

## БАГАТОПОЛЮСНІ КАСКАДНІ СИНХРОННІ МАШИНИ

*В. Д. Луцик, д.т.н., проф., В. С. Іваненко, асп.  
Донбаський державний технічний університет  
просп. Леніна, 16, 94204, м. Алчевськ, Україна  
E-mail: info@dmmti.edu.ua*

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

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

**Вступ.** Синхронні каскадні машини (СКМ) відомі давно [1]. Синхронна каскадна машина – це дві електричні машини, які механічно та електрично з'єднанні. Основна перевага їх – безконтактність. Однак із-за наявності двох магнітопроводів і чотирьох обмоток, по дві на кожний магнітопровід, масогабаритні та енергетичні показники цих двигунів значно гірші, ніж у традиційних синхронних машинах з контактними кільцями (рис. 1).

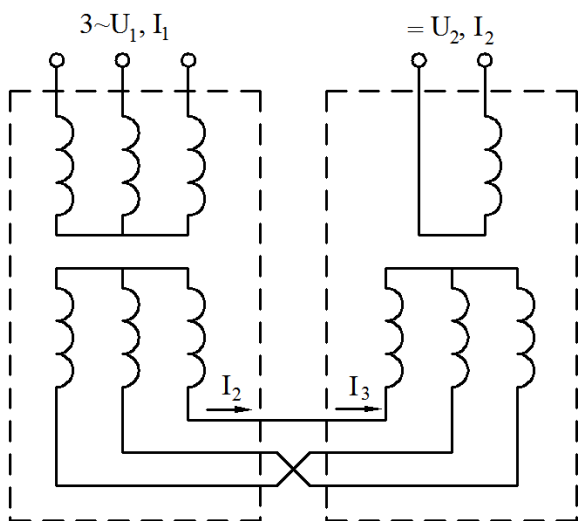


Рисунок 1 – Принципова електрична схема каскадного синхронного двигуна

**Мета роботи.** 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 й додатково ще пусковою або демпферною обмоткою в плюсових наконечниках, а також наявність контактних кілець і щіток для подачі в обмотку ротора струму збудження [2]. Ще дуже актуальною проблемою в синхронних двигунах є їх погані пускові властивості, що змушує в парі із 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 [3]. Тому важливо вишукувати способи усунення цих недоліків. Одним із таких

способів і, на наш погляд, єдино можливим є використання багатополюсних синхронних каскадних машин із суміщеними обмотками (рис. 2).



Рисунок 2 – Багатополюсна синхронна каскадна машина із суміщеними обмотками

**Матеріал і результати дослідження.** Розроблені останнім часом суміщені обмотки (й удосконалені для використання в багатополюсних синхронних каскадних машинах з одним магнітопроводом) дозволили створити нову багатополюсну каскадну машину із суміщеними обмотками, швидкістю обертання 500, 333, 250, 200, 166, 143, 125 об/хв та ін. [4, 5].

Статори багатополюсних синхронних каскадних машин технологічно не відрізняються від статорів синхронних чи асинхронних машин серійного виконання, а ротор при виготовленні значно спрощується. Додаткові переваги – це відсутність контактних кілець та щіток і набагато кращі пускові властивості.

Суміщення обмоток виконується таким чином. Трифазну  $2p_1$ -полюсну обмотку статора першого каскаду, яка живиться від трифазної мережі, суміщують з однофазною  $2p_2$ -полюсною обмоткою статора 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 статора показана на рис. 3.

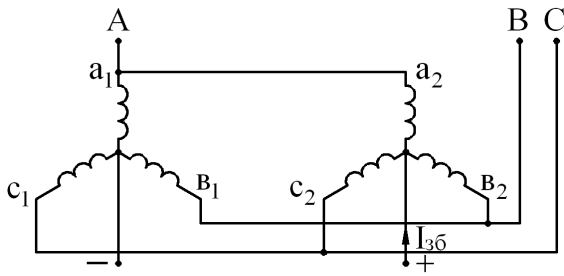


Рисунок 3 – Принципова електрична схема суміщеної статорної обмотки

При подачі струму збудження в нульові виводи утворюється нерухоме  $2p_2$ -полюсне поле. Розроблені суміщені  $2p_1/2p_2$ -полюсні обмотки, у яких співвідношення чисел полюсів  $2p_1:2p_2=1:2$ . Найменше можливе число полюсів  $2p_1=4$ . При цьому  $2p_2=8$ . При  $2p_1=2$  і  $2p_2=4$  в машині будуть виникати магнітні вібрації.

Статорна обмотка показана на рис. 4.

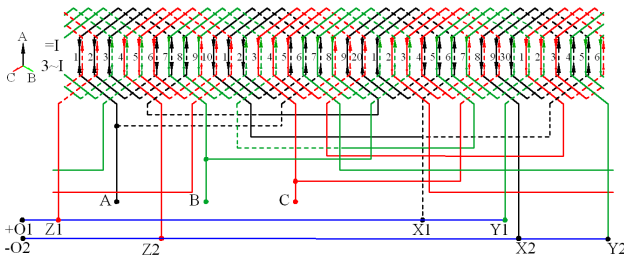


Рисунок 4 – Перший варіант суміщеної обмотки статора  $2p_1/2p_2=4/8$

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  $2p_1$ - та  $2p_2$ -полюсного поля. Обмотка складається з окремих короткозамкнених котушкових груп. Для  $2p_1=4$  та  $2p_2=8$  число короткозамкнених котушкових груп дорівнює  $N = p_1 + p_2 = 2 + 4 = 6$  (рис. 5).

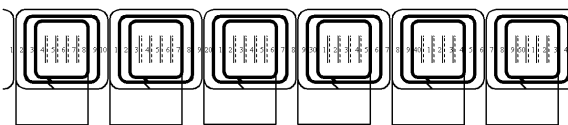


Рисунок 5 – Схема суміщеної обмотки ротора

При швидкості обертання, яка називається каскадною,

$$n_k = \frac{60f_1}{p_1 + p_2} = \frac{3000}{2 + 4} = 500 \text{ об/хв.}$$

$2p_2$ -полюсне поле, створене роторною обмоткою, буде нерухомим відносно статора. При подачі струму збудження  $I_{36}$  в обмотку статора виникає синхронний електромагнітний обертовий момент.

Фото ротора приведено на рис. 6.

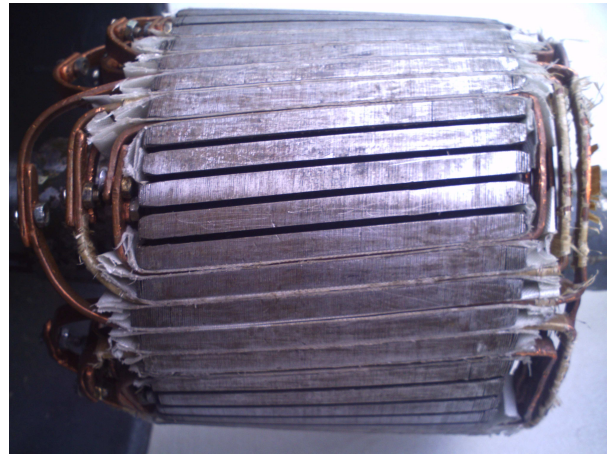


Рисунок 6 – Фото ротора

Якщо розкласти МРС, що створюється роторною суміщеною обмоткою в ряд Фур'є, видно, що вона створює два магнітні поля, які обертаються в різних напрямках і з різною швидкістю.

Експериментальний синхронний каскадний двигун був виконаний на магнітопроводі довжиною  $l_{\delta} = 107 \text{ мм}$ , внутрішній діаметр статора  $D = 154 \text{ мм}$ , зовнішній діаметр статора  $D = 228 \text{ мм}$ ,  $Z_1 = 36$ ,  $Z_2 = 54$ .

Було проведено дослідження двох варіантів статорної суміщеної обмотки в двигуновому та генераторному режимах роботи:

1) синхронної машини з  $2p_1/2p_2$ -полюсною суміщеною обмоткою на статорі, де  $2p_1=4$  – число полюсів, створюване трифазним струмом, і  $2p_2=8$  – число полюсів, створюване постійним струмом збудження, що подається в нульові виводи статорної обмотки (рис. 4);

2) синхронної машини з  $2p_1/2p_2$ -полюсною суміщеною обмоткою на статорі, де  $2p_1=8$ ;  $2p_2=4$  (рис. 7).

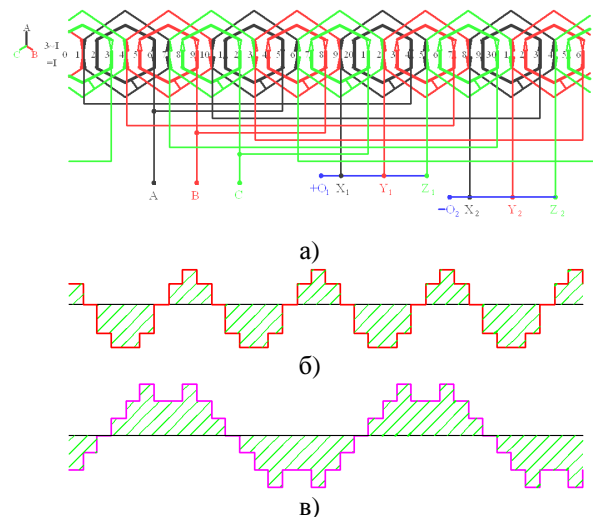


Рисунок 7 – Другий варіант суміщеної обмотки статора  $2p_1/2p_2=8/4$

а) схема обмотки; б) МРС від восьмиполюсного змінного поля; в) МРС від чотириполюсного постійного поля

Обмотка ротора в обох варіантах однакова, має 6 котушкових короткозамкнених груп і теж є суміщеною  $2p_1/2p_2$ -полюсною обмоткою.

При порівнянні даних досліджень перший варіант виявився кращим. При однакових втратах корисна потужність на валу більша на 15 % (табл. 1).

**Таблиця 1 – Експериментальні дані**

Тип двигуна	U	I <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	cosφ	P <sub>2</sub>	ККД	Коб
	В	А	Вт	в.з.	Вт	в.з.	в.з.
1-й варіант $2p_1=4$ $2p_2=8$	127	3,9	1075	0,71	770	0,716	0,739 0,844
2-й варіант $2p_1=8$ $2p_2=4$	220	1,9	934	0,74	668	0,715	0,925 0,538
серійний СД	220	2,1	1000	0,76	820	0,82	0,96

На теперішній час ведуться дослідження по вдосконаленню та оптимізації обмоткових параметрів багатополюсних синхронних каскадних машин із суміщеними обмотками.

Багатополюсні синхронні каскадні машини 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, оскільки її роль виконує роторна суміщена обмотка.

Багатополюсні синхронні каскадні машини із суміщеними обмотками можуть використовуватись як генератори для гідроелектростанцій та вітроагрегатів, а, як двигуни, можуть використовуватись замість серійних синхронних двигунів та в приводах

дробарко-подрібнювальних механізмів.

**Висновки.** Розроблено й досліджено багатополюсні синхронні каскадні машини із суміщеними магнітопроводами і обмотками, які по масогабаритним і енергетичним показникам наближаються до показників багатополюсних синхронних двигунів з контактними кільцями. БСКМ більш прості при виготовленні, безконтактні, мають набагато кращі пускові властивості.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Красношапка М.М. Асинхронно-синхронные машины каскадного типа // Тр. Третьей Всесоюзной конференции по бесконтактным электрическим машинам. – Рига: Знатне. – 1966. – Т. 2. – С. 237–244.
2. Міліх В.І. Електротехніка та електромеханіка: Навч. Посібник. – К.: Каравела, 2006. – 376 с.
3. Бородай В.А. Рациональні 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.
4. Лушик В.Д., Іваненко В.С., Борзік В.Л. Синхронний каскадний двигун з суміщеними обмотками // Електротехніка і електромеханіка. – Харків, 2011. – № 1. – С. 31–32.
5. Лушик В.Д. Синхронний каскадний двигун / Збірник наукових робіт ДонДТУ // Алчевськ, 2010. – № 32. – С. 350–359.

Стаття надійшла 03.06.2011 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Чорним О.П

## МНОГОПОЛЮСНЫЕ КАСКАДНЫЕ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ

*В. Д. Лушик, д.т.н., проф., В. С. Иваненко, асп.  
Донбасский государственный технический университет  
просп. Ленина, 16, 94204, г. Алчевск, Украина  
E-mail: info@dmti.edu.ua*

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

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

## THE MULTIPOLAR SYNCHRONOUS CASCADE MACHINES

*V. Lushchik, D.Sc. (Eng.), Prof., V. Ivanenko, post-grad.  
Donbass State Technical University  
prosp. Lenina, 16, 94204, Alchevsk, Ukraine  
E-mail: info@dmti.edu.ua*

Examined design features of the multipolar synchronous machine cascade with matching coils, shows the data of experimental studies which support the advantages of multipolar synchronous cascade machines to multi-polar synchronous machines serial execution.

**Key words:** synchronous cascade machine, engine, rotor, the combined windings.