

УДК 621.313

А. В. ЄГОРОВ, А. М. МАСЛЕННИКОВ, О. О. ДУНЄВ, В. Д. ЮХИМЧУК

ВПЛИВ СХЕМИ З'ЄДНАННЯ КОТУШОК ОБМОТКИ СТАТОРА ДВИГУНА З РОТОРОМ, ЩО КОТИТЬСЯ, НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ

Представлена 3D модель високомоментного тихохідного двигуна з ротором, що котиться, (ДРК) з аксіальним магнітним потоком, а також показані результати його експериментального дослідження при різних схемах включення котушок обмотки статора, і з використанням шихтованого і масивного осердя роторів. Наведено схему випробувальної установки, побудовано і порівняно механічні характеристики для кожного з варіантів включення котушок обмотки статора.

Ключові слова: двигун з ротором, що котиться, схема з'єднання, масивний ротор, шихтований ротор, згідно, зустрічно, механічна характеристика, експериментальні дослідження.

Представлена 3D модель високомоментного тихоходного двигателя с катящимся ротором (ДРК) с аксиальным магнитным потоком, а также показаны результаты его экспериментального исследования при различных схемах включения катушек обмотки статора, и с использованием шихтованного и массивного сердечника роторов. Приведена схема испытательной установки, построены и сравнены механические характеристики для каждого из вариантов включения катушек обмотки статора.

Ключевые слова: двигатель с катящимся ротором, схема соединения, массивный ротор, шихтованный ротор, согласно, встречно, механическая характеристика, экспериментальные исследования.

Purpose. Choice of optimal constructive and technological solutions to create new designs of motors with a rolling rotor (MRR). Methodology. Modeling of electro-magnetic processes, which appeared in MRR, followed by an experimental research. **Results.** The optimal winding circuit of the MRR is a circuit of the coils through all 6 diodes. In this connection, the mechanical characteristics MRR-50-6 - is the most rigid. Using the rotor core lamination increases the power efficiency up to 20-30%, compared with the massive rotor core, but it is much worse power factor (by 25-35%). In addition, we should take the complication of manufacturing each rotor into account. **Originality.** MRR is a non-standard machine in which the rotor rolls over the stator surface with has guaranteed eccentricity. Therefore, the process of transferring the torque from the rotor to the shaft is a complex engineering problem, which was successfully implemented during the research. **Practical value.** A 3D model of a high-torque low-speed MRR with an axial magnetic flux is presented, and the results of its experimental research are shown for various schemes of connection of the stator coils, using a laminated and massive rotor core. The scheme of the test set is given, the mechanical characteristics for each variants of coils connection are plotted and compared.

Keywords: motor with a rolling rotor, circuit connections, massive rotor, lamination rotor, according, counter connection, mechanical characteristics, experimental research.

Вступ. Створення оптимальної конструкції двигуна з ротором, що котиться, (ДРК) залежить від багатьох факторів, одним з яких є кількість зубців статора. При цьому поряд з багатозубцевими ДРК з пульсуючим полем необхідно розглянути конструкції з невеликою кількістю зубців [1, 2, 3]. Електромагнітні системи ДРК з малою кількістю зубців можуть виконуватися з тангенціальним і осьовим магнітним потоком в роторі.

Електромагнітні системи ДРК з тангенціальним магнітним потоком прості за конструкцією (обмотка має всього три котушки). Однак вони мають і істотні недоліки: значний зовнішній діаметр двигуна по відношенню до діаметру поверхонь для обкатування; відносно велика маса сталі, а отже, і відносно великі магнітні втрати, що особливо проявляється в двигунах з живленням від мережі промислової частоти. Найбільш істотним недоліком двигунів з такими магнітними системами є те, що їх ротори працюють в «жорсткому» режимі з усіма притаманними таким режимам недоліками.

Одним із шляхів усунення недоліків, властивих ДРК з тангенціальним магнітним потоком в роторі, є створення конструкції, в якій магнітний потік в роторі має і аксіальний напрямок [4, 5].

Однією з конструктивних особливостей ДРК є ексцентричне розташування ротора в розточці статора. Завдяки цій особливості і спеціальним способам створення магнітного поля, реалізується його принцип дії, що полягає в обкатуванні ротора по

внутрішньому діаметру осердя статора під дією сили одностороннього магнітного тяжіння (СОМТ).

Одним із способів створення СОМТ є використання трифазної системи змінної напруги в поєднанні з трифазною обмоткою статора, в якій кожна фаза розташована в просторі із сувом між собою на 120°. Оскільки зміна напруги відбувається за синусоїдою, тоді це викликає обертовий результуючий вектор магнітного поля в просторі, а ексцентричне положення ротора утворює нерівномірний повітряний проміжок між ротором та статором, що створює необхідні умови для появи СОМТ без використання додаткових засобів [6].

Постановка задачі. Основною метою роботи є визначення найкращого поєднання конструктивно-технологічних рішень відносно енергетичних показників двигуна при створенні нових конструкцій ДРК, а саме: визначення впливу схеми з'єднання обмоток статора та типу ротора. Визначення даних факторів можливо після проведення експериментальних досліджень, з яких отримано значення лінійного струму, коефіцієнта потужності та частоти обертання, що дозволить розрахувати вхідну та корисну потужності, обертовий момент на валу ДРК при незмінному значенні напруги живлення. Це дозволить побудувати і порівняти механічні характеристики ДРК з аксіальним магнітним потоком при різних схемах включення котушок обмотки статора.

Об'єкт дослідження. Дослідження проводилися

на експериментальному зразку високомоментного тихохідного двигуна з аксіальним магнітним потоком ДРК-50-6, який розроблено і спроектовано в НТУ «ХП» співробітниками кафедри «Електричні машини» (рис. 1). Цей двигун має наступні геометричні розміри: висота осі обертання $h = 90$ мм, зовнішній діаметр осердя статора $d_{se} = 146$ мм, активна довжина $l_a = 91$ мм, різниця діаметрів осердь статора і ротора $\Delta d = 0,3$ мм. Статор має кількість полюсів $2p = 1$, таким чином, завдяки коефіцієнту редукції, частота обертання ротора склала $n = 25$ об/хв. Обмотка статора – зосереджена, тобто навколо одного зубця розташована одна котушка.

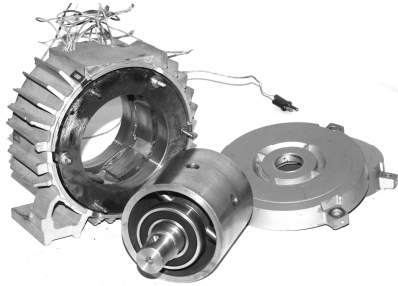


Рис. 1 – Експериментальна модель ДРК-50-6

Створення нових виконань двигунів краще проводити в спеціалізованих програмних комплексах в яких можна виконувати як звичайні креслення, так і тривимірні моделі з яких потім легко зробити креслення. Також потрібна специфікація, яка прив'язується і синхронізується з кресленням. Одним із таких програмних комплексів є програма АСКОН Компас-3D, яка призначена для створення тривимірних асоціативних моделей окремих деталей і складальних одиниць, що містять як оригінальні, так і стандартизовані конструктивні елементи [7, 8].

В цьому програмному середовищі створено тривимірну модель ДРК з аксіальним магнітним потоком, що показано на рис. 2.

Для експериментального дослідження виготовлено два зразки ротора з однаковими геометричними розмірами, але з різними типами осердь – масивним та шихтованим. Рознесені 3D моделі кожного типу ротора показано на рис. 3 та рис. 4.

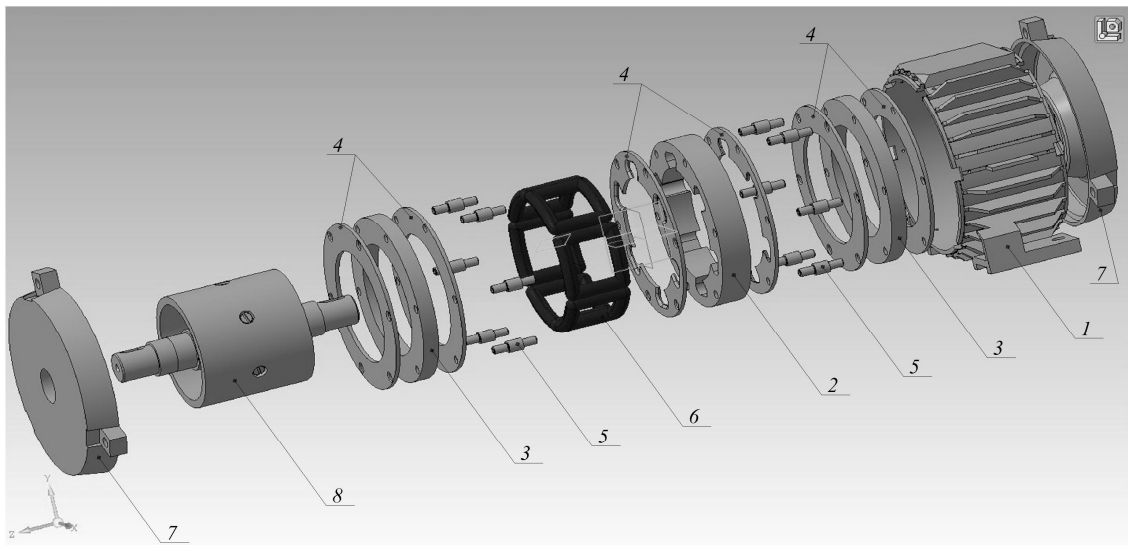


Рис. 2 – Рознесена 3D модель ДРК-50-6: 1 – станина; 2 – центральний пакет осердя статора; 3 – боковий пакет осердя статора; 4 – натискна шайба; 5 – втулка дистанційна; 6 – котушка обмотки статора; 7 – підшипниковий щит; 8 – ротор

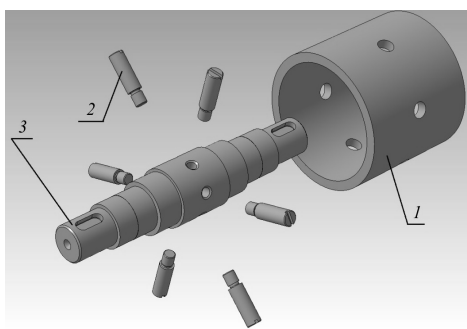


Рис. 3 – 3D модель масивного ротора:
1 – осердя ротора; 2 – палець; 3 – вал

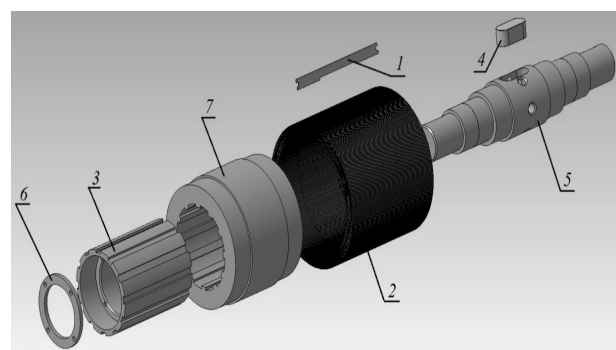


Рис. 4 – 3D модель шихтованого ротора:
1 – пластина осердя ротора; 2 – осердя ротора; 3 – корпус ротора;
4 – шпонка; 5 – вал; 6 – натискна шайба; 7 – амортизатор

Різновиди схем з'єднань котушок обмотки ДПК.

Нааявність в двигуні невеликої кількості котушок – 6, призводить до появи різних схем включення [9, 10, 11]. Підключити ДПК з аксіальним магнітним потоком до трьох фазної мережі можливо за вже відомих схемах: «зірка» (Y) або «трикутник» (Δ). В залежності від схеми з'єднання, використовується трифазне джерело живлення з частотою 50 Гц для схеми «зірка» напругою 380 В, а для «трикутника» – 220 В. Такий спосіб включення створить кругове обертове магнітне поле, яке буде обертатися з постійною частотою обертання 6000 об/хв.

Існує кілька способів реалізації з'єднання котушок обмотки статора:

1. Ввімкнено тільки три котушки. Оскільки в ДПК розташовано шість котушок, то необхідно збирати схему «через котушку». Наприклад, використовувати 1, 3, 5 або 2, 4, 6 котушки, які утворюють фази двигуна. Основною умовою використання даного способу є включення в схему котушок, які зміщені в просторі на 120 градусів.

2. Ввімкнено всі котушки. Цей спосіб є продовженням першого, але відмінність полягає в тому, що кожна фаза двигуна складається не з однієї котушки, як в першому способі, а з двох. Таким чином, з'являються різні способи ввімкнення, де фаза двигуна складається з двох котушок, які між собою ввімкнено послідовно або паралельно.

Залежно від того, яким чином ввімкнено другу котушку відносно до першої, по-різному буде створюватися результуючий магнітний потік. Якщо до кінця першої котушки під'єднати початок другої котушки фази, то це буде зустрічне включення (рис. 6, а), тому що струми в котушках, які знаходяться в одному пазу, будуть спрямовані зустрічно один одному. Якщо напрямок протікання струмів в котушках однієї фази, розташованих в одному пазу, співпадає, то це є узгодженим включенням (рис. 6, б)

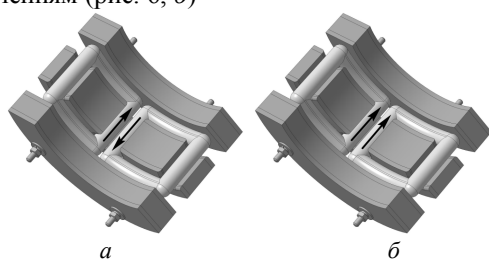


Рис. 5 – Напрямок струму в котушці фази, при зустрічному (а) і узгодженому включенні (б)

3. Ввімкнено всі котушки, але через діоди. В цьому способі ввімкнення частота обертання магнітного поля становить 3000 об/хв через те, що діоди «зрізають» одну півхвилю синусоїдальної напруги і таким чином зменшують частоту в 2 рази.

Критерієм проведення кожного дослідження є використання трифазної синусоїдальної напруги, підтримка постійного значення напруги та її частоти для кожної із схем з'єднання котушок обмотки.

Математичне моделювання. Моделювання електромагнітних процесів в електричних машинах можна виконувати в різних програмах: COMSOL Multiphysics, FEMM, ELCUT, ANSYS Maxwell та ін.

Найбільшу популярність отримала програма ANSYS Maxwell завдяки простоті інтерфейсу і адекватності результатів, отриманих у результаті моделювання. Особливістю пакету ANSYS Maxwell, в порівнянні з аналогічними програмами, є можливість проводити моделювання на тривимірних моделях, що дозволяє врахувати конструктивні особливості кожної машини [12].

Створену тривимірну модель ДПК-50-6 в АСКОН Компас-3D можна імпортувати до ANSYS Maxwell та провести чисельно-польовий розрахунок магнітного поля створеного котушками обмотки статора.

Таким чином, отримано розподіл магнітного поля в осердях статора і ротора, а також значення обертового моменту для кожної із схем включення котушок обмотки статора. Аналогічні розрахунки проведено для кожного типу роторів, а насичення осердь статора і ротора для схеми з'єднання «паралельно зустрічно» показано на рис. 6.

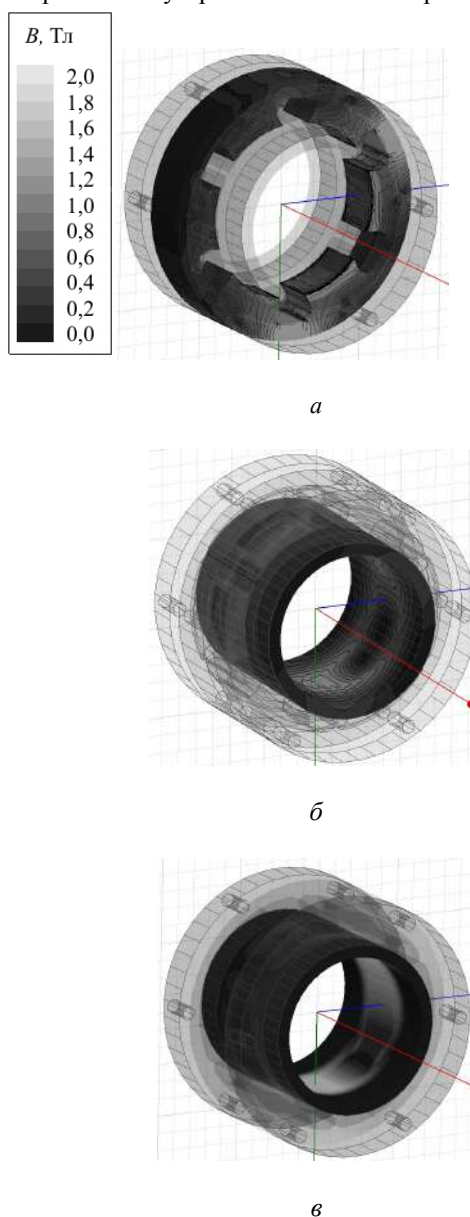


Рис. 6 – Розподіл насичення осердя в ДПК-50-6: а – статор; б – масивний ротор; в – шихтований ротор

Підготовка до експерименту. Перший пуск ДПК-50-6 з різними типами осердь ротора показав значну різницю в частоті обертання. При використанні масивного осердя ротора частота обертання вала двигуна в режимі неробочого ходу склала 24 об/хв, а шихтованого – 31 об/хв. Така різниця пояснюється тим, що зовнішній діаметр осердя шихтованого ротора d_r трохи менший ніж у масивного, бо частота обертання ротора напряму залежить від різниці діаметрів осердь статора і ротора

$$n_r = n_s \cdot \frac{\Delta d}{d_r}$$

Розрахунок ДПК-50-6 показав, що частота обертання ротора знаходиться в діапазоні 20–30 об/хв і залежить також від схеми ввімкнення котушок обмотки статора, при цьому значення обертового моменту коливається в межах 1–15 Н·м. Для випробування цього типу двигуна не підходять стандартні лабораторні установки з електромагнітним гальмуванням, тому що вони працюють на частоті обертання від 100 об/хв. Тому лабораторний стенд для випробування ДПК-50-6 зібрано за схемою представленою на рис. 7.

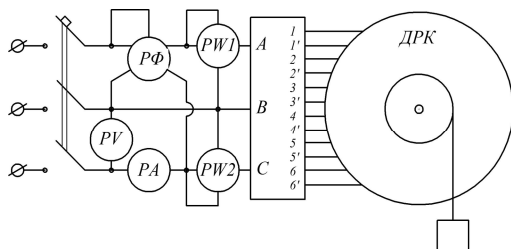


Рис. 7 – Схема випробувальної установки

Вхідна трифазна напруга через автоматичний вимикач подається на вимірювальні прилади (вольтметр, амперметр, фазометр, ватметр), а після – на клемну колодку, в якій здійснена можливість монтажу різних варіантів схем з'єднань котушок обмотки статора.

На валу двигуна жорстко закріплено диск, на зовнішньому діаметрі якого встановлено сталевий трос, один кінець якого зафіксовано на диску, а до другого чіпляються грузи різної маси. Застосування диска, а не важеля, дозволило отримати рівномірність плеча та дії постійного моменту опору в будь-який момент часу. Висота установки двигуна і діаметр диска підібрано таким чином, щоб двигун зміг здійснити 4 повних оберти (рис. 8).

Знаючи діаметр диска (плече дії сили), масу груза і час за який він піднімається, можна розрахувати значення обертового моменту і, як наслідок, корисної потужності. Змінюючи масу груза можна отримати механічну характеристику ДПК.

Схема з'єднання «через котушку». На практиці, спосіб з'єднання фаз двигуна за схемою «трикутник»

(рис. 9, а) та «зірка» (рис. 9, б) є найбільш розповсюдженим. За результатами експерименту побудовано механічні характеристики ДПК, які показано на рис. 10. В даному випадку схема з'єднання «трикутник» показала себе краще ніж «зірка».



Рис. 8 – Випробувальна установка:
1 – двигун; 2 – диск; 3 – груз

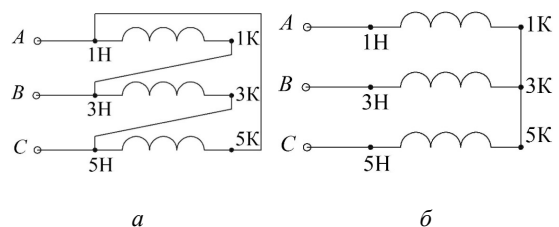


Рис. 9 – Схема з'єднання ДПК «через котушку»
а – «трикутник»; б – «зірка»

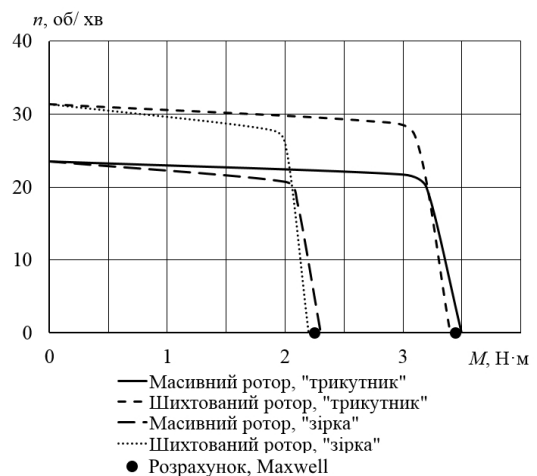


Рис. 10 – Механічна характеристика ДПК
зі схемою з'єднання «через котушку»

Схема з'єднання «послідовно зустрічно».

Одним із варіантів підключення ДРК до трифазної мережі є схема, де котушки фази з'єднані послідовно і «зустрічно», таким чином можна реалізувати спосіб з'єднання фаз двигуна за схемою «трикутник» (рис. 11, а) та «зірка» (рис. 11, б). Особливістю даної схеми є те, що опір фази в два рази більший, ніж при схемі з'єднання «через котушку».

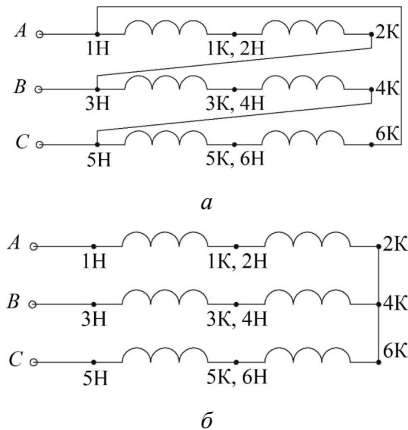


Рис. 11 – Схема з'єднання ДРК «послідовно зустрічно»: а – в «трикутник»; б – «зірка»

В експерименті, для кожного із варіантів схем включення, отримати механічну характеристику не вдалося. Навіть в режимі неробочого ходу, ДРК не створив обертовий момент, достатній для зрушення ротора з місця. Це пояснюється значним зниженням струму, що протікає по котушкам фази та розподілу магнітного потоку.

Схема з'єднання «послідовно узгоджено».

Іншим варіантом підключення ДРК до трифазної мережі є схема, де котушки фази з'єднані послідовно, але напрям струму в котушках однієї фази, розташованих в одному пазу спрямовано «згідно». Таким чином можна реалізувати спосіб з'єднання фаз двигуна за схемою «трикутник» (рис. 12, а) та «зірка» (рис. 12, б). В даному випадку опір фази так само в два рази більший, ніж при схемі з'єднання «через котушку».

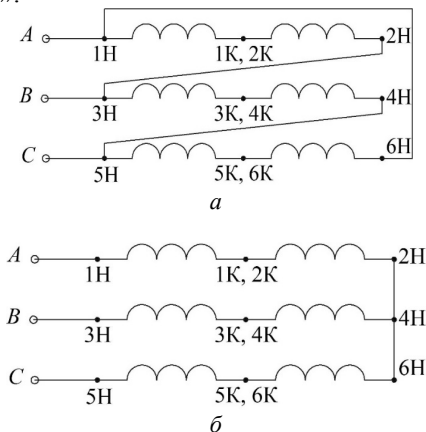


Рис. 12 – Схема з'єднання ДРК «послідовно узгоджено»: а – «трикутник»; б – «зірка»

Зняти механічну характеристику двигуна для кожного із варіантів схем включення, аналогічно і з

попереднім експериментом, не вдалося. Навіть в режимі неробочого ходу, ДРК не створив обертовий момент, достатній для зрушення ротора з місця.

Схема з'єднання «паралельно зустрічно».

Одним із варіантів підключення ДРК до трифазної мережі є схема, де котушки фази з'єднані паралельно і «зустрічно», таким чином можна реалізувати спосіб з'єднання фаз двигуна за схемою «трикутник» (рис. 13, а) та «зірка» (рис. 13, б). Особливістю даної схеми є те, що опір фази в два рази менший, ніж при схемі з'єднання «через котушку».

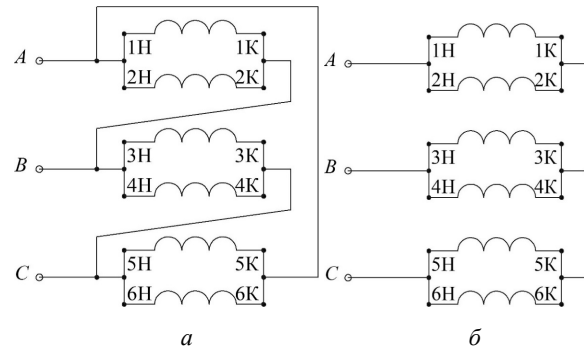


Рис. 13 – Схема з'єднання ДРК «паралельно зустрічно»: а – в «трикутник»; б – «зірка»

За результатами експерименту побудовано механічні характеристики ДРК, які показані на рис. 14. В даному випадку схема з'єднання «трикутник» показала себе краще ніж «зірка».

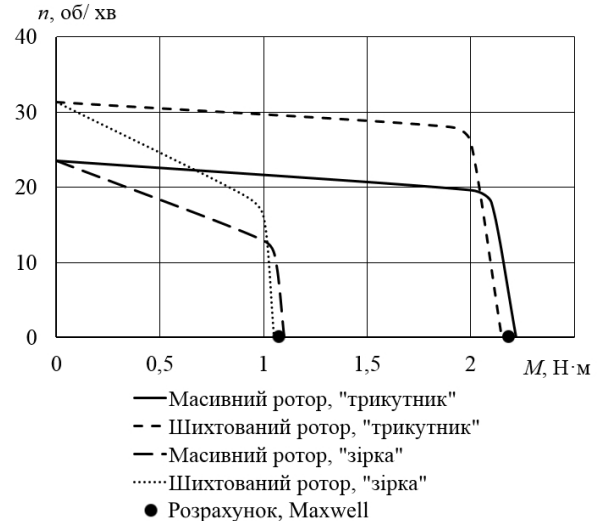


Рис. 14 – Механічна характеристика ДРК зі схемою з'єднання «паралельно зустрічно»

Схема з'єднання «паралельно узгоджено».

Іншим варіантом підключення ДРК до трифазної мережі є схема, де котушки фази з'єднані паралельно, але напрям струму в котушках однієї фази, розташованих в одному пазу спрямовано «згідно». Таким чином можна реалізувати спосіб з'єднання фаз двигуна за схемою «трикутник» (рис. 15, а) та «зірка» (рис. 15, б). В даному випадку опір фази так само в два рази менший, ніж при схемі з'єднання «через котушку».

За результатами експерименту побудовано механічні характеристики ДРК які показано на рис. 16. В даному випадку схема з'єднання «зірка» показала себе краще ніж «трикутник».

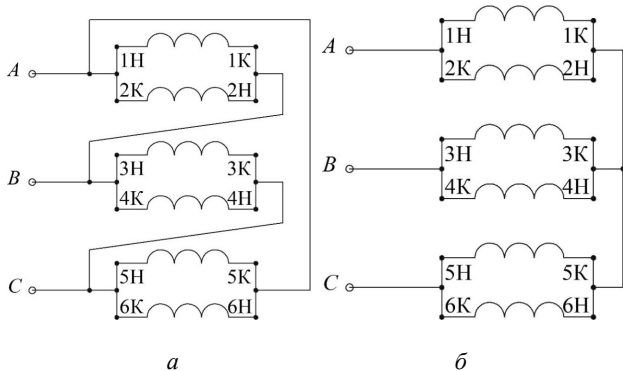


Рис. 15 – Схема з'єднання ДРК «паралельно узгоджено»
а – в «трикутник»; б – «зірка»

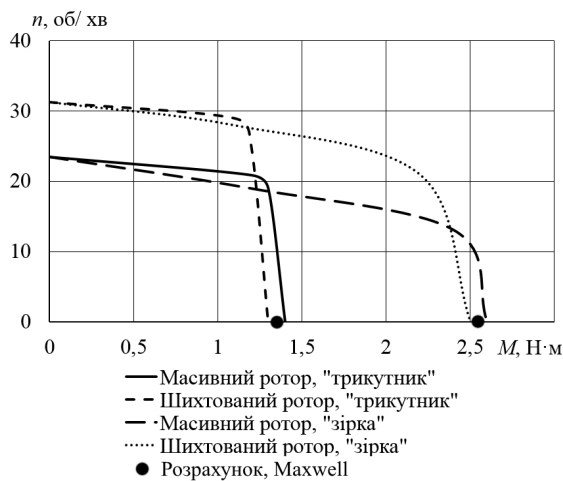


Рис. 16 – Механічна характеристика ДРК зі схемою з'єднання «паралельно згідно»

Схема з'єднання «через діоди». Використання діодів можливо тільки при з'єднанні котушок в схему «зірка» (рис. 17). Оскільки по котушкам буде протікати тільки половина струму, то можна підвищити значення лінійної напруги з 220 В до 380 В.

За результатами експерименту побудовано механічні характеристики ДРК які показано на

Таблиця 1 – Результати експерименту

	Схема з'єднання Тип осердя ротора	Через котушку		Послідовно зустрічно		Послідовно узгоджено		Паралельно зустрічно		Паралельно узгоджено		Через діоди	
		Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Δ	Y	Y	Y
Лінійна напруга, В	Масивне	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380
	Шихтоване	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380
Лінійний струм, А	Масивне	0,55	0,31	0,2	0,1	0,1	0,06	1,85	1	1,25	0,75	0,25	0,75
	Шихтоване	0,5	0,29	0,17	0,1	0,09	0,05	1,7	0,9	1,18	0,7	0,24	0,8

рис. 18. Як і в попередніх способах включення котушок обмотки статора, схема з'єднання «зірка» показала себе краще ніж «трикутник».

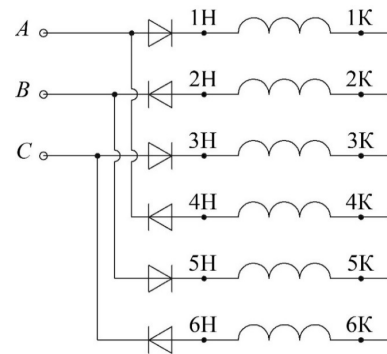


Рис. 17 – Схема з'єднання ДРК «через діоди»

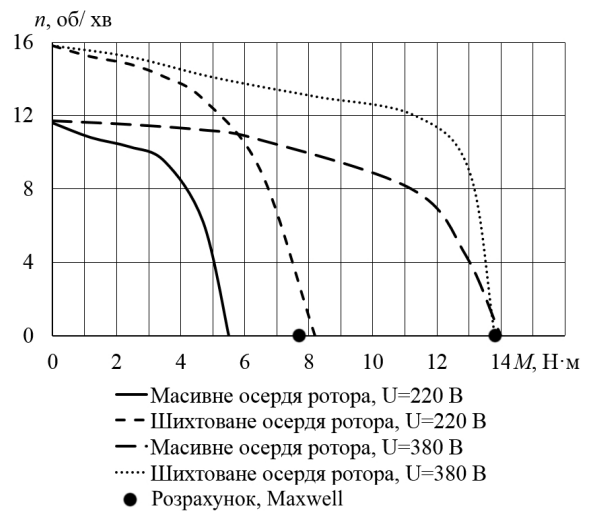


Рис. 18 – Механічна характеристика ДРК зі схемою з'єднання «через діоди»

Після проведення експериментальних досліджень і отримання значень струму, коефіцієнта потужності, частоти обертання, можна розрахувати потужність, що підводиться до двигуна, обертовий момент, корисну потужність та коефіцієнт корисної дії. Результати розрахунку наведено у табл. 1

Закінчення таблиці 1

Коефіцієнт потужності, в.о.	Масивне	0,78	0,77	0,75	0,74	0,75	0,74	0,73	0,73	0,74	0,74	0,85	0,84
	Шихтоване	0,55	0,56	0,54	0,55	0,54	0,55	0,51	0,51	0,51	0,51	0,6	0,6
Потужність, що підводиться до двигуна, Вт	Масивне	164	157	57	49	29	29	515	480	352	365	81	415
	Шихтоване	97	107	49	36	15	18	330	302	229	235	55	355
Частота обертання ротора, об/хв	Масивне	23	23	–	–	–	–	20	13	20	13	9	8
	Шихтоване	31	31	–	–	–	–	28	17	25	21	14	12
Обертовий момент, Н·м	Масивне	3	2	–	–	–	–	2	1	1,3	2,4	4	11
	Шихтоване	3	2	–	–	–	–	2	1	1,2	2,2	4	11
Корисна потужність, Вт	Масивне	7	5	–	–	–	–	4	1	3	3	4	9
	Шихтоване	10	7	–	–	–	–	6	2	3	5	6	14
Коефіцієнт корисної дії, %	Масивне	4,2	4,0	–	–	–	–	0,8	0,2	0,9	0,8	5	2,2
	Шихтоване	10,3	6,5	–	–	–	–	1,8	0,7	1,3	2,1	10,9	3,9

Висновки.

1. Оптимальною схемою включення обмоток ДРК є схема включення усіх шести котушок через діоди. При такому з'єднанні, механічна характеристика ДРК-50-6 – є найбільш жорсткою.

2. Використання ротора з шихтованим осердям призводить до підвищення корисної потужності на 20–30 % в порівнянні з ротором з масивним осердям, однак при цьому значно погіршується коефіцієнт потужності (на 25–35 %). Крім цього необхідно брати до уваги трудомісткість виготовлення кожного ротора.

3. Представлені результати проведених досліджень показали, що експериментальна модель ДРК з аксіальним магнітним потоком має резерви механічної потужності. Уточнення методики проектування дозволить повністю розкрити весь його потенціал.

Список літератури

1. Москвитин А. И. Пат. 341164, СССР, Тихоходный электродвигатель / А. И. Москвитин – 1962.
2. Айнварг А. С. Пат. 3545626/24-07, СССР, Электродвигатель с катящимся ротором / А. С. Айнварг – 1986.
3. Васюкевич П. В. Пат. 4722530/07, СССР, Двигатель с катящимся ротором торцового типа / П. В. Васюкевич, А. А. Фабровский – 1992.
4. Бертинов А. И. Электромагнитный момент двигателя с катящимся дисковым ротором / А. И. Бертинов // Электричество. – 1971. – № 12. – С. 32-36.
5. Фабровский А. А. Магнитное поле в рабочем зазоре машины с катящимся дисковым ротором / А. А. Фабровский // Электричество. – 1975. – № 7 – С. 29-33.
6. Москвитин А. И. Электрическая машина с катящимся ротором / А. И. Москвитин // «Электричество», – 1947. – № 3.
7. Ганин Н. Б. Трёхмерное проектирование в КОМПАС-3D / Н. Б. Ганин. – ДМК-Пресс, 2012. – 784 с.

8. Большаков В. П. Твердотельное моделирование деталей в САД-системах: AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, Creo / В. П. Большаков – Питер, 2014. – 304 с.
9. Борзяк Ю. Г. Электродвигатели с катящимся ротором / Ю. Г. Борзяк, М. А. Зайков, В. П. Нануй. – К. : Техніка, 1982. – 120 с.
10. Бертинов А. И. Электрические машины с катящимся ротором / А. И. Бертинов, В. В. Варлей. – М. : Энергия, 1969. – 200 с.
11. Захаренко А. Б. Исследование магнитоэлектрических машин с нетрадиционной катушечной обмоткой статора / А. Б. Захаренко // Известия вузов. Электромеханика. – 2007. – № 2. – С. 21–25.
12. Ansys Maxwell 3D v.15 – Electromagnetic and Electromechanical Analysis: user's guide / Ansys Inc. – Pittsburgh, 2012. – 1006 p.

References (transliterated)

1. Moskvitin A. I. *Tihohodnyj jelektrodvigatel'* [Low-speed electric motor]. Patent USSR, no. 341164; 1962.
2. Ainvarg A. S. *Jelektrodvigatel' s katjashhimsja rotorom* [Electric motor with a rolling rotor]. Patent USSR, no. 3545626/24-07, 1986.
3. Vasyukovich P. V., Farbovsky A. A. *Dvigatel' s katjashhimsja rotorom torcovogo tipa* [An engine with a rolling rotor of the end type]. Patent USSR no. 4722530/07, 1992.
4. Bertinov A. I. *Jelektromagnitnyj moment dvigatelja s katjashhimsja diskovym rotorom* [Electromagnetic moment of the motor with a rolling disk rotor]. *Jelektritchestvo*, 1971, no 12, pp. 32-36.
5. Fabrovsky A. A. *Magnitnoe pole v rabochem zazore mashiny s katjashhimsja diskovym rotorom* [Magnetic field in the working air gap of the motor with a rolling disk rotor]. *Jelektritchestvo*, 1975, no 7, pp. 29-33.
6. Moskvitin A. I. *Jelektricheskaja mashina s katjashhimsja rotorom* [Electric machine with a rolling rotor]. *Jelektritchestvo*, 1947, no 3.
7. Ganin N. B. *Trehmernoe proektirovanie v KOMPAS-3D* [Three-dimensional design in KOMPAS-3D], DMK-Press Publ., 2012, 784 p.
8. Bolshakov V. P. *Tverdotelnoe modelirovanie detaley v SAD-sistemah: AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, Creo* [Solid modeling of parts in CAD systems: AutoCAD, KOMPAS-3D, SolidWorks, Inventor, Creo], Piter Publ., 2014, 304 p.
9. Borzyak Y. G. *Jelektrodvigateli s katjashhimsja rotorom* [Electric motors with a rolling rotor], Kyiv, Technics Publ., 1982, 120 p.
10. Bertinov A. I. *Jelektricheskie mashiny s katjashhimsja rotorom* [Electric machines with a rolling rotor], Moscow, Energia Publ., 1969, 200 p.

11. Zakharenko A. B. Issledovanie magnitoelektricheskikh mashin s netradicijnoju katushechnoj obmotkoju statora [Research of magneto-electric machines with unconventional coils of the stator], *Izvestija vuzov. Jelektromehhanika*, 2007, no. 2, pp. 21-25.
12. Ansys Inc. Ansys Maxwell 3D v.15 – Electromagnetic and Electromechanical Analysis: user's guide, Pittsburgh, 2012, 1006 p.

Надійшла (received) 28.04.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вплив схеми з'єднання котушок обмотки статора двигуна з ротором, що котиться, на його енергетичні показники / А. В. Єгоров, А. М. Масленніков, О. О. Дунев, В. Д. Юхимчук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 1 (1223). – С. 106–113. – Библиогр.: 12 назв. – ISSN 2409-9295.

Влияние схемы соединения катушек обмотки статора двигателя с катящимся ротором на его энергетические показатели / А. В. Егоров, А. М. Масленников, А. А. Дунев, В. Д. Юхимчук // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: "Електричні машини та електромеханічне перетворення енергії". – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 1 (1223). – С. 106–113. – Библиогр.: 12 назв. – ISSN 2409-9295.

Influence of the stator coils scheme connection in the motor with a rolling rotor on its energy performance / A. V. Yehorov, A. M. Masliennikov, A. A. Duniev, V. D. Yuhimchuk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: "Electric machines and electromechanical energy conversion." – Kharkiv : NTU "KhPI", 2017. – No. 1 (1223). – P. 106–113. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2409-9295.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Єгоров Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри електричних машин, тел. (057) 707-65-14; e-mail: toe@mail.ru

Егоров Андрей Владимирович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры электрических машин, тел. (057) 707-65-14; e-mail: toe@mail.ru.

Yehorov Andrii Volodimirovych – Ph.D., National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Senior Lecturer of the Department of Electrical machines, tel. +38 (057) 707-65-14; e-mail: toe@mail.ru.

Масленніков Андрій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних машин, тел. (057) 707-65-14; e-mail: x-maslennikov@yandex.ua

Масленников Андрей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры электрических машин, тел. (057) 707-65-14; e-mail: x-maslennikov@yandex.ua.

Masliennikov Andrii Mikhailovych – Ph.D., Associate Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Associate Professor of the Department of Electrical machines, tel. +38 (057) 707-65-14; e-mail: x-maslennikov@yandex.ua.

Дунев Олексій Олександрович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри електричних машин, тел. (057) 707-65-14; e-mail: duniev_khpi@mail.ru

Дунев Алексей Александрович – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший преподаватель кафедры электрических машин, тел. (057) 707-65-14; e-mail: duniev_khpi@mail.ru.

Duniev Aleksei Aleksandrovych – Ph.D., National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Senior Lecturer of the Department of Electrical machines, tel. +38 (057) 707-65-14; e-mail: duniev_khpi@mail.ru.

Юхимчук Володимир Данилович – кандидат технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри електричних машин, тел. (057) 707-65-14.

Юхимчук Владимир Данилович – кандидат технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры электрических машин, тел. (057)707-65-14.

Yuhimchuk Vladimir Danilovych – Ph.D., Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Professor of the Department of Electrical machines, tel. +38 (057) 707-65-14.