асинхронных электроприводов с массивными ферромагнитными торцевыми экранами элементов роторного контура вне рабочего воздушного зазора. Проведено сравнение энергетических показателей пускового и установившегося режимов работы серийного и модифицированного асинхронных двигателей.

Ключевые слова: электропривод, асинхронный двигатель, массивный ферромагнитный экран.

Красношапка Наталья Дмитриевна — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: ndkr@ukr.net;

Титаренко Анна Сергеевна — студент факультета электроэнергетехники и автоматики