

*д.т.н. Лущик В. Д.,
Іваненко В. С.,
Борзій В. Л.
(ДонДТУ, Алчевськ, Україна)*

СИНХРОННІ КАСКАДНІ МАШИНИ

Розглянуті конструктивні особливості синхронних каскадних машин з суміщеними обмотками, приведені дані експериментальних досліджень, обґрунтовуються переваги синхронних каскадних машин перед синхронними машинами серійного виконання.

***Ключові слова:** синхронна каскадна машина, двигун, суміщені обмотки, генератор.*

Рассмотрены конструктивные особенности синхронных каскадных машин с совмещенными обмотками, приведены данные экспериментальных исследований, обосновываются преимущества синхронных каскадных машин перед синхронными машинами серийного исполнения.

***Ключевые слова:** синхронная каскадная машина, двигатель, совмещенные обмотки, генератор.*

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними задачами. Багатополюсні синхронні двигуни і генератори, зі швидкістю обертання 500 об/хв. і менше, мають суттєві недоліки: складну конструкцію ротора, що складається з багатьох полюсів (не менше дванадцяти) з обмоткою збудження у вигляді котушок на кожному полюсі і додатково ще пусковою та демпферною обмоткою в полюсових накінецьниках, а також наявність контактних кілець і щіток для подачі в обмотку ротора струму збудження [1]. Ще дуже актуальною проблемою в синхронних двигунах є їх погані пускові властивості, що змушує в парі з синхронним двигуном застосовувати розгінний двигун, який використовується лише під час пуску, або проблему вирішують шляхом підвищення на 30% встановленої потужності привода, що знижує ККД двигуна у сталому режимі роботи [2]. Тому важливо вишукувати способи усунення цих недоліків. Одним із таких способів, і, на наш погляд, єдино можливим, є використання синхронних каскадних машин з суміщеними обмотками.

Аналіз досліджень і публікацій. Основним недоліком синхронних каскадних машин є погані масогабаритні показники. Дослідження,

проведені останнім часом, показали, що завдяки застосуванню оптимально спроектованих суміщених обмоток досягається значне покращення масогабаритних показників [3,4]

Постановка задачі. Проведені дослідження експериментального синхронного каскадного двигуна (СКД) числом полюсів $2p_1/2p_2=4:8$ [3,4] показали, що для покращення енергетичних показників і, відповідно, покращення масогабаритних показників потрібно збільшити кількість міді в роторній обмотці. Така робота була зроблена і проведені відповідні експериментальні дослідження та електромагнітні розрахунки.

Виклад матеріалу і його результати. На статорі експериментального СКД розміщена трифазна $2p_1$ -полюсна ($2p_1=4$) обмотка першого каскаду, яка живиться від трифазної мережі. Цю обмотку суміщують з однофазною $2p_2$ -полюсною ($2p_2=8$) обмоткою другого каскаду, яка живиться постійним струмом, що є струмом збудження. Суміщена трифазно-однофазна $2p_1/2p_2$ -полюсна обмотка в кожній фазі виконується із двох паралельних віток, які з'єднані в дві окремі паралельно з'єднані зірки з двома нульовими виводами з нейтральних точок. Принципова електрична схема такої суміщеної обмотки показана на рисунку 1. При подачі струму збудження в нульові виводи утворюється нерухоме $2p_2$ -полюсне поле.

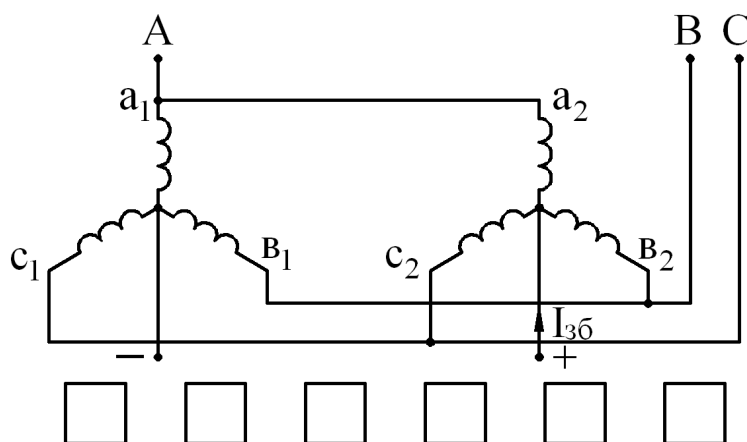


Рисунок 1 - Принципова електрична схема статорної обмотки

В експериментальному СКД $2p_1/2p_2$ -полюсна статорна обмотка, яка виконана проводом $d_{\text{зол}} = 1,0$ мм числом витків в фазі $W_{\phi} = 222$, має такі обмоткові коефіцієнти:

по $2p_1$ -полюсному полю $K_{\text{об.1}} = 0,7392$,

по $2p_2$ -полюсному полю $K_{\text{об.2}} = 0,844$.

Роторна суміщена трифазна обмотка, що об'єднує дві трифазні роторні обмотки двох каскадів, повинна утворювати два магнітні поля числом полюсів $2p_1$ і $2p_2$, які обертаються в протилежних напрямках. Така суміщена обмотка теж розроблена з оптимальним співвідношенням обмоткових коефіцієнтів для $2p_1$ і $2p_2$ -полюсного поля. Обмотка складається із окремих p_1+p_2 короткозамкнених котушкових груп. Для $2p_1=4$, $2p_2=8$: $p_1+p_2=6$ (рисунок 2).

При швидкості обертання, яка називається каскадною:

$$n_k = \frac{60 \cdot f_1}{p_1 + p_2} \quad (1)$$

$2p_2$ -полюсне поле, створене роторною обмоткою, буде нерухомим відносно статора. При подачі струму збудження $I_{3\phi}$ в обмотку статора виникає синхронний електромагнітний обертовий момент.

Роторна обмотка експериментального СКД [3,4] була виконана проводом $d_{zol}=1,18$ мм, числа витків в кожній котушці посеційно $W_K=8;16;16$, поперечний сумарний переріз мідного проводу в пазу $S_M=17,5$ мм².

В таблиці 1 в першому рядку приведені результати експериментальних досліджень СКД з круглим проводом в роторі в номінальному режимі роботи. За номінальний режим прийнято такий режим роботи, при якому сума втрат в двигуні дорівнювала б сумі втрат базового двигуна, на магнітопроводі якого був виконаний СКД – $\Delta P=314$ Вт.

Зважаючи на те, що в роторі, який має $Z_2=54$ пазів, суміщена обмотка займає лише 30 пазів, а 24 пазів пустують, така кількість міді в роторі недостатня для одержання в даних габаритах розрахункової потужності. Тому було прийнято рішення виготовити роторну обмотку із мідної шини розміром 3×7 мм, що збільшує поперечний сумарний переріз мідного проводу в пазу до $S_M=40$ мм², тобто в 2,3 рази.

Котушки в котушкових групах, виконаних із провідникової круглої міді, були з'єднані послідовно одна з одною. Однак при виконанні із шинної міді таке виготовлення нетехнологічне, його важко практично здійснити. Тому кожна котушка виконується короткозамкненою, ізолюваною від інших котушок (рисунок 3).

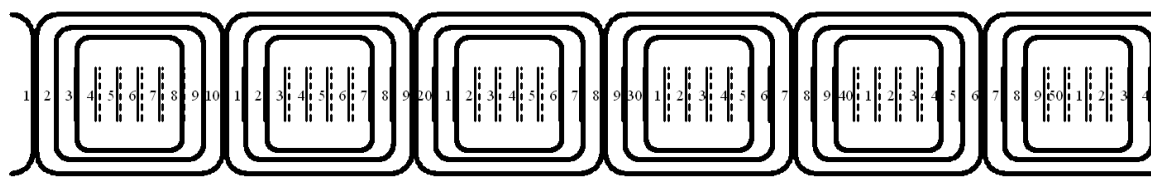


Рисунок 2 – Електрична схема роторної обмотки

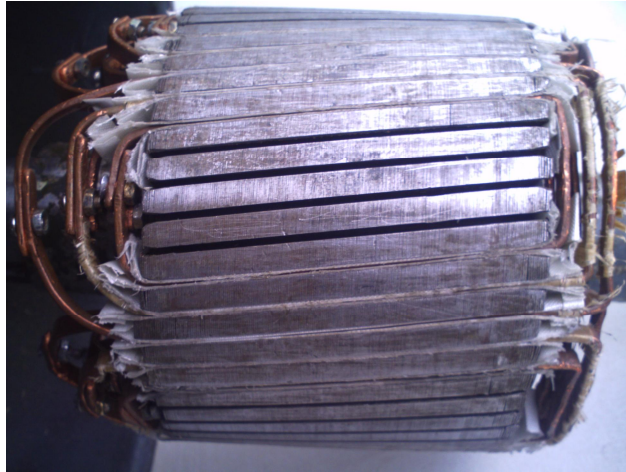


Рисунок 3 – Фото ротора із шинною міддю

В цьому випадку в кожній котушці буде свій струм. Був проведений порівняльний аналіз амплітудного співвідношення гармонік, створюваних обома схемами роторної обмотки [4]. Результуюча МРС, що створюється окремими котушками роторної обмотки, практично нічим не відрізняється від результуючої МРС, створюваною електрично з'єднаними між собою котушками.

В таблиці 1 в другому рядку приведені результати експериментальних досліджень СКМ з шинною міддю в роторі в номінальному режимі роботи.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

№ п/п	$U_{1\phi}$	$I_{1\phi}$	P_1	$\cos\phi_1$	$I_{зб}$	P_{M1}	P_{CT1}	$P_{ДОД}$	$P_{МЕХ}$	$P_{ЕМ}$	P_{CT2}	P_{M2}	ΣP	P_2	η
	В	А	Вт	д/од.	А	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	Вт	%
1	132	4,2	1070	0,643	13	76	112	8	10	864	41	83	330	740	69
2	132	4,4	1360	0,78	10	86	112	8	10	1146	41	50	305	1055	77,6

Збільшення ваги міді в роторі в 2 рази призвело до збільшення потужності із 740 Вт до 1055 Вт. Одержана корисна потужність на валу такої ж величини, як і в синхронному 12-полюсному двигуні з контактними кільцями.

Синхронні каскадні машини (СКМ) працюють також і в генераторному режимі і мають такі ж масогабаритні та енергетичні показники, як і в двигуновому режимі. Демпферна обмотка на роторі не потрібна, так як її роль виконує роторна суміщена обмотка.

СКМ, як тихохідні машини (швидкість обертання 500 об/хв. і менше) ефективні для виготовлення генераторів для гідроелектростанцій та вітроагрегатів.

Висновки. Розроблено і досліджено синхронну каскадну машину з суміщеними магнітопроводами і обмотками, яка по масогабаритним і енергетичним показникам наближається до показників багатополюсних синхронних машин з контактними кільцями. СКМ більш проста при виготовленні, безконтактна, має набагато кращі пускові властивості.

Бібліографічний список

1. Мілих В.І. *Електротехніка та електромеханіка: Навч. Посібник.* – К.: Каравела, 2006. – 376 с.

2. Бородай В.А. *Раціональні параметри і пускові властивості синхронних двигунів з важкими умовами пуску (привод гірничних машин): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.09.01 "Електричні машини та апарати" / В.А. Бородай; Національний університет «Львівська політехніка».* — Львів, 2009. — 20 с.

3. Луцик В. Д., Синхронний каскадний двигун з суміщеними обмотками / В.Д. Луцик, В.С. Іваненко, В.Л. Борзін // *Електротехніка і електромеханіка.* – Харків, 2011. – №1.

4. Луцик В.Д. Синхронний каскадний двигун / *Збірник наукових робіт ДонДТУ.*— Алчевськ, 2010. — №32. – С. 350-359.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Заблодським М.М.