

## АСИНХРОННІ ДВИГУНИ ДЛЯ ШАХТНИХ КОНВЕЄРІВ З ПОКРАЩЕНИМИ ПУСКОВИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Лущик В.Д., д.т.н., проф.

Донбаський державний технічний університет, кафедра "Електричні машини і апарати"  
Україна, 94204, Алчевськ, пр. Леніна, 16

Кирьянов В.В.

ВАТ "Донецький електротехнічний завод"  
Україна, 83030, Донецьк, вул. Таллінська, 1.

*Розглянутий на прикладі конвеєрного двигуна новий спосіб покращення пускових характеристик.*

*Рассмотрен на примере конвейерного двигателя новый способ улучшения пусковых характеристик.*

Зараз на прикладі суміщеної Для конвеєрних двигунів важливим показником є пусковий момент, який бажано мати як можна більшим.

Загальновідомо, що пускові властивості асинхронних двигунів недосконалі. На протязі 120-літньої історії існування асинхронних двигунів чи не найосновніші зусилля були направлені на покращування їх пускових характеристик. Виконано тисячі, десятки тисяч наукових досліджень, зафіксовано тисячі патентів по цій проблемі.

Удосконалення конструкції короткозамкнених обмоток роторів проводилось в таких напрямках:

1. Оптимізація конструкції стержнів роторних обмоток.
2. Удосконалення конструкції короткозамикаючих кілець (короткозамикаючі кільця охоплюються залізним екраном).
3. Ротори з масивним феромагнітним сердечником.
4. Дво і тришарові конструкції роторів.

Будь-яке поліпшення пускових характеристик в асинхронних двигунах незмінно супроводжувалось погіршенням енергетичних показників в номінальному режимі роботи. Якій конструкції роторної обмотки віддати перевагу вирішувалось з урахуванням режиму роботи асинхронного двигуна.

Але найкращою і найбільш поширеною конструкцією роторної обмотки для асинхронних двигунів з покращеними пусковими властивостями продовжує залишатись двоклітинна роторна обмотка, запропонована Доліво-Добровольським майже відразу після винайдення ним трифазного асинхронного двигуна.

На сьогодні можна сказати, що знайдено рішення, яке дозволяє без погіршення енергетичних показників покращувати пускові властивості асинхронних двигунів. Для цього потрібно конструктивно виконати асинхронний двигун таким способом, щоб обмотки статора і ротора виконували подвійну функцію, тобто щоб вони були суміщеними  $2p_1/2p_2$ -полюсними обмотками і при пуску створювали каскадний режим роботи, а в номінальному режимі роботи каскадний режим повністю (або майже повністю) зникав.

Каскадні асинхронні машини відомі давно [1, 2]. Якщо виконувати каскадну асинхронну машину в

одному магнітопроводі, їх обмотки для можливості суміщення повинні бути різнополюсними.

Для асинхронного конвеєрного двигуна, який є чотириполюсною машиною ( $2p_1 = 4$ ),  $2p_2$  - полюсне поле, яке буде утворюватись при пуску, може бути  $2p_2 = 2, 6, 8$ . Більш оптимально, якщо  $2p_2 = 2$ . Тобто роторна обмотка повинна бути суміщеною  $2p_1/2p_2 = 4/2$  - полюсною обмоткою, при цьому  $2p_2$  - полюсне поле повинно обертатись зустрічно  $2p_1$ -полюсному полю.

$2p_1/2p_2$  - полюсної роторної обмотки буде показаний принцип створення такої обмотки і її переваги перед двома окремими обмотками.

На рис. 1 показані роторні обмотки, розміщені в одних і тих же пазах ротора і зображені одна над другою. Обмотка 1 -  $2p_1$ -полюсна,  $2p_1 = 4$  (рис. 1а), обмотка 2 -  $2p_2$ -полюсна,  $2p_2 = 2$  (рис. 1б), виконана такими ж котушками, як і обмотка 1, тобто виконана із скороченням кроку  $y = 0,5 \cdot \tau_2 = \tau_1$ . Обидві обмотки виконані однаковим числом витків в котушках і однаковим проводом. Кожна обмотка займає половину пазового простору. Початки фаз обмотки 1 зміщені один відносно другого на  $240^\circ$  ел. в  $2p_1$ -полюсному полі, початки фаз обмотки 2 зміщені на кут  $120^\circ$  ел. в  $2p_2$ -полюсному полі, тому струм  $I_1 = I_2$ , який протікає по обом послідовно ввімкненим обмоткам, буде створювати магнітні поля, що обертаються в протилежних напрямках.

Роторні обмотки 1 і 2 можна об'єднати і створити одну суміщену обмотку. Це можливо зробити завдяки тому, що обмотки виконані однаковими по величині котушками. Фази кожної із обмоток складаються із двох послідовно ввімкнених котушок. В перших котушках всіх фаз обох обмоток струми направлені в одному напрямі, в других котушках - в протилежному. Тому МРС, створювана другими котушками всіх фаз обмоток, дорівнює нулю, і другі котушки виявляються зайвими. Залишаються послідовно ввімкнені тільки перші котушки, другі котушки зникають. Суміщена обмотка, показана на рис. 1в, виконує такі ж функції, як і дві обмотки, обмотка 1 і обмотка 2, тобто при однаковому струмові I створює такі ж по величині магнітні поля  $\Phi_1$  і  $\Phi_2$ . В кожній котушці су-

міщеної обмотки в два рази більше витків (при незмінному діаметрі проводу), ніж в окремій котушці кожної із обмоток. В половині пазів мідь відсутня, витрата міді зменшується в два рази. Відповідно там, де нема міді, пази можна не виконувати. Так як ЕРС  $E_2$   $2p_1$ -полюсного поля наводиться тільки в обмотці 1, із якої залишилось три котушки зі збільшеним в два рази числом витків, то ЕРС  $E_2$ , яка буде наводитись в котушках суміщеної обмотки, не зменшується. Враховуючи, що повний опір  $Z_1+Z_2$  суміщеної обмотки в два рази зменшується, так як зменшується в два рази число послідовно ввімкнених витків, то при незмінному ковзанні  $s$  струм  $I_2$  в суміщеній обмотці суттєво зростає і відповідно зростає електромагнітний момент і потужність.

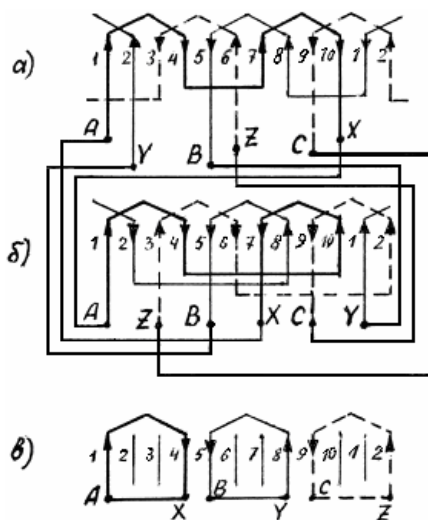


Рис. 1. Роторні обмотки каскадного асинхронного двигуна

Взагалі ж роторні короткозамкнені котушки доцільно виготовлять одновитковими із неізолюваної мідної шини, яка на кінцях зварюється.

У випадку з короткозамкненим ротором асинхронного двигуна імітацію трьох короткозамкнутих контурів можна здійснити, виконавши по три розрізи на кожному із короткозамикаючих кілець [3].

Експериментальні дослідження були проведені на асинхронних двигунах для шахтних конвеєрів ВКДВ250LC4 потужністю 132 кВт і напругою 660/1140В, які виготовляє ВАТ "Донецький електротехнічний завод". Двигун має зовнішній діаметр статора 368 мм, внутрішній – 244 мм, довжину осердя 580 мм, повітряний зазор  $\delta=0,9$  мм, числа пазів  $Z_1=48$ ,  $Z_2=42$ , обмотка двошарова, крок  $y=9$  (1-10), число провідників в пазу 4+4, число витків в фазі  $W_1=64$ , провід  $2,8 \times 7,1$ . Обмотка ротора – двоклітинна, верхні стержні – латунні діаметром  $d=9$  мм, нижні стержні – мідні трапецієподібні, висота 34,3 мм, ширина  $8,1 \times 2,9$  мм. Верхні і нижні короткозамикаючі кільця із міді.

В експериментальному двигуні для підвищення ефективності каскадного режиму і для поліпшення енергетичних показників верхні латунні стержні роторної обмотки були замінені на мідні такого ж діаметра:  $d=9$  мм, і обидва верхні короткозамикаючі кільця були розрізані навпроти зубців в трьох рівновіддальних одне від одного місцях. Розрізи одного короткозамикаючого кільця виконують навпроти розрізів

другого короткозамикаючого кільця. На рис. 2 показані розрізи між 42-м і 1-м пазами, між 14-м і 15-м пазами, між 28-м і 29-м пазами.

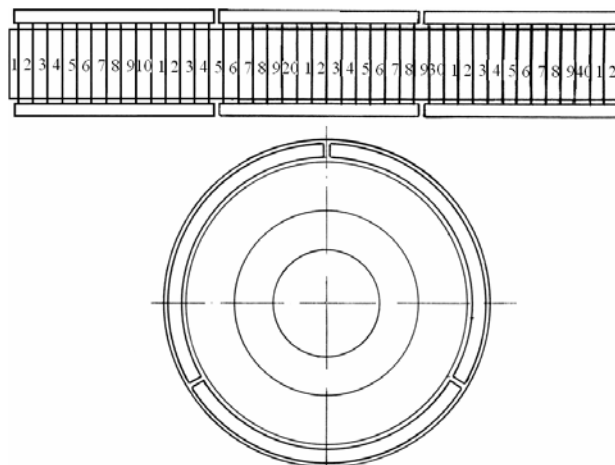


Рис. 2. Схема розрізів верхніх короткозамкнених кілець ротора

Так як неодмінною умовою існування каскадного режиму є взаємодія  $2p_2$ -полюсного поля із статорною обмоткою, статорну обмотку було виконано в кожній фазі із двох паралельних віток із розміщенням котушкових груп у вітках так, як показано на рис. 3.

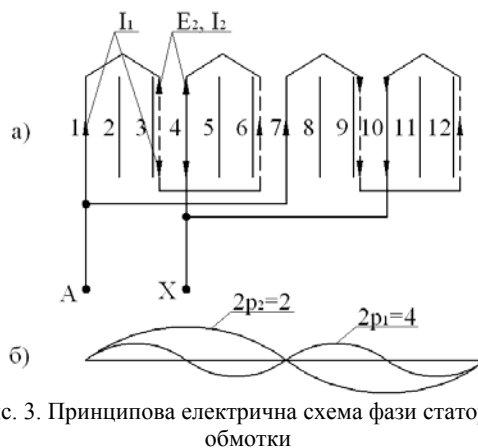


Рис. 3. Принципова електрична схема фази статорної обмотки

$2p_2$ -поле, створюване роторною обмоткою, наводить ЕРС  $E_2$ , показану у верхніх частинах пазів. Ця ЕРС в котушкових групах фази складається і під її дією протікає струм  $I_2$ . При іншому варіанті розміщення котушкових груп сумарна ЕРС в фазі дорівнює нулю. Статорна обмотка з двома паралельними вітками в фазах була виконана числом провідників в пазу 8+8 проводом  $1,4 \times 7,1$ .

Асинхронний двигун працює так. При пуску в верхній і нижній роторних обмотках виникають струми. Струм нижньої клітки створює  $2p_1$ -полюсне поле ( $2p_1=4$ ), а так як індуктивний опір нижньої клітки при пуску значно перевищує активний, електромагнітний момент, створюваний нижньою кліткою при пуску, незначний. Верхня клітка завдяки розрізам створює не тільки  $2p_1$ -полюсне поле, а ще й  $2p_2$ -полюсне ( $2p_2=2$ ), яке в паралельних вітках статорної обмотки наводить ЕРС  $E_2$ , в статорній обмотці виникає струм  $I_2$ . Взаємодія цього струму з  $2p_2$ -полюсним полем утворює додатковий електромагнітний момент. Цей

додатковий момент складується з основним при швидкості ротора в діапазоні від  $n = 0$  до  $n = \frac{60 \cdot f_1}{p_1 + p_2}$ .

В діапазоні швидкості від  $n = \frac{60 \cdot f_1}{p_1 + p_2}$  до  $n = n_1$  додат-

ковий момент діє зустрічно, тому в номінальному режимі роботи від каскадного режиму роботи потрібно позбавлятися.

Частково каскадний режим нівелюється тим, що в номінальному режимі роботи на повну потужність починає працювати нижня клітка. Додатково можна рекомендувати скріплювати місця розрізів стальними пластинами товщиною 2÷3 мм, які будуть шунтувати розрізи в номінальному режимі роботи, коли частота

струмів в роторі становить всього 0,5±1 Гц.

Були виготовлені 2 асинхронні двигуни ВКДВ 250LC4: один в серійному виконанні, другий модернізований, названий експериментальним, і обидва досліджені в електромашинній лабораторії ДП "ХЕМЗ", м. Харків.

Нижче приведена зведена таблиця даних випробувань. Для одержання об'єктивних даних по енергетичним показникам двох машин, що порівнюються між собою, потрібно, щоб механічні втрати їх були однаковими. В третьому стовпці приведені енергетичні показники експериментального двигуна з такими ж механічними втратами, як і в серійного двигуна.

Зведена таблиця результатів випробувань електродвигунів типу ВКДВ 250LC4

Позначення показника	Розрахункові дані	Дані по ТУ	Дані випробувань		
			серійний	експеримент	експеримент
			I	II	III
$P_H$ , кВт	132		132,09	132,34	132,940
$U$ , В	660/1140		660/1140	660/1140	660/1140
$I$ , А	152,2/87,9		146	148	148
$\cos \varphi$	0,82		0,853	0,84753	0,84753
$\eta$ , %	92,5		93,02	92,55	92,968
$S$ , %	1,1		0,94	0,97	0,97
$I_K / I_H$	6,4	7,5	6,1	7,817	
$M_K / M_H$	2,8	2,8	2,73	3,356	
$M_{\max} / M_H$	3,0	3,0	3,42	4,28	
$\tau_{\text{обм.стат}}$ , °С			96	98	
$P_{M1}$ , кВт			3,26	3,35	3,35
$P_{M2}$ , кВт			1,27	1,32	1,32
$P_{\text{ст}}$ , кВт			3,42	3,42	3,42
$P_{\text{мех}}$ , кВт			1,25	1,85	1,25
$P_{\text{доб}}$ , кВт			0,71	0,715	0,715
$\sum P$ , кВт			9,91	10,655	10,055
$P_1$ , кВт			142	142,995	142,995
$R_{\text{фст}}$ при 20°С	0,111		0,1095	0,111	0,111
$I_0$ , А			59	60	60
$\delta$ , мм			0,9	0,9	0,9
Вага, кг	865				

#### ВИСНОВКИ

1. Пусковий момент в експериментального двигуна збільшився порівняно з серійним на 23%.
2. Енергетичні показники практично залишились незмінними.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. – Л.: Энергия. – 1973. – Ч. II. – 648 с.
2. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 928 с., ил.
3. Луцки В.Д. Суміщені електричні машини та апарати. – К.: Техніка, 1993. – 203 с.

Надійшла 31.08.2008