



УКРАЇНА

(19) UA (11) 36155 (13) U

(51) МПК (2006)

H02K 29/06

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) НИЗЬКОШВИДКІСНА ЕЛЕКТРИЧНА МАШИНА З КІЛЬЦЕВИМ СТАТОРОМ

1

2

(21) u200807278

(22) 27.05.2008

(24) 10.10.2008

(46) 10.10.2008, Бюл.№ 19, 2008 р.

(72) БУЛГАР ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ІВЛЄВ АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ, UA, ІВЛЄВ ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, ЯКОВЛЕВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA

(73) БУЛГАР ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ІВЛЄВ АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ, UA, ІВЛЄВ ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ, UA, ЯКОВЛЕВ ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA

(57) Низькошвидкісна електрична машина з кільцевим статором, що містить статор з радіальними пазами для укладання обмотки якоря, тороїдальну обмотку збудження і дисковий ротор, яка відрізняється тим, що статор у вигляді кільцевої структури виконаний з ряду магнітно не зв'язаних феро-

ромагнітних магнітопроводів-зубців П-подібної форми, поперечні стрижні кожного з яких установлені зі зсувом у полюсний поділ відносно протилежних зубців, в проміжках-пазах між якими укладені секції обмотки якоря, а дисковий ротор складається з феромагнітного кільця, на кожному з боків якого встановлений ряд феромагнітних полюсів із проміжком у полюсний поділ і зі зсувом одного ряду відносно іншого також на величину полюсного поділу, причому феромагнітне кільце конструктивно пов'язане з валом за допомогою радіально орієнтованих стрижнів-спиць, довжина кожного з яких визначається розрахунковим значенням середнього радіуса кільцевого статора, при цьому як підшипникові щити електричної машини, так і немагнітні щити кільцевого статора, що кріплять, сполучені торцевими щитами секторного виду.

Корисна модель відноситься до галузі електромашинобудування й може бути використана в потужних приводах прокатних станів, шахтних підйомників і, зокрема, як генератор повітряноенергетичної установки.

Відома дугостаторна асинхронна машина, яку одержують перетворенням кругового статора звичайної машини (попередньо його умовно розімкнувши) у дуговий статор зростаючого радіуса до одержання певного центрального кута дуги [див. Фридкин П.А. Безредукторний дугостаторный электропривод. «Энергия», 1970, с.10, 111].

Основним недоліком відомої конструкції є те, що при наявності розімкнутого магнітопроводу статора магнітна система є несиметричною й магнітне поле розподіляється в зазорі уздовж індуктора нерівномірно, чим обумовлена поява ряду крайових ефектів, що здійснюють негативний вплив на показники роботи електричної машини.

Найбільш близьким до корисної моделі, що заявляється, є безконтактний двигун постійного струму з дисковим ротором, що містить статор з радіальними пазами для укладання, обмотки якоря, тороїдальну обмотку збудження й дисковий ротор, в якому статор виконаний з ряду окремих

магнітно не зв'язаних феромагнітних стрижнів П-подібної форми, розташованих симетрично щодо феромагнітних полюсів дискового ротора. Основа дискового ротора виконана з немагнітного матеріалу й жорстко з'єднана з валом. Кінцеві частини радіально орієнтованих стрижнів П-подібної форми закріплені в немагнітних торцевих щитах статора [див. опис до патенту України №78249].

Конструкція даної електричної машини обрана прототипом.

Прототип і корисна модель, що заявляється, мають такі спільні ознаки:

- статор з радіальними пазами, виконаний з окремих магнітопроводів П-подібної форми;
- дисковий ротор;
- тороїдальна обмотка збудження.

Забезпечуючи значні переваги в порівнянні із двигунами постійного струму класичної конструкції (поліпшення динамічних характеристик, підвищення питомих значень потужності й моменту двигуна) у зоні високих значень їх швидкостей обертання (750÷1500об./хв.), прототипу властиві недоліки низькошвидкісних машин (25÷125об./хв.), які пов'язані з різким зменшенням коефіцієнта корисної дії (ККД) через необхідність збільшення загальної

(13) U

(11) 36155

(19) UA

довжини провідників обмотки якоря, відповідно, й збільшення активного опору та втрат в обмотці якоря.

Окрім того, зсув при укладанні секцій обмотки якоря двох протилежних модулів на полюсний поділ забезпечує повну компенсацію магніторухливих сил (МРС) струмів лобових частин і, відповідно, магнітного потоку МРС лобових частин Φ_{Λ} на шляху основного магнітного потоку Φ_0 в основному при малих і середніх значеннях потужності прототипу (до 100кВт). При більших значеннях потужності, тобто при більших струмах секцій обмотки якоря, у зоні крайніх зубців кожного полюсного поділу магнітопроводів якоря проявляється вплив потоку Φ_{Λ} , аналогічний впливу поперечної реакції якоря звичайної машини постійного струму, що обумовлено неповною компенсацією струмів лобових частин секцій обмоток протилежних модулів якоря в крайніх перетинах кожного полюсного поділу. Подібний вплив магнітного потоку струмів лобових частин на основний магнітний потік прототипу обмежує його перевантажувальну здатність, відповідно, зменшує його швидкодію й погіршує динамічні характеристики двигуна.

В основу корисної моделі поставлена задача створити низькошвидкісну електричну машину, в якій статор у вигляді кільцевої структури П-подібної форми з обмоткою якоря й тороїдальною обмоткою збудження винесений на певну розрахункову величину середнього радіуса магнітопроводу якоря, а дисковий ротор із двостороннім розташуванням феромагнітних полюсів конструктивно поєднується з валом радіально орієнтованими стрижнями-спицями. При цьому забезпечується значне збільшення окружної швидкості полюсів, отже, і електрорушійної сили (ЕРС) обмотки якоря й, відповідно, зменшення опору обмотки якоря, тобто підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) при малих значеннях кутової частоти обертання ротора.

Окрім того, забезпечується можливість модульного принципу побудови електричної машини, тобто послідовного чергування уздовж осі загального вала - П-подібних модулів статора (зубцеві зони, секції обмотки якоря, тороїдальна обмотка збудження й дисковий ротор - у кожному), що спрощує технологію виготовлення низькошвидкісних електричних машин великої потужності (понад 100кВт), підвищує питомі значення потужності й моменту.

Поставлена задача вирішена в конструкції низькошвидкісної електричної машини постійного струму, що містить статор з радіальними пазами для укладання обмотки якоря, тороїдальну обмотку збудження й дисковий ротор тим, що статор у вигляді кільцевої структури виконаний з ряду магнітно не зв'язаних феромагнітних магнітопроводів-зубців П-подібної форми, поперечні стрижні кожного з яких установлені зі зсувом у полюсний поділ відносно протилежних зубців у проміжках-пазах, між якими укладені секції обмотки якоря, а дисковий ротор складається з феромагнітного кільця, на кожному боці якого встановлений ряд феромагнітних полюсів із проміжком у полюсний поділ й зі зсувом одного ряду відносно іншого також на ве-

личину полюсного поділу, причому феромагнітне кільце конструктивно поєднується з валом радіально орієнтованими стрижнями-спицями, довжина кожного з яких визначається розрахунковим значенням середнього радіуса кільцевого статора, при цьому як підшипникові щити електричної машини, так і немагнітні щити кільцевого статора поєднуються торцевими щитами секторного виду.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю заявлених ознак і досягненням технічного результату можна пояснити наступним.

У низькошвидкісній електричній машині з кільцевим статором, що заявляється, геометричні розміри основних конструктивних елементів визначаються виходячи з максимального значення коефіцієнта корисної дії й високої швидкодії, тобто забезпечення значних перевантажень по струму в динамічних режимах. Збільшення в порівнянні з прототипом, середнього радіуса кільцевого магнітопроводу якоря забезпечує при малих значеннях кутової швидкості дискового ротора значне підвищення окружної (лінійної) швидкості полюсів відносно магнітопроводу якоря, чим забезпечується зменшення довжини провідників і активного опору обмотки якоря, відповідно, зменшення втрат енергії в електричній машині з кільцевим статором, підвищення ККД. Попередній розрахунок генератора для повітроенергетичної установки на базі прототипу з параметрами: $P_n=100\text{кВт}$; $n_n=400\text{В}$; $\eta_n=80\text{об./хв.}$ показав ККД $\eta=0,65$ при середньому радіусі магнітопроводу якоря $R_{ep}=0,8\text{м}$. Для електричної машини, що заявляється, при однакових вихідних параметрах при середньому радіусі $R'=1,5\text{м}$ КПД $\eta=0,91$, що відповідає вимогам розроблювачів повітроенергетичних установок (ПЕУ), тому що при цьому різко зменшується момент і геометричні розміри повітроколеса ПЕУ. Виконання повітрогенератора тільки з електромагнітним збудженням, як в конструкції електричної машини з кільцевим статором, що заявляється, дозволяє значно розширити діапазон робочих швидкостей ПЕУ за рахунок зони їх низьких значень, що істотно обмежуються у варіанті використання в ПЕУ генераторів з магнітоелектричним збудженням (постійні магніти) так званою «швидкістю страгивання», що обумовлена силами магнітного притягання постійних магнітів ($V_{стр}=3\div 5\text{м/с}$), при номінальній швидкості обертання існуючих повітрогенераторів $n=(300\div 500)\text{об./хв.}$ Запропонована конструкція електричної машини з кільцевим статором забезпечує мінімальні значення швидкості обертання в межах $(25\div 100)\text{об./хв.}$

Забезпечення високої перевантажувальної здатності по струму й, відповідно, швидкодія в запропонованій низькошвидкісній електричній машині з кільцевим статором забезпечується наступними способами. Для обмеження поперечної реакції якоря кільцевий статор виконується з окремих магнітно не зв'язаних феромагнітних магнітопроводів-зубців П-подібної форми, тобто на шляху магнітного потоку Φ_a , створеного струмами активних провідників обмотки якоря розташований ряд повітряних проміжків-пазів, що різко обмежують реакцію якоря електричної машини з кільцевим статором. При цьому магнітний потік Φ_{Λ} струмів лобових

частин обмотки якоря повністю нейтралізується використанням зсуву поперечних стрижнів П-подібних магнітопроводів-зубців на величину полюсного поділу т відносно протилежних зубців кожних із двох магнітопроводів якоря електричної машини з кільцевим статором при симетричному укладанні секцій обмотки якоря на кожних двох протилежних полюсних поділах. Відповідне зміщення напрямку основного магнітного потоку Φ_0 забезпечується двостороннім зсувом феромагнітних полюсів дискового ротора на величину т відносно його загального кільцевого феромагнітного ярма. При такій структурі побудови конструктивної схеми запропонованої електричної машини з кільцевим статором, у будь-якому поперечному перерізі П-подібного магнітопроводу якоря сумарна магніторушійна сила струмів лобових частин обмотки якоря дорівнює нулю. Відповідно, дорівнює нулю й магнітний потік струмів лобових частин ($F_{\Sigma}=0$, $\Phi_{\Sigma}=0$), тобто відсутній його обмежувач вплив на величину основного магнітного потоку Φ_0 , чим забезпечується можливість значної кратності перевантаження по струму в електричній машині з кільцевим статором, що заявляється. Так, попередній порівняльний аналіз характеристик даних електричної машини з кільцевим статором (ЕМКС) і двигуна постійного струму (ДПС) класичної конструкції типу МП 4000-32У4 (для реверсивного прокатного стану) з параметрами: $P_n=4000\text{ кВт}$; $V_n=930\text{ В}$, $n_n=3206\text{ об./хв.}$, ККД $\eta=0,9$ показав наступні значення (для однакових параметрів):

- момент інерції ДПС: $y=60 \cdot 10^3 \text{ кгм}^2$;
- момент інерції ЕМКС (у режимі ДПС): $y=18,2 \cdot 10^3 \text{ кгм}^2$;
- маса ДПС: $m=150,000\text{ кг}$ (150т);
- маса ЕМКС: $m'=50,000\text{ кг}$ (50т);
- основний технічний показник, що характеризує максимальну можливу продуктивність реверсивного прокатного стану:

$$\alpha = \frac{Ph \cdot Mh}{y} = 79 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{КНт}}{\text{Т} \cdot \text{Т}^2} \right),$$

- той же показник для ЕМКС:

$$\alpha = 281 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{кВт} \cdot \text{КНт}}{\text{Т} \cdot \text{Т}^2} \right),$$

Таким чином, використання ЕМКС, що заявляється, забезпечує підвищення продуктивності прокатного стану в 3,5 рази, що обумовлено зменшенням маси обертових частин двигуна й, відповідно, зменшенням електро механічної постійної часу $T_m=0,17\text{ с}$ для існуючого ДПС до $T'_m=0,056\text{ с}$ у варіанті з ЕМКС.

У запропонованій низькошвидкісній електричній машині з кільцевим статором досить просто реалізується модульний принцип побудови сучасних електричних машин, при якому в аксіальному напрямку розташовані модулі П-подібних кільцевих статорів, дискові ротори яких об'єднані загальним валом, причому структура стрижнів-спиць, що кріплять, може бути одна на декілька модулів дискових роторів. Подібна конструктивна схема ЕМКС забезпечує підвищення питомих показників електричної машини, що особливо проявляється в зоні низьких безредукторних швидкостях обертання,

при значному зменшенні трудомісткості його виготовлення в цілому.

Електрична машина з кільцевим статором представлена на кресленнях, де:

Фіг.1 - конструктивна схема запропонованої електричної машини;

Фіг.2 - електрична машина, перетин А-А;

Фіг.3 - електрична машина, перетин Г-Г (представлена частина розгорнення перетину);

Фіг.4 - електрична машина, перетин Д-Д (представлена частина розгорнення перетину);

Фіг.5 - модуль дискового ротора, аксонометрія розгорнення.

Низькошвидкісна електрична машина з кільцевим статором містить статор 1, що складається з модулів якоря 2,3 і дискового ротора 4. На внутрішній поверхні статора 1 розташована тороїдальна котушка обмотки збудження 5 (Фіг.1-5).

Торцеві щити секторного виду 6,7 статора 1 являють собою немагнітні диски 8, 9, установлені нерухомо відносно вала 10 за допомогою підшипників 11, 12. З валом 10 радіально орієнтованими стрижнями-спицями 13 жорстко зчленований модуль дискового ротора 14 (Фіг.5), що складається з феромагнітного кільця 15, на кожній зі сторін якого встановлений ряд феромагнітних полюсів 16, 17. При цьому полюс, наприклад, 16, одного ряду встановлений відносно полюса 17 іншого ряду зі зсувом у полюсний поділ т. Ширина кожного полюса $b=\alpha_6 \cdot t$, де α_6 - коефіцієнт полюсного перекриття, а число полюсів у кожному ряду 16, 17 дорівнює числу пар полюсних поділів т: $n_p=n_t/2=p$, де n_p - число полюсних поділів модулів якоря 2, 3; p - число пар полюсів. Модулі якоря 2, 3 містять феромагнітні магнітопроводи-зубці 18, 19, що утворюють П-подібні структури за допомогою замикаючих поперечних стрижнів 20 (Фіг.3, 4). При цьому поперечними стрижнями 20 протилежні зубці 18, 19 зсунуті уздовж утворюючого кільця кожного з модулів якоря 2, 3 на величину полюсного поділу т. Так, наприклад, магнітний потік Φ_0 , що виходить із зубців модуля 19 (номер зубцевого поділу 1, 2, 3) проходять полюс 17, феромагнітне кільце 15, полюс 16, зубці модуля 18 (номер зубцевого поділу 4, 5, 6) і поперечні стрижні 20 (Фіг.3, 4), забезпечуючи зсув контуру замикання основного магнітного потоку Φ_0 двох протилежних модулів якоря 2, 3 на величину полюсного поділу т. При цьому секції обмотки якоря 21 модуля якоря 2 і секції обмотки якоря 22 модуля якоря 3 укладені без зсуву в протилежних проміжках-пазах (номера зубцевого ділення 1÷6), утворених відповідною установкою магнітопроводів-зубців 18, 19, що й забезпечує повну компенсацію магніторушійних сил струмів лобових частин обмотки якоря й, відповідно, повну відсутність пульсуючого магнітного потоку струмів лобових частин обмотки якоря Φ_{Σ} , наявність якого обмежувало перевантажувальну здатність прототипу.

У запропонованій електричній машині з кільцевим статором можливі два способи укладання секцій обмотки якоря 21, 22:

- використання двошарової обмотки для кожного з модулів якоря 2, 3;
- використання одношарової обмотки.

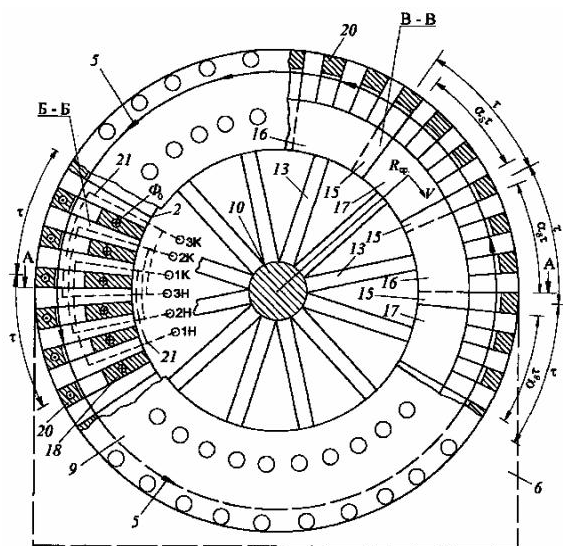
При цьому необхідно забезпечити протилежні напрямки струмів секцій обмотки якоря, що лежать на тому ж самому полюсному поділі модулів якоря 2, 3.

Живлення замкнутої обмотки якоря, наприклад, у режимі роботи двигуна постійного струму може бути повністю забезпечене за схемою напівпровідникового комутатора прототипу, або з використанням відомого електромеханічного комутатора-колектора.

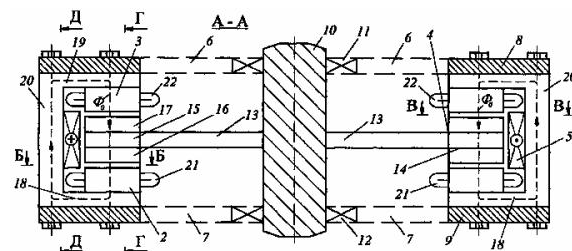
Запропонована електрична машина з кільцевим статором у режимі, наприклад, двигуна постійного струму працює таким чином.

При подачі напруги на тороїдальну котушку обмотки збудження 5 (Фіг.1, 2) взаємодією основ-

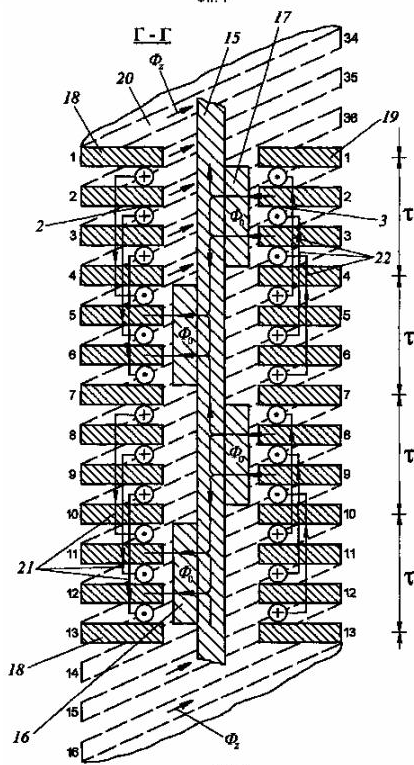
ного магнітного потоку Φ_0 й струмів провідників секцій 21, 22 модулів якоря 2, 3, що перебувають в даний момент у зоні полюсів 16, 17 дискового ротора 4 створюється електромагнітний момент M_{em} , під дією якого дисковий ротор 4 починає обертання. Напівпровідниковий або електромеханічний комутатор забезпечує перемикання струмів відповідних секцій таким чином, щоб при обертанні в одну сторону струми провідників, що перебувають у цей час проти полюсів 16, 17 зберігали незмінний напрям. Регулювання частоти обертання й реверс двигуна здійснюється відомими для класичних машин способами.



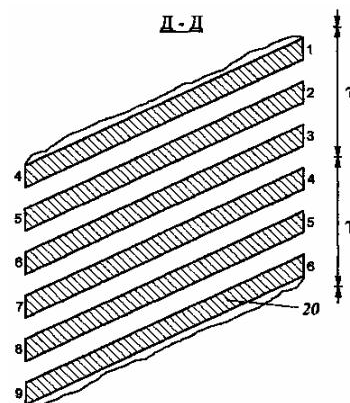
Фіг. 1



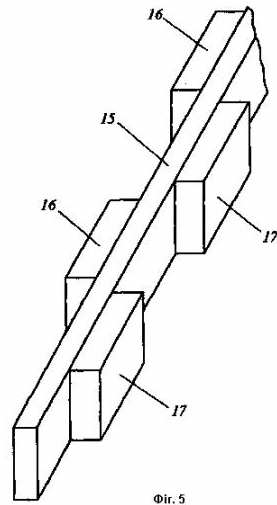
Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4



Фиг. 5