

ОБГРУНТУВАННЯ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ ДУГОСТАТОРНОГО ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА З КІЛЬЦЕПОДІБНИМ РОТОРОМ

М.І. Трегуб, канд. техн. наук

Білоцерківський національний аграрний університет,
пл. Соборна 8/1, м. Біла Церква, 09116, Україна

Обґрунтовано геометричну конфігурацію магнітної системи дугостаторного вітроелектричного генератора з кільцеподібним ротором з біпакетною конструкцією магнітопроводу статорних секцій, що дає змогу повніше використовувати енергію магнітного матеріалу та мінімізувати непродуктивну постійну складову магнітного потоку за рахунок його почергового шунтування феромагнітними елементами ротора у протилежних пакетах. Бібл. 7, рис. 6.

Ключові слова: безтрансмійний вітроелектричний генератор, кільцевий ротор, дуговий статор, біпакетний магнітопровід, змінний магнітний опір, постійний магніт.

Підвищення ефективності процесу електромеханічного перетворення енергії низькошвидкісних вітрів за допомогою безтрансмійного дугостаторного генератора з кільцеподібним ротором (БДГК) дає змогу [6] суттєво збільшити річну тривалість роботи і коефіцієнт використання встановленої потужності автономних вітроелектричних установок (АВЕУ). Оскільки потужність низькошвидкісного потоку вітру незначна, то необхідно мінімізувати енергетичні втрати на створення магнітних потоків збудження шляхом застосування [5] генераторів з постійними магнітами. Одним із найбільш актуальних завдань розробки БДГК з постійними магнітами є обґрунтування конфігурації та конструктивної схеми магнітної системи для оптимального використання енергії магнітного матеріалу в секціях дугового статора.

Стан проблеми. Серед відомих [2] типів безконтактних генераторів з нерухомими постійними магнітами найвищу надійність мають індукторні, однак згідно з [1] вони суттєво поступаються магнітоелектричним синхронним генераторам ефективністю використання енергії магнітного матеріалу через наявність непродуктивної постійної складової магнітного потоку збудження. Запропонований [7] індукторний генератор з кільцеподібним ротором за конфігурацією магнітного кола належить до торцевого типу електричних машин [3], найбільш важливою ознакою яких є найкоротший прямолінійний шлях магнітного потоку через феромагнітний елемент ротора. Проте у відомих конструктивних варіантах торцевих електричних машин індукторного типу проблема оптимального використання магнітного матеріалу залишається не повністю вирішеною та потребує подальших досліджень.

Мета досліджень. Обґрунтування геометричної конфігурації магнітної системи дугостаторного вітроелектричного генератора з кільцеподібним ротором з оптимальним використанням магнітного матеріалу.

Результати роботи. Серед принципово можливих варіантів конструкцій запропоновано [4] радіально-кільцеву біпакетну конфігурацію магнітної системи БДГК, яка найбільш повно задовольняє спільним аеродинамічним та електромеханічним вимогам. На рис. 1 зображена ескізна схема біпакетної магнітоелектричної секції дугового статора індукторного генератора радіально-кільцевої конфігурації, де позначено: 1 – правий, з боку північного полюса магніту, пакет магнітопроводу секції статора; 2 – лівий пакет магнітопроводу секції статора; 3 – суцільна міжпакетна ділянка магнітопроводу; 4 – не-

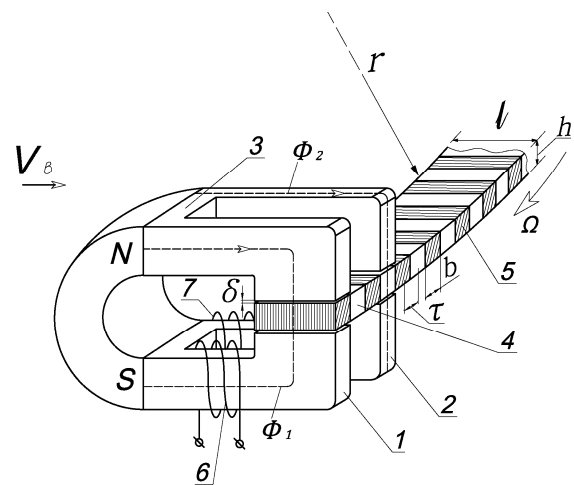


Рис. 1

магнітопровідна ділянка ротора; 5 – феромагнітний елемент ротора; 6 і 7 – якірні обмотки відповідно правого і лівого пакетів магнітопроводів; Φ_1 і Φ_2 – шлях магнітних потоків збудження у пакетах; δ – робочий повітряний проміжок; r – радіус кільцевого ротора; b , ℓ , h – габаритні розміри феромагнітних елементів ротора; τ – полюсний поділ ротора; V_B – орієнтовний напрям вітру.

Головними аргументами до визначення радіально-кільцевої конфігурації в якості оптимального варіанту магнітоелектричної системи були наявні принципові технічні можливості виконання більшості спільних аеродинамічних та електромеханічних вимог. Наприклад, лише за такої конструкції кільцевого ротора великого діаметру можливо забезпечити його мінімальний аеродинамічний опір вітровому потоку та одночасно необхідну механічну жорсткість, а вісь обертання розвантажити від силової дії магнітного поля дугового статора, оскільки забезпечується рівновага відцентрових та доцентрових сил притягування.

Принцип дії БДГК базується на індукванні ЕРС у якірних обмотках за рахунок гармонічної зміни опору магнітного кола, а відтак і потітокзчеплення, механічним рухом феромагнітних елементів ротора через міжполюсні проміжки пакетів магнітопроводів. Для індукторних генераторів з магнітним збудженням значення електромагнітної сили, яка спричиняє електромагнітний момент процесу електромеханічного перетворення енергії, можна виразити через змінний параметр опору R_M магнітного кола системи:

$$F_M = -0,5 \cdot \Phi^2 \cdot \frac{dR_M}{dx}, \quad (1)$$

де Φ – магнітний потік; R_M – опір роторної ділянки магнітного кола, який періодично змінюється від мінімального до максимального значення; dR_M/dx – похідна змінного магнітного опору в координатах одновимірного лінійного руху феромагнітного елемента ротора через міжполюсний проміжок секції статора.

Магнітний опір також можна виразити оберненою до нього величиною магнітної провідності $\Lambda = 1/R_M$. Тоді цільова функція зміни магнітної провідності для індуккування максимальної ЕРС матиме вид

$$\Delta\Lambda \rightarrow \text{MAX}, \quad (2)$$

де $\Delta\Lambda = \Lambda_{\text{макс}} - \Lambda_{\text{мін}}$.

Максимальне значення провідності магнітного кола $\Lambda_{\text{макс}}$ буде у положенні повного перекривання феромагнітним елементом ротора проміжку магнітопроводу статора і розраховуватиметься за виразом

$$\Lambda_{\text{макс}} = \frac{1}{(R_\delta + R_\phi)} = \left(\frac{2\delta}{\mu_0 \cdot b \cdot l} + \frac{h}{\mu_\phi \cdot b \cdot l} \right)^{-1} = b \cdot l \cdot \left(\frac{2\delta}{\mu_0} + \frac{h}{\mu_\phi} \right)^{-1}, \quad (3)$$

де R_δ – магнітний опір повітряного проміжку; R_ϕ – магнітний опір феромагнітного елемента ротора; μ_0 – магнітна проникність повітряного проміжку; μ_ϕ – магнітна проникність феромагнітного елемента ротора.

Оскільки $\mu_\phi \gg \mu_0$, то $\Lambda_{\text{макс}}$ залежить головним чином лише від розмірів робочого повітряного проміжку δ , а радіальна висота h феромагнітного елемента ротора на цей показник практично не впливає.

У свою чергу мінімального значення магнітна провідність $\Lambda_{\text{мін}}$ набуватиме за повного виходу феромагнітного елемента з міжполюсного проміжку та перекривання його немагнітопровідною ділянкою ротора висотою h і без врахування явища випинання силових ліній магнітних потоків розсіювання визначатиметься з рівняння

$$\Lambda_{\text{мін}} = \frac{1}{(R_\delta + R_d)} = \left(\frac{2\delta}{\mu_0 \cdot b \cdot l} + \frac{h}{\mu_d \cdot b \cdot l} \right)^{-1}, \quad (4)$$

де R_d – магнітний опір немагнітопровідної ділянки полюсного поділу ротора; μ_d – магнітна проникність, наприклад, діамагнітного матеріалу немагнітопровідної ділянки полюсного по-

ділу ротора, яку для розрахунків з достатньо високою точністю можна вважати $\mu_d = \mu_0$. Тоді мінімальна магнітна провідність із врахуванням величини робочого повітряного проміжку розраховується простою залежністю від геометричних розмірів немагнітопровідної ділянки ротора:

$$\Lambda_{\min} = \frac{b \cdot l \cdot \mu_0}{h + 2\delta}, \quad (5)$$

Ця залежність мінімальної магнітної провідності від геометричного параметра h за фіксованих значень інших габаритних розмірів немагнітної ділянки ротора є рівнянням гіперболи, симетричної відносно початку координат. З наведених залежностей також можна отримати абсолютні значення максимальної та мінімальної магнітної провідності. Оскільки Λ_{\max} практично не залежить від габаритного розміру h феромагнітного елемента ротора, то максимальна різниця магнітних провідностей визначатиметься головним чином мінімальною магнітною провідністю немагнітної ділянки без врахування потоків розсіювання. Тобто цільова функція максимальної зміни магнітної провідності матиме вираз

$$\Lambda_{\min} \rightarrow \text{MIN}, \quad (6)$$

Згідно з аналітичним виразом Λ_{\min} набуває мінімального значення за певних розрахункових незмінних геометричних розмірів b, l, δ за умови $h \rightarrow \text{MAX}$. Однак ця умова досягається у протилежному напрямі відносно вимоги забезпечення мінімальних масогабаритних показників, тому оптимальним габаритним розміром h згідно з [7] слід вважати його компромісне значення, яке відповідає ділянці мінімальної магнітної провідності за виразом (5) для рівносторонньої гіперболи, симетричної відносно початку координат, де після переходу осі симетрії вона починає уповільнено асимптотично наближатися до осі аргументу, поступово зменшуючи свої абсолютні значення. Для різних геометричних розмірів феромагнітних елементів ротора та немагнітопровідної ділянки визначаються також різні оптимальні значення розміру h за більш складними розрахунками, що є завданням подальших більш детальних досліджень.

У біпакетній конструкції магнітоелектричної системи, зображеної на рис. 1, принцип оптимального використання магнітного матеріалу можна пояснити на схемі розгортки секції (рис. 2). Так, наприклад, відомо [5], що дві пакетних секції магнітопроводу статора є мінімальним парним їх числом, за якого принципово можлива рівновага магнітних моментів. Одночасно за біпакетної конструкції існує принципова можливість почергового використання енергії однієї маси магнітного матеріалу. При цьому також довжина магнітного кола буде мінімальною порівняно з більшою кількістю розгалужень магнітопроводу.

На рис. 2 показано: a – схему розгортки елементарної секції біпакетної магнітоелектричної системи дугостаторного генератора з кільцеподібним ротором; b – координатно-суміщений зі схемою графік зміни магнітної провідності; v – суміщені графіки магнітних потоків у магнітопроводах; z – графіки ЕРС у якірних обмотках пакетів. На схемі розгортки позначено: 1 – правий (відносно стикової поверхні північного полюса) пакет магнітопроводу біпакетної секції статора; 2 – лівий пакет магнітопроводу біпакетної секції статора; 3 – суцільна міжпакетна ділянка магнітопроводу; 4 – немагнітопровідна ділянка ротора; 5 – феромагнітний елемент (дискретний зубець) ротора; 6, 7 – якірні обмотки відповідних пакетів статора; b_z, h_z – відповідно ширина і висота феромагнітного елемента ротора; d – поздовжня і q – поперечна магнітні осі ротора; δ – робочий повітряний проміжок; τ – полюсний поділ ротора. Постійний магніт встановлений різнойменними полюсами N і S між двома половинами біпакетних магнітопроводів секції статора. Полюсним поділом ротора (τ) є відстань між серединами феромагнітних полюсних елементів ротора і серединами немагнітних проміжків між ними, що відповідає відстані між серединами різнойменних полюсів звичайної синхронної машини і становить π ел. град. Подібно до синхронних генераторів полюсні елементи тут також мають магнітні осі відповідно поздовжню d та поперечну q , які проходять на відстані $\tau/2$, що відповідає $\pi/2$ ел. град.

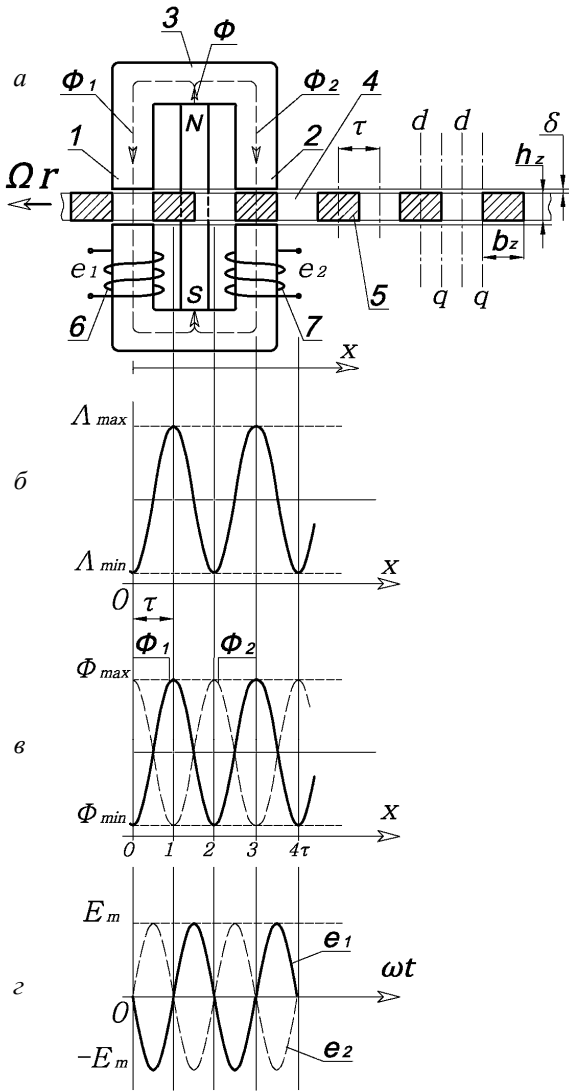


Рис. 2

При зміні координати x одновимірного обертового руху ротора магнітна провідність Λ між кожною парою полюсних виступів біпакетної секції статора змінюється за гармонічним законом, що описується залежністю

$$\Lambda(x) = \Lambda_{\min} + \Lambda_{\max} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi x}{2\tau}\right). \quad (7)$$

Математичний вираз, графічно зображений на рис. 2 б, досить адекватно відображає фізичну сутність процесу періодичної зміни величини магнітної провідності під час руху феромагнітних елементів ротора через міжполюсні проміжки пакетів статора. Так, постійна і змінна складові ніколи не набувають від'ємних значень, а форма змінної складової близька до залежності змінної площі перекривання феромагнітним елементом кільцевого ротора площі перетину міжполюсних проміжків статора під час руху. Звичайно більш точну картину можна отримати методом моделювання із врахуванням змінного магнітного насичення та потоків розсіювання, проте такий теоретичний розгляд загалом відображає основні фізичні закономірності процесу.

Почергова зміна магнітної провідності у правому і лівому пакетах викликає також гармонічну зміну магнітних потоків збудження, взаємно зміщених на один полюсний поділ τ , що графічно зображено на рис. 2 в. Значення магнітного потоку збудження від постійного магніту, наприклад, через правий пакет 1 описується виразом

$$\Phi_1(x) = \Phi_{\min} + \Phi_{\max} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi x}{2\tau}\right). \quad (8)$$

Миттєве значення магнітного потоку через просторово зміщений на один полюсний поділ τ інший пакет буде таким

$$\Phi_2(x) = \Phi_{\min} + \Phi_{\max} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi(x+\tau)}{2\tau}\right). \quad (9)$$

Відповідно до закону Кірхгофа загальний магнітний потік від постійного магніту в магнітному колі без насичення дорівнюватиме сумі потоків через обидва пакети:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_{\min} + \Phi_{\max} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi x}{2\tau}\right) + \Phi_{\min} + \Phi_{\max} \cdot \sin^2\left(\frac{\pi(x+\tau)}{2\tau}\right), \quad (10)$$

Переходячи від координатної залежності до часової, цей вираз матиме вигляд

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = 2\Phi_{\min} + \Phi_{\max} \cdot \left(\sin^2 \omega t + \sin^2\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \right) = 2\Phi_{\min} + \Phi_{\max}, \quad (11)$$

оскільки $\sin^2 \omega t + \sin^2\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t = 1$, де $\omega = 2\pi f$ – кутова швидкість зміни магнітного потоку в кожному пакеті магнітопроводу; f – частота змінного магнітного потоку, Гц; $f = \Omega r / 2\tau$, де Ω – кутова швидкість обертового руху кільцевого ротора, рад/с. Тобто зага-

льний магнітний потік від постійного магніту через обидва магнітопроводи пакетів весь час залишається однаковим. Отже, така біпакетна система порівняно з монопакетною теоретично має більш повне використання магнітного потоку збудження без загальної пульсації за повністю зрівноваженого магнітного моменту.

У якірних обмотках кожного пакета наводяться змінні ЕРС e_1 та e_2 однакової частоти з відповідними фазами, які визначаються за такими формулами:

$$e_1 = -\frac{wk_0 d\Phi_1(t)}{dt} = -\frac{wk_0 d(\Phi_{\text{макс}} \sin^2 \omega t)}{dt} = -E_{\text{макс}} \cdot 2 \sin \omega t \cdot \cos \omega t = -E_{\text{макс}} \cdot \sin 2\omega t; \quad (12)$$

$$e_2 = -\frac{wk_0 d\Phi_2(t)}{dt} = -\frac{wk_0 d(\Phi_{\text{макс}} \sin^2(\omega t + \frac{\pi}{2}))}{dt} = E_{\text{макс}} \cdot 2 \sin \omega t \cdot \cos \omega t = E_{\text{макс}} \cdot \sin 2\omega t, \quad (13)$$

де w – кількість витків обмотки, k_0 – обмотковий коефіцієнт.

Фізичну коректність цих виразів можна перевірити на координатно суміщених графіках. Так, на ділянці 0-1 (рис. 2 в) магнітний потік Φ_1 у першому пакеті за рахунок входження у проміжок феромагнітного елемента ротора буде зростати, що викликатиме індукування ЕРС e_1 негативного знаку. На ділянці 1-2 під час виходу цього феромагнітного елемента з пакета магнітний потік зменшуватиметься, а індукована ЕРС набуде позитивного значення. Аналогічно можна проаналізувати характер зміни ЕРС у якірній обмотці іншого пакета.

Отже, у якірних обмотках кожного з пакетів індукуються миттєво протилежні за знаком гармонічно змінні ЕРС. Тобто система принципово дає змогу виконувати зустрічно-послідовні та паралельні комбінації схем сполучення обмоток. При цьому досягається оптимальне використання магнітного матеріалу, оскільки сумарний магнітний потік через по чергово завантажені пакетні відгалуження магнітопроводів весь час залишається незмінним. Для порівняння, якщо виконувати монопакетні магнітопроводи, то необхідно використовувати таку ж масу магнітного матеріалу, як і у біпакетному, але при цьому за однакових умов отримаємо приблизно удвічі меншу загальну ЕРС. Крім того, за монопакетної конструкції під час виходу феромагнітного елемента з міжполюсного проміжку вся магніторушійна сила витрачається на потоки розсіювання, тоді як за біпакетної конструкції вона по чергово у різних пакетах взаємно шунтується. Враховуючи, що за конструкцією такий індукторний генератор належить до торцевих електричних машин, які мають згідно з [6] мінімальні потоки розсіювання, можна вважати його перспективним для БВЕУ.

Ще одна суттєва відмінність біпакетної конструкції полягає у тому, що створюється паралельний періодично замкнений магнітний контур для потоків реакції якоря, що за відсутності насичення магнітопроводу не має значного впливу на поле постійного магніту. Найбільш наочно це можна пояснити, загалом аналізуючи електромагнітні процеси на схемі розгортки, зображеної на рис. 3. На ньому зображено схему розгортки біпакетної секції з однаковими позначеннями, як і на рис. 2 а, але з іншим миттєвим положенням феромагнітних елементів ротора і з підключеним навантаженням до якірних обмоток 6 і 7 відповідно з опорами R_{H1} і R_{H2} , що спричиняють відповідні струми навантаження I_1 та I_2 , які викликають також відповідні магнітні потоки реакції якоря $\Phi_{Я1}$ та $\Phi_{Я2}$. Напрямок магнітних потоків реакції якоря тут просто визначається за правилом Ленца. Так, наприклад, у даний момент із першого пакета статора феромагнітний елемент ротора виходить, зменшуючи там потокозчеплення, тому в цей момент індукуються ЕРС e_1 і струм якірної обмотки I_1 такого напрямку, який викликає магнітний потік реакції якоря $\Phi_{Я1}$, що протидіє зменшенню потокозчеп-

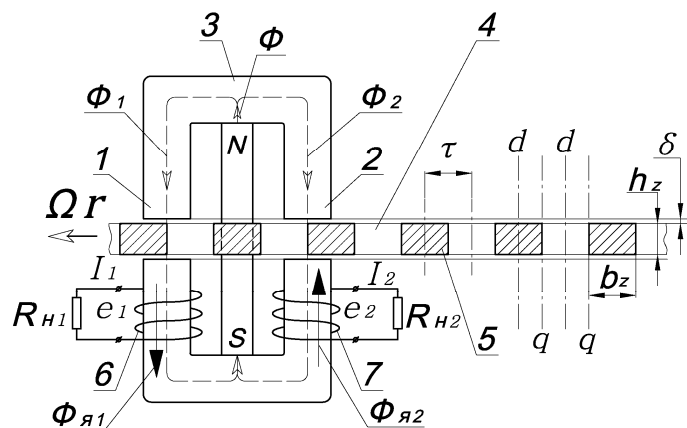


Рис. 3

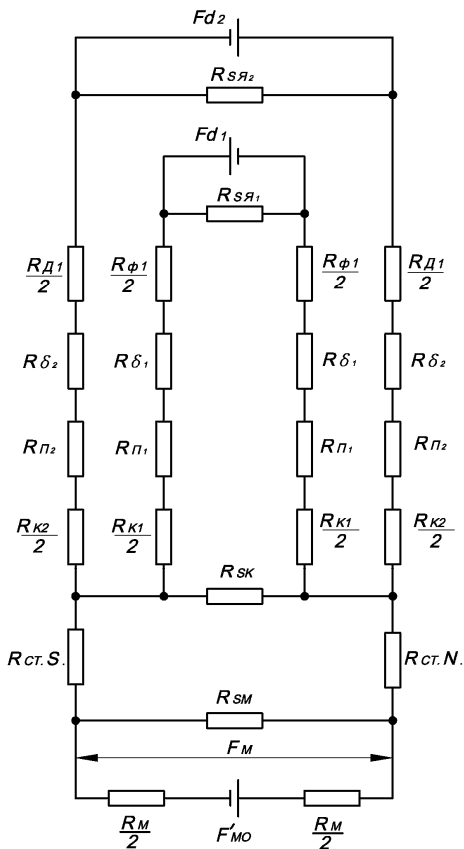


Рис. 4

лянки магнітопроводів, $R_{П1}$ та $R_{П2}$ – опори магнітопроводів пакетів, R_{δ} – опір повітряного проміжку, R_{ϕ} – опір феромагнітного елемента ротора, $R_{Д}$ – опір немагнітопровідної ділянки ротора. Магнітні опори для потоків розсіювання: R_{SM} – постійного магніту, $R_{СК}$ – опір розсіювання загальної міжпакетної ділянки магнітопроводу, $R_{сЯ1}$ та $R_{сЯ2}$ – опори розсіювання потоків реакції якоря кожного пакета. Таким чином, схема заміщення має нерозгалужену загальну ділянку з МРС постійного магніту та дві симетричні паралельні ділянки з МРС реакцій якоря кожного пакета. Напрями МРС реакцій якоря пакетів показані з послідовно направленою полярністю полюсів, що діють узгоджено у паралельному магнітному контурі. Схема заміщення дозволяє виконувати розрахунки магнітної системи у статичних режимах за відомими методами та отримати розрахункові характеристики.

У Білоцерківському національному аграрному університеті виготовлено лабораторну модель описаного біпакетного індукторного дугостаторного генератора, яка зображена на рис. 5, де 1 – регульований електропривід; 2 – феромагнітний елемент ротора (пакет електротехнічної сталі); 3 – немагнітопровідний (діелектричний) корпус кільцевого ротора; 4 – біпакетна секція статора. Феромагнітні елементи 2 ротора виконані у вигляді циліндричних пакетів електротехнічної сталі марки Ст2211, закріплених на кільцеподібному корпусі 3, виготовленому з діелектричного матеріалу. З такої ж електротехнічної сталі виконані пакети пластин магнітопроводу секції 4 статора, де встановлений магніт марки N42(Nd-Fe-B) циліндричної форми діаметром 36 мм і висотою 10 мм та намотані обмотки загальним числом витків 200.

Методика експериментальних досліджень форми і фази ЕРС у якірних обмотках кожного з пакетів полягала у отриманні осцилограм за умови сталих обертів та відсутності навантаження. Це було необхідно для оцінки принципів можливостей регулювання методом послідовної та паралельної комутації обмоток за нерегульованого магнітного потоку збудження.

лення, тобто за напрямом співпадає з магнітним потоком збудження Φ_1 .

Одночасно до проміжку другого пакета інший феромагнітний елемент ротора заходить, збільшуючи потокозчеплення, тому магнітний потік реакції якоря $\Phi_{я2}$ тут протидіє зростанню потокозчеплення і направлений зустрічно магнітному потоку збудження Φ_2 . Таким чином, магнітні потоки реакції якоря кожного з пакетів взаємодіють через паралельний відносно постійного магніту контур магнітопроводу і направлені узгоджено, обумовлюючи процес електромеханічного перетворення енергії в режимі генератора.

Процес почергового шунтування магнітного потоку можна також відобразити статичними параметрами магнітного кола (відповідно до рис. 2 а), що показано на схемі заміщення магнітної системи біпакетної секції статора на рис. 4.

Така схема заміщення має загальну ділянку кола постійного магніту та паралельні ланки пакетів, у яких почергово відбувається падіння магніторушійної сили (МРС). На схемі позначено: F'_{MO} – внутрішня (фіктивна) МРС постійного магніту; F_M – зовнішня (діюча) МРС постійного магніту; F_{d1} та F_{d2} – відповідно МРС реакції якоря кожного з пакетів; магнітні опори: R_M – постійного магніту, $R_{стN}$, $R_{стS}$ – стикові опори полюсів магніту з магнітопроводами, R_K – опір загальної міжпакетної ді-

Експериментальні дослідження форми ЕРС виконувалися за допомогою осцилографної приставки типу Hantek 6022BE шляхом одночасного підключення через два окремі канали обмоток різних пакетів. Осцилограми форми та фаз суміщених ЕРС якірних обмоток обох пакетів за сталих обертів ротора наведено на рис. 6. На осцилограмі (рис. 6 а) показано фазові ЕРС за підключення якірних обмоток пакетів однаково початками і кінцями відповідно до кожного з двох каналів осцилографа.

Якщо ж підключити початки і кінці якірних обмоток різних пакетів до каналів осцилографа у протифазі, то можна отримати суміщену осцилограму, показану на рис. 6 б, з якої видно, що зустрічне включення обмоток різних пакетів забезпечує гармонічно змінну, близьку до синусоїдної, трапецієподібну сумарну ЕРС. Якість робочого повітряного проміжку та неточність виготовлення феромагнітних елементів ротора за таких умов мають незначний вплив на форму ЕРС. Ця трапецієподібна форма ЕРС характерна для електромеханічних пристроїв із рівномірним робочим повітряним проміжком за відсутності насичення магнітопроводу та сталої швидкості зміни площі поширення магнітного потоку.

Плоска вершина трапеції пояснюється наявністю ділянки з лінійним характером зміни величини магнітного потоку за рахунок лінійного закону зміни площі перекривання повітряного проміжку. В електричних машинах наближення форми ЕРС до синусоподібної може в таких випадках досягатися, наприклад [1], за рахунок

виконання нерівномірної поверхні феромагнітного елемента. Виконання дугового статора з описаних біпакетних секцій дає змогу досить просто робити багатофазову (зокрема трифазову) систему за рахунок геометричного зміщення таких секцій на певну частину полюсного поділу по дузі корпусу з дотриманням умови [5] рівноваги магнітного моменту. Оскільки суміжні секції виконано однакової полярності, то у них принципово відсутні суміжні міжпакетні потоки розсіювання.

Висновки: 1. Головними аргументами до визначення радіально-кільцевої конфігурації в якості оптимального варіанту магнітоелектричної системи є принципові технічні можливості максимального порівняно з іншими варіантами виконання більшості спільних аеродинамічних та електромеханічних вимог.

2. За умови розміщення двох пакетів бінарного магнітопроводу секції статора на відстані одного полюсного поділу ротора забезпечуються незмінність сумарного магнітного потоку та оптимальне використання магнітного матеріалу.

3. У якірних обмотках пакетів, взаємно зміщених на один полюсний поділ, індукуються ЕРС однакової форми і частоти змінного струму у протифазі, що дає змогу застосовувати зустрічні послідовні та паралельні схеми підключень.

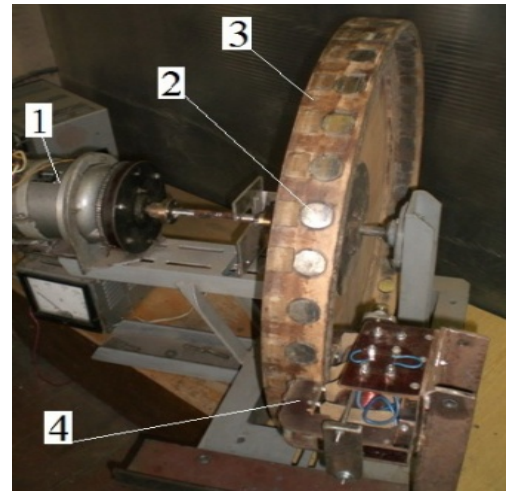


Рис. 5

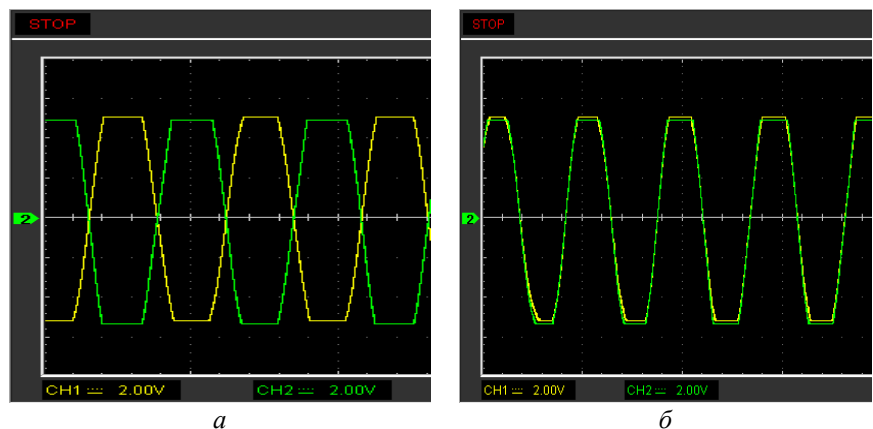


Рис. 6

4. Форма змінних ЕРС трапецієподібна, що відображає характер змін магнітної провідності кола механічним рухом феромагнітних елементів ротора через міжполюсні проміжки пакетів статора. Коефіцієнт форми такої залежності близький до одиниці.

1. Альпер Н.Я., Терзян А.А. Индукторные генераторы. – М.: Энергия, 1970. – 192 с.
2. Балагуров В.А., Галтеев Ф.Ф. Электрические генераторы с постоянными магнитами – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.
3. Бут Д.А. Бесконтактные электрические машины. – М.: Высш. шк., 1990. – 416 с.
4. Козирський В.В., Трегуб М.І. Методологія вибору типу і геометричної конфігурації кільцевороторного дугостаторного генератора безредукторної вітроелектричної установки // Тез. доп. Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК», Київ, 5–6 листопада 2013р. – С. 57–58.
5. Козирський В.В., Трегуб Н.І., Гребеников В.В., Прыймак М.В. Обоснование методов уравнивания магнитного момента дугостаторного ветроэлектрического генератора с кольцеобразным ротором // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України: Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2013. – Вип. 36. – С. 64–71.
6. Трегуб М.І., Рубець А.М., Василенко О.С. Оцінка техніко-економічного результату вдосконалення автономної сільськогосподарської вітроенергетичної системи // Механізація та електрифікація сільського господарства: Міжвід. темат. наук. зб. – Глеваха-2014. Вип. 99. Т.2. – С. 266–276.
7. Пат. 101118 UA, МПК H02K19/20, H02K21/38 Индукторный аксиальный генератор / М.І. Трегуб, В.В. Козирський. Заявл. 27.01.2012; Опубл. 25.02.2013. Бюл. № 4.

УДК 620.92,621.13.

Н.І. Трегуб, канд. техн. наук

Белоцерковский национальный аграрный университет,
пл. Соборная, 8/1, г. Белая Церковь, 09116, Украина

Обоснование магнитной системы дугостаторного ветроэлектрического генератора с кольцеобразным ротором

Выполнено обоснование геометрической конфигурации магнитной системы дугостаторного ветроэлектрического генератора с кольцеобразным ротором с бипакетной конструкцией магнитопроводов статорных секций, что позволяет более полно использовать энергию магнитного материала, а также минимизировать непродуктивную постоянную составляющую магнитного потока за счет чередующегося его шунтирования ферромагнитными элементами ротора в противоположных пакетах. Библи. 7, рис. 6.

Ключевые слова: бестрансмиссионный ветроэлектрический генератор, кольцеобразный ротор, дуговой статор, бипакетный магнитопровод, переменное магнитное сопротивление, постоянный магнит.

M. Tregub

Bilotserkivskiy National Agrarian University
Soborna,8/1, Bila Tserkva, 09116, Ukraine

Justification of magnetic system arc-type stator and ring-type rotor of wind-electric generator

Substantiated geometrical configuration of the magnetic annular arc-stator-rotor wind power generator with bi-packet structure of the magnetic stator sections, allowing better use the energy of magnetic material and minimize unproductive constant component of the magnetic flux through its alternating ferromagnetic shunt elements of the rotor in opposite packages. References 7, figures 6.

Key words: no-transmission of wind power generator, the ring-shaped rotor, arc stator, bi-packet magnetic, variable magnetic resistance, permanent magnet.

Надійшла 2.07.2014

Received 2.07.2014