

д.т.н. Лущик В.Д.,
Іваненко В.С.
(ДонДТУ, м. Алчевськ, Україна)

ОДНОМАГНІТОПРОВІДНА СИНХРОННА КАСКАДНА МАШИНА З СУМІЩЕНИМИ ОБМОТКАМИ

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

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

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

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

Вступ. Синхронні каскадні машини (СКМ) відомі давно [1]. Синхронна каскадна машина – це дві електричні машини, які механічно та електрично з'єднанні (рисунок 1). 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 в традиційних синхронних машинах з контактними кільцями.

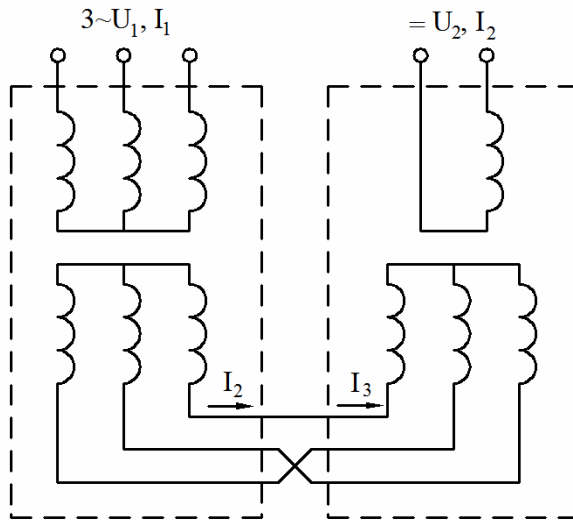


Рисунок 1 – Принципова електрична схема синхронної каскадної машини з двома магнітопроводами

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 і додатково ще пусковою або демпферною обмоткою в полюсових накінецьниках, а також наявність контактних кілець і щіток для подачі в обмотку ротора струму збудження [2, 3]. Ще дуже актуальною проблемою в синхронних двигунах є їх погані пускові властивості. Тому важливо вишукувати способи усунення цих недоліків. Одним із таких способів, і, на наш погляд, єдино можливим є використання багатополюсних синхронних каскадних машин з суміщеними обмотками (рисунок 2) [5, 6].



Рисунок 2 – Одномагнітопровідна синхронна каскадна машина з суміщеними обмотками

Матеріал і результати дослідження. Розроблені останнім часом суміщені обмотки [4] і удосконалені для використання в багатополюсних синхронних каскадних машинах з одним магнітопроводом [5, 6] дозволили створити нову одномагнітопровідну синхронну каскадну машину з суміщеними обмотками, зі швидкістю обертання 500 обертів за хвилину та менше.

Статор одномагнітопровідної синхронної каскадної машини з суміщеними обмотками 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 статорної суміщеної обмотки показана на рисунку 3.

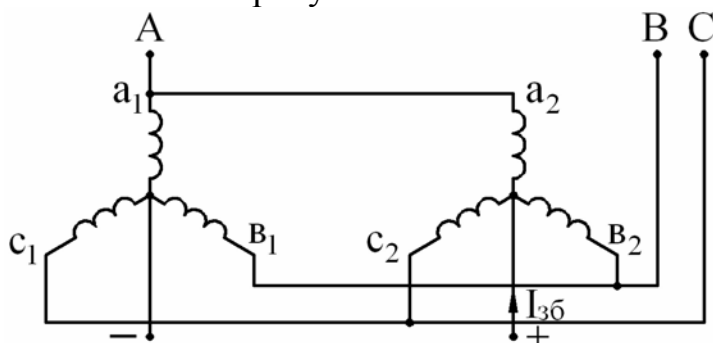


Рисунок 3 – Принципова електрична схема суміщеної статорної обмотки

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.

Перший варіант статорної суміщеної обмотки показаний на рисунку 4.

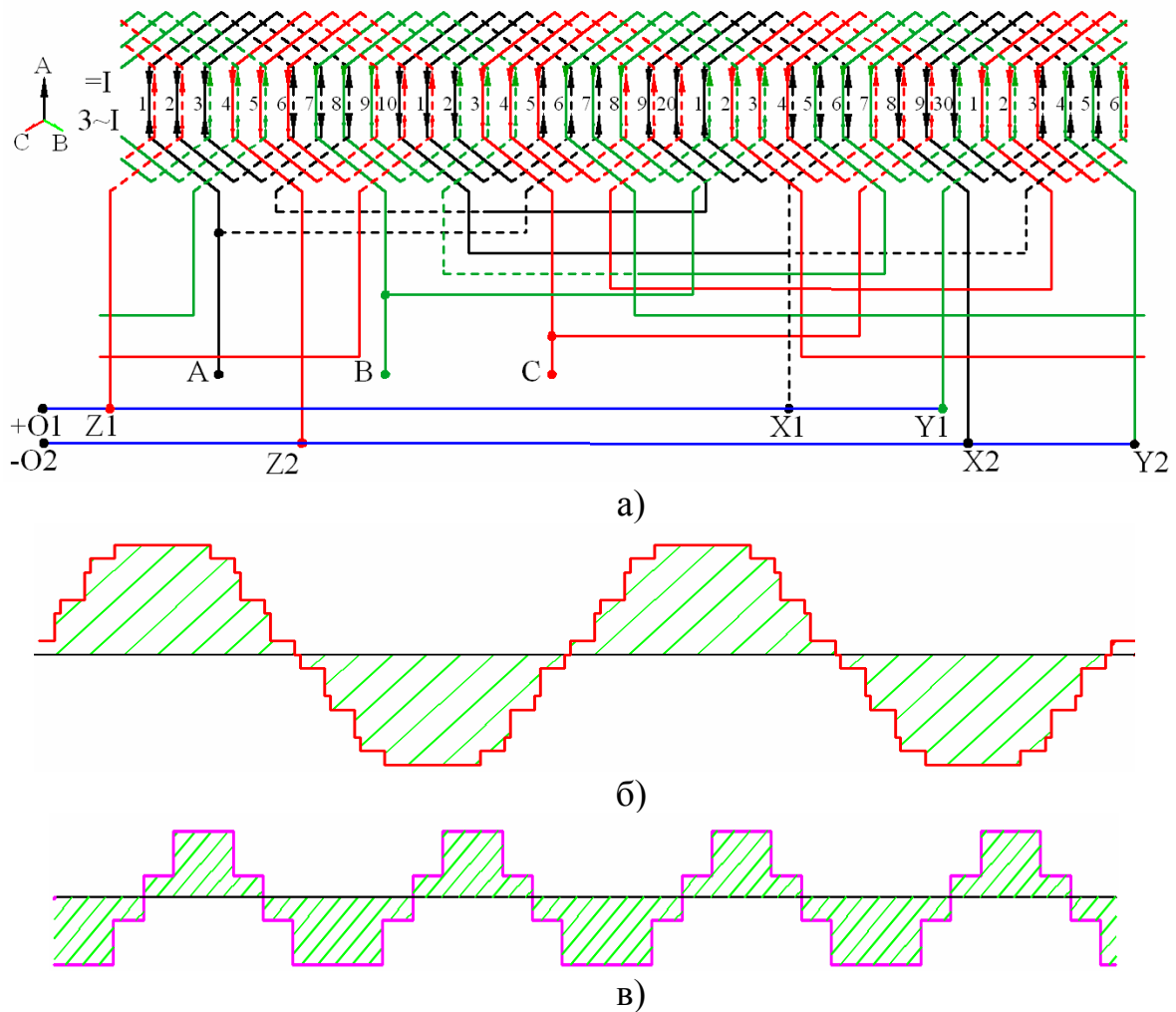


Рисунок 4 – Перший варіант статорної суміщеної обмотки $2p_1/2p_2=4/8$

а) електрична схема обмотки; б) МРС чотирьохполюсного змінного поля; в) МРС восьмиполюсного постійного поля

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 $N = p_1 + p_2 = 2 + 4 = 6$ (рисунок 5).

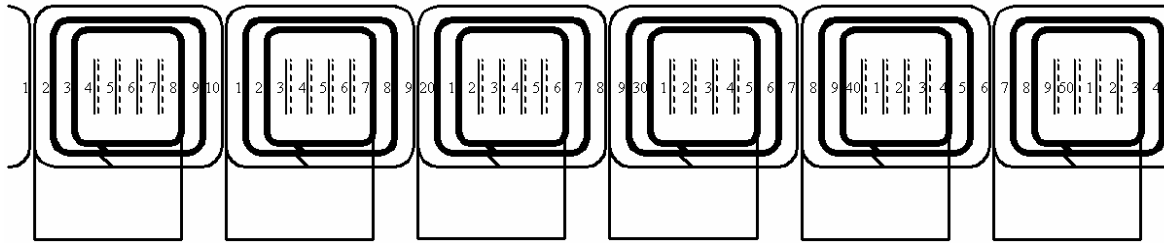


Рисунок 5 – Принципова електрична схема роторної суміщеної обмотки

При швидкості обертання, яка називається каскадною

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

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

Фото ротора приведено на рисунку 6.



Рисунок 6 – Фото роторної суміщеної обмотки

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 $l_s = 107 \text{ мм}$, 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 режимі роботи:

1) синхронної машини з $2p_1/2p_2$ -поллюсною 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 (рисунок 4);

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

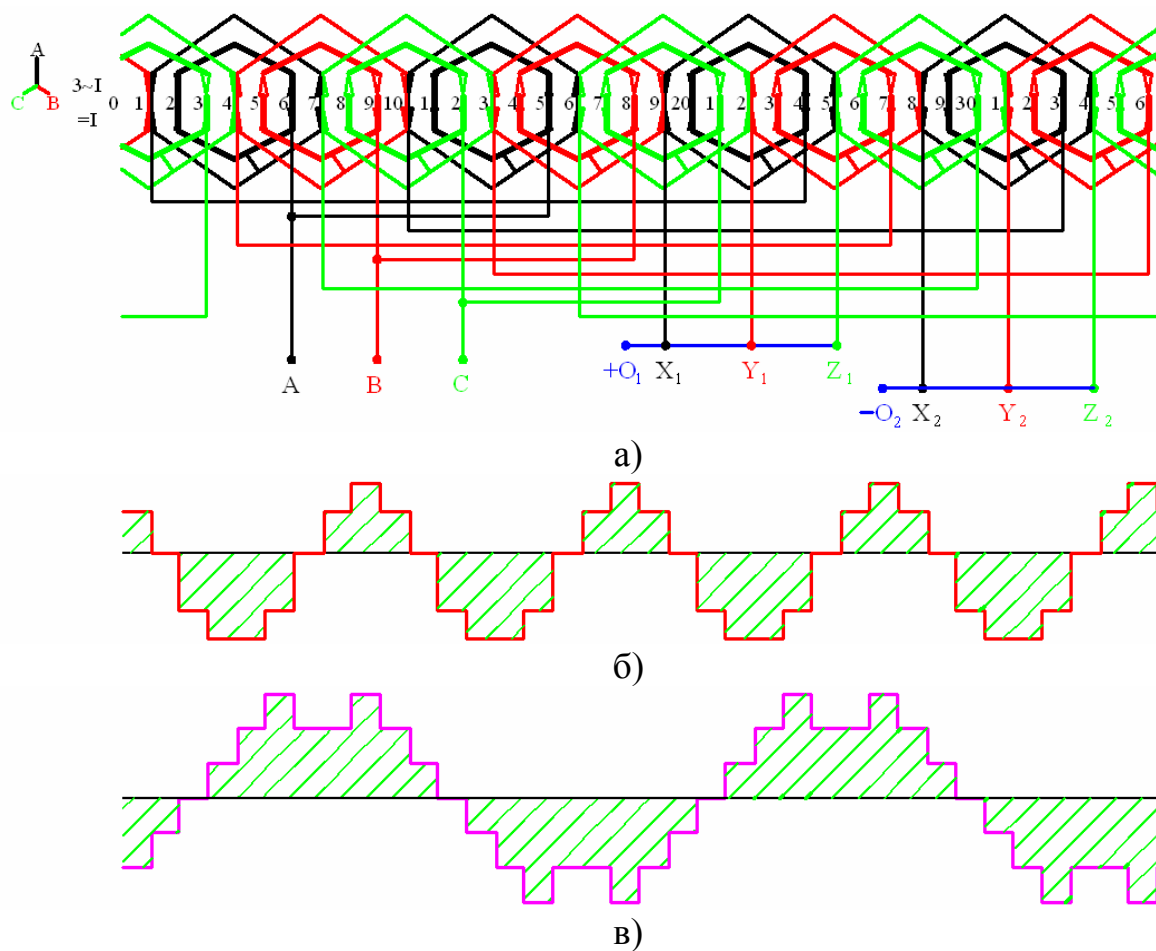


Рисунок 7 – Другий варіант суміщеної обмотки статора $2p_1/2p_2=8/4$

а) електрична схема обмотки; б) МРС восьмиполюсного змінного поля; в) МРС чотирьохполюсного постійного поля

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

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

Таблиця 1 – Експериментальні данні

Тип двигуна	U_1	I_1	P_1	$\cos\varphi$	P_2	ККД	$K_{об1}$
	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 удосконаленню та оптимізації обмоткових параметрів багатополюсних синхронних каскадних машин з суміщеними обмотками.

Одномагнітопровідні синхронні каскадні машини з суміщеними обмотками 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.

Одномагнітопровідні синхронні каскадні машини з суміщеними обмотками можуть використовуватись і як генератори для гідроелектростанцій та вітроагрегатів і як синхронні двигуни для механізмів з важкими умовами пуску.

Висновки. Розроблено і досліджено одномагнітопровідні синхронні каскадні машини з суміщеними обмотками, які по масогабаритним і енергетичним показникам наближається до показників багатополюсних синхронних двигунів з контактними кільцями. Вони більш прості при виготовленні, безконтактні, мають набагато кращі пускові властивості.

Бібліографічний список

1. Красношанка М.М. Асинхронно-синхронные машины каскадного типа / Красношанка М.М. – Рига: Знание, 1966. - Т. 2. - С. 237-244.- (Труды Третьей Всесоюзной конференции по бесконтактным электрическим машинам).

2. Міліх В.І. Електротехніка та електромеханіка: [навч. посібник] / В.І. Міліх. – К.: Каравела, 2006. – 376 с.

3. 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.

4. Луцик В. Д. Суміщені електричні машини та апарати / В.Д. Луцик. — К.: Техніка, 1993.—203 с. - (Мова рос.).

5. Луцик В. Д. Синхронний каскадний двигун з суміщеними обмотками / В.Д. Луцик, В.С. Іваненко, В.Л. Борзів // Електротехніка і електромеханіка. — Харків, 2011. — №1. - С. 31-32.

6. Луцик В.Д. Синхронний каскадний двигун / Збірник наукових робіт ДонДТУ. - Алчевськ, 2010. — №32. - С. 350-35.

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