



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 87800

(13) C2

(51) МПК (2009)
H02K 21/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) СИНХРОННА МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНА МАШИНА

1

2

(21) а200903624

(22) 13.04.2009

(24) 10.08.2009

(46) 10.08.2009, Бюл.№ 15, 2009 р.

(72) ПАЛИВОДА КОСТЯНТИН ВІТАЛІЙОВИЧ

(73) ПАЛИВОДА КОСТЯНТИН ВІТАЛІЙОВИЧ

(56) SU 1136265, 1985 SU 1206905, 1986 SU 117588, 1957 US 5345133, 1994 US 2837670, 1954 US 5081188, 1992

(57) 1. Синхронна магнітоелектрична машина, яка включає в себе корпус із передньою і задньою кришками, встановлений у корпусі зовнішній статор із першою частиною робочої якірної обмотки, робочий вал машини, який пропущений через передню кришку корпуса, змонтований на робочому валі машини порожнистий ротор із вмонтованими у стінку його циліндричної порожнистої частини магнітними полюсними елементами системи збудження машини, виконаними на основі постійних магнітів, розміщений всередині порожнистого ротора внутрішній статор із другою частиною робочої якірної обмотки, який прямо чи опосередковано закріплений на задній кришці корпуса, яка відрізняється тим, що кожний магнітний полюсний елемент системи збудження машини набраний без використання полюсних наконечників із окремих елементарних магнітів, що мають по суті призматичну форму і намагнічені у радіальному напрямку, причому стикові поверхні кожного елементарного магніту прикріплені до суміжних поверхонь шаром неелектропровідного немагнітного теплостійкого клею.

2. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка відрізняється тим, що виконана із кількістю пар магнітних полюсів (р) на один статор від одної до шести.

3. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка відрізняється тим, що виконана з двома парами магнітних полюсів на один статор.

4. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка відрізняється тим, що зовнішній статор та/або внутрішній статор мають неявнополюсну конструкцію.

5. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка відрізняється тим, що постійні магніти магнітних полюсних елементів системи збудження машини виконані із матеріалу

неодим-залізо-бор з робочою температурою не нижче $120 \div 150$ °C.

6. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка відрізняється тим, що постійні магніти магнітних полюсних елементів системи збудження машини виконані із матеріалу неодим-залізо-бор з магнітними властивостями, які відповідають магнітним властивостям одного із типів: 33SH, 35SH, 38SH, 40SH, 42SH, 45SH, 33UH, 35UH, 38UH, 40UH, 35EH.

7. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким попереднім пунктом, яка відрізняється тим, що будь-який аксіальний шар клею на стику елементарного магніту з суміжною поверхнею виконаний клиноподібним так, що товщина цього шару на периферії ротора, більша ніж його товщина ближче до центральної геометричної осі обертання ротора.

8. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка відрізняється тим, що клей містить наповнювач із немагнітного матеріалу із високою теплопровідністю.

9. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка відрізняється тим, що елементарні магніти, які утворюють магнітний полюсний елемент системи збудження машини, розміщені в комірках окремої решітки, яка виконана із міцного конструкційного немагнітного матеріалу, вибраного із високоміцної легованої сталі, титанового сплаву, армованого волокнами полімерного матеріалу чи іншого подібного матеріалу, та/або виконана із електропровідного немагнітного металу, вибраного із алюмінію, міді та їх сплавів, чи іншого подібного металу.

10. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка відрізняється тим, що решітка магнітного полюсного елемента системи збудження машини виконана з немагнітного металу із високою теплопровідністю.

11. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка відрізняється тим, що кожен магнітний полюсний елемент ротора у аксіальному напрямку набраний із щонайменше двох-чотирьох окремих елементарних магнітів.

12. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка відрізняється тим, що кожен магнітний полюсний елемент ротора у тангенціальному напрямку набраний із пт окре-

(13) C2

(11) 87800

(19) UA

мих елементарних магнітів, кількість яких n_m визначають із математичної залежності:

$$n_m = (k_m / p) * P / 100,$$

де: $k_m = 8 \div 24$ - конструктивний коефіцієнт;

p - кількість пар полюсів;

P - потужність машини у кВт.

13. Синхронна магнітоелектрична машина за п. 1, яка **відрізняється** тим, що висота елементарного магніту у радіальному напрямку не менше його мінімального розміру у аксіальному чи тангенціальному напрямку.

14. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що на робочому валу машини з боку передньої кришки корпусу жорстко закріплено робоче колесо осьового вентилятора, при цьому у передній кришці корпусу і у задній кришці корпусу та/або в задній частині корпусу, в основі та/або передній циліндричній частині стакану ротора, кришці та/або задній циліндричній частині стакану ротора виконані вентиляційні отвори, що служать для проходження охолоджуючого повітря.

15. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що на вході аксіальних отворів, виконаних в основі стакану ротора, встановлені забірні лопатки, пристосовані для активації осьового вентиляційного потоку охолоджуючого повітря.

16. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що форма радіально-тангенціальних отворів в передній частині та /або задній частині циліндричної частини стакану ротора, які розташовані в зоні лобових частин обмоток внутрішнього та зовнішнього статорів, пристосована для дії цих отворів як доцентрових чи відцентрових вентиляторів.

17. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що в спинках зовнішнього і внутрішнього статорів виконані аксіальні наскрізні вентиляційні канали для проходження охолоджуючого повітря.

18. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що зовнішній статор запресований в циліндровий корпус або з контактом по всьому колу, або на ребра обмеженої висоти, що виконані на внутрішній поверхні корпусу чи ребра, що виконані на зовнішній поверхні спинки статора, з утворенням між корпусом і пакетом статора аксіальних наскрізних вентиляційних каналів.

19. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що внутрішній статор напресований на вісь або з контактом по всьому колу, або на ребра обмеженої висоти, що виконані на внутрішній поверхні спинки статора чи ребра, що виконані на зовнішній поверхні осі, з утворенням між статором і віссю аксіальних наскрізних вентиляційних каналів.

20. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що щонайменше задня частина осі виконана порожнистою.

21. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що у осі з переднього її кінця виконані похилі вентиляційні

канали, які сполучають внутрішню порожнину осі з короткими вентиляційними каналами, що виконані у спинці внутрішнього статора з боку його переднього торця.

22. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що у внутрішню порожнину осі запресований розташований в основному у межах внутрішнього статора теплообмінний радіатор з внутрішніми радіальними ребрами.

23. Синхронна магнітоелектрична машина за пунктом 20, яка **відрізняється** тим, що у внутрішню порожнину осі запресований розташований в основному у межах внутрішнього статора теплообмінний радіатор рідинного типу.

24. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що порожнистий ротор виконаний у вигляді порожнистого стакану, який має основу з маточиною, жорстко посаженою на робочий вал машини, та порожнисту циліндричну частину, яка з боку, що протилежний основі, закрита знімною кришкою, що встановлена за допомогою підшипникового вузла на осі, задній кінець якої закріплений у задній кришці корпусу, при цьому внутрішній статор встановлений на осі.

25. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що задній кінець робочого вала машини за допомогою підшипникового вузла встановлений у розточці переднього торця осі.

26. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що перша та друга частини робочої якірної обмотки з'єднані між собою електричним з'єднанням послідовно.

27. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що друга частина робочої якірної обмотки, що виконана на внутрішньому статорі, пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить $20 \div 70 \%$ від електрорушійної сили, яка генерується першою частиною робочої якірної обмотки, що виконана на зовнішньому статорі.

28. Синхронна магнітоелектрична машина за будь-яким із попередніх пунктів, яка **відрізняється** тим, що зовнішній та внутрішній статори пристосовані для можливості встановлення їх під кутом (α) один до одного, який може змінюватись.

29. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що внутрішній статор жорстко встановлений на осі, задній кінець якої в одному із декількох можливих кутових положень нерухомо зафіксований у отворі маточини задньої кришки.

30. Синхронна магнітоелектрична машина за пунктом 28, яка **відрізняється** тим, що внутрішній статор жорстко встановлений на осі, задній кінець якої нерухомо зафіксований у отворі маточини задньої кришки тільки в одному можливому кутовому положенні, а задня кришка нерухомо прикріплена до корпусу в одному із декількох можливих кутових положень.

31. Синхронна магнітоелектрична машина за пунктом 28, яка **відрізняється** тим, що внутрішній статор жорстко встановлений на осі, задній кінець

якої пропущений назовні корпусу через отвір маточини задньої кришки з можливістю повороту, при цьому розташований назовні корпусу задній кінець осі зв'язаний з системою контролюваного повороту для регулювання електрорушійної сили чи обертового моменту.

32. Синхронна магнітоелектрична машина за попереднім пунктом, яка **відрізняється** тим, що система контролюваного повороту включає в себе пружинний елемент, зв'язаний з заднім кінцем осі і пристосований для урівноваження моменту, який діє на внутрішній статор з боку ротора, при цьому

внутрішній статор при ненавантаженому пружинному елементі зміщений відносно зовнішнього статора під кутом (α) у напрямку, проти напрямку обертання ротора.

33. Синхронна магнітоелектрична машина за пунктом 31, яка **відрізняється** тим, що система контролюваного повороту включає в себе електромеханічний чи інший подібний активний привід, зв'язаний із заднім кінцем осі через самогальмівну передачу типу черв'ячної, гвинтової чи іншої подібної передачі.

Винахід відноситься до синхронних магнітоелектричних машин, насамперед до синхронних магнітоелектричних машин загального призначення - синхронних електричних генераторів чи двигунів.

Відомі магнітоелектричні машини постійного струму без обмотки збудження, яка замінена постійними магнітами (зокрема із сплавів алні (Al-Ni), алніко (Al-Ni-Co) чи інших, які мають високі магнітні властивості), зокрема виконавчі двигуни із якорним керуванням потужністю до 50÷100Вт [1, с.230]. Там же вказано на те, що можливо будувати генератори і двигуни постійного струму загального призначення потужністю до 5÷10кВт.

Відомі синхронні електричні двигуни та генератори, у яких замість обмоток збудження використані постійні магніти, а тому їх можна називати синхронними магнітоелектричними машинами [1, с.794]. Двигуни мають потужність до 30÷40Вт, а генератори будують потужністю 5÷10кВ·а, а у окремих випадках до 100 кВ·А.

Незважаючи на спрощення конструкції магнітоелектричних машин та виключення енергетичних втрат на збудження, як зазначено у [1; с.230, 794], внаслідок високої ціни вказаних магнітних матеріалів такі машини не отримали широкого розповсюдження. Однак, висока ціна магнітних матеріалів не є єдиною причиною такого стану. Важливо також те, що незважаючи на чисельні спроби до цих пір не створено конструкцій магнітоелектричних машин, які забезпечують високий рівень використання матеріалу постійних магнітів та ефективне просте регулювання електрорушійної сили чи обертового моменту на валу магнітоелектричної машини, наприклад для підтримання постійної напруги на електричних зажимах (полюсах) синхронного магнітоелектричного генератора при коливаннях навантаження на генератор.

На підтвердження сказаного, можна розглянути відому синхронну магнітоелектричну машину, зокрема генератор, який складається із статора із обмоткою звичайної конструкції та ротора (індуктора), виконаного у вигляді порожнистого стакану, укріпленого консольно на валу генератора. У кільце стінки стакану вмонтовані намагнічені у радіальному напрямку призматичні постійні магніти, внутрішні полюси яких замкнуті кільцеподібним ярмом, що підмагнічується системою регулювання електрорушійної сили (ЕРС) генератора. Ця система включає у себе розміщений у розточці ярма і встановлений консольно на щиті корпусу генера-

тора нерухомий сердечник (внутрішній статор) із двома різнойменними оберненими до кільцеподібного підмагнічуваного ярма полюсами, на яких змонтована обмотка постійного струму. За рахунок підмагнічування ярма до насичення знижують його магнітну провідність і магнітний потік ротора, а відповідно ЕРС генератора [2]. Недоліком таких генераторів є те, що, по-перше, система регулювання ЕРС генератора у будь-якому випадку не може сприяти генеруванню електричної потужності генератора і за рахунок власних масогабаритних показників погіршує відповідні показники генератора. По-друге, ця система потребує джерела постійного струму, що ускладнює використання генератора. По-третє, у роторі створюється нерухоме магнітне поле, яке при обертанні ротора може генерувати у ньому індуктивні токи, що ускладнює його конструкцію, підвищує втрати потужності та виділення тепла у роторі і відповідно ускладнює систему охолодження генератора. Суттєвим недоліком цієї машини та інших відомих електричних машин із порожнистим ротором є проблеми із забезпеченням механічної міцності та жорсткості конструкції порожнистого ротора та збільшення повітряного зазору у магнітній системі, що знижує магнітну індукцію у робочій зоні машини.

Відомий магнітоелектричний двигун, який має корпус із передньою і задньою кришками, встановлений у корпусі зовнішній статор із першою частиною робочої якірної обмотки, робочий вал двигуна, який пропущений через передню кришку корпусу, змонтований на робочому валі машини порожнистий ротор із вмонтованими у стінку його циліндричної порожнистої частини магнітними полюсними елементами системи збудження машини, виконаними на основі постійних магнітів, розміщений всередині порожнистого ротора внутрішній статор із другою частиною робочої якірної обмотки, який прямо закріплений на циліндричному виступі задньої кришки корпусу. На відміну від запропонованої машини у відомій машині-двигуні циліндрична частина порожнистого ротора виконана у вигляді магнітопроводу набраного із пластин електротехнічної сталі. Всередину магнітопроводу вставлені постійні магніти, які намагнічені у тангенціальному (кільцевому) напрямку. Частини магнітопроводу у зоні між магнітами є по суті полюсними наконечниками, які повинні забезпечити спрямування магнітного потоку, створеного МРС магнітів у повітряні зазори між ротором та статорами [3]. Недоліком таких машин-двигунів є те, що,

по-перше, конструкція циліндричної частини порожнистого ротора є відносно складною як із конструктивного так із технологічного аспектів. По-друге, для підтримання потужного магнітного потоку та забезпечення прийнятного магнітного опору частини магнітопроводу ротора повинні мати досить велику площу поперечного перерізу оскільки, при цьому збільшується об'єм магнітопроводу і зменшується об'єм постійних магнітів і відповідно їх магнітна енергія. По-третє, за рахунок магнітопроводу ротора збільшується довжина магнітного ланцюга і його магнітний опір. В-четвертих, для магнітопроводу між полюсними наконечниками, які ослаблені пазами для зменшення їх шунтувальної дії, зменшують механічну міцність ротора і все-ж таки частина магнітного потоку замикається через них, а не через робочі зазори. Внаслідок зазначених вище другої, третьої, та четвертої технічних проблем погіршуються питомі масо-габаритні показники відомого двигуна (тобто показники, які віднесені до його потужності).

Технічна задача винаходу полягає у тому, щоб усунути зазначені вище технічні проблеми і створити синхронну магнітоелектричну машину, яка має відносно просту і технологічну конструкцію та забезпечує максимально високе використання матеріалу постійних магнітів та інших електротехнічних матеріалів і, як наслідок, високі питомі масо-габаритні показники (тобто показники, які віднесені до потужності машини). Крім того, технічна задача винаходу полягає у тому, щоб створити синхронну магнітоелектричну машину, яка поєднує у собі переваги магнітоелектричних машин (простоту і надійність) із перевагами традиційних синхронних машин із обмоткам збудження постійного струму (регулювання ЕРС чи обертаючого моменту та велика потужність) за рахунок збільшення активної поверхні, яка забезпечує створення електромагнітної сили, а також пристосування машини для простого і надійного регулювання ЕРС чи обертаючого моменту.

Технічна задача вирішена тим, що у синхронній магнітоелектричній машині, яка включає в себе корпус із передньою і задньою кришками, встановлений у корпусі зовнішній статор із першою частиною робочої якірної обмотки, робочий вал машини, який пропущений через передню кришку корпуса, змонтований на робочому валу машини порожнистий ротор із вмонтованими у стінку його циліндричної порожнистої частини магнітними полюсними елементами системи збудження машини, виконаними на основі постійних магнітів, розміщений всередині порожнистого ротора внутрішній статор із другою частиною робочої якірної обмотки, який прямо чи опосередковано закріплений на задній кришці корпуса, згідно із винаходом кожний магнітний полюсний елемент системи збудження машини набраний без використання полюсних наконечників із окремих елементарних магнітів, що мають по суті призматичну форму і намагнічені у радіальному напрямку, причому стикові поверхні кожного елементарного магніту прикріплені до суміжних поверхонь шаром не електропровідного не магнітного теплоістійкого клею.

Причинно-наслідковий зв'язок між зазначеною вище сукупністю суттєвих ознак винаходу та зазначеним технічним результатом ясно демонструється описом винаходу та кресленнями.

У окремих випадках використання винаходу зазначений технічний результат посилюється та доповнюється іншими позитивними властивостями запропонованої машини тим, що машина виконана із кількістю пар магнітних полюсів (p) на один статор від одної до шести.

Також тим, що машина виконана із двома парами магнітних полюсів на один статор.

Також тим, що зовнішній статор та/або внутрішній статор мають неявнополюсну конструкцію.

Також тим, що постійні магніти магнітних полюсних елементів системи збудження машини виконані із матеріалу неодим-залізо-бор з робочою температурою не нижче $120 \div 150^\circ\text{C}$.

Також тим, що постійні магніти магнітних полюсних елементів системи збудження машини виконані із матеріалу неодим-залізо-бор із магнітними властивостями, які відповідають магнітним властивостям одного із типів: 33SH, 35SH, 38SH, 40SH, 42SH, 45SH, 33UH, 35UH, 38UH, 40UH, 35EH.

Також тим, що будь-який аксіальний шар клею на стику елементарного магніту із суміжною поверхнею виконаний клиноподібним так, що товщина цього шару на периферії ротора більша ніж його товщина ближче до центральної геометричної осі обертання ротора.

Також тим, що клей містить наповнювач із немагнітного матеріалу із високою теплопровідністю.

Також тим, що елементарні магніти, які утворюють магнітний полюсний елемент системи збудження машини, розміщені в комірках окремої решітки, яка виконана із міцного конструкційного немагнітного матеріалу, вибраного із високоміцної легированої сталі, титанового сплаву, армованого волокнами полімерного матеріалу чи іншого подібного матеріалу, та/або виконана із електропровідного немагнітного металу, вибраного із алюмінію, міді та їх сплавів, чи іншого подібного металу.

Також тим, що решітка магнітного полюсного елемента системи збудження машини виконана із немагнітного металу із високою теплопровідністю.

Також тим, що кожен магнітний полюсний елемент ротора у аксіальному напрямку набраний із щонайменше двох-чотирьох окремих елементарних магнітів.

Також тим, що кожен магнітний полюсний елемент ротора у тангенціальному напрямку набраний із nm окремих елементарних магнітів, кількість яких nm визначають із математичної залежності:

$$n_m = (k_m/p) * P/100,$$

де: $k_m = 8 \div 24$ - конструктивний коефіцієнт;

p - кількість пар полюсів;

P - потужність машини у кВт.

Також тим, що висота елементарного магніту у радіальному напрямку не менше його мінімально-го розміру у аксіальному чи тангенціальному напрямку.

Також тим, що на робочому валу машини з боку передньої кришки корпуса жорстко закріплено робоче колесо осьового вентилятора, при цьому у

передній кришці корпусу і у задній кришці корпусу та/або в задній частині корпусу, в основі та/або передній циліндричній частині стакану ротора, кришці та/або задній циліндричній частині стакану ротора виконані вентиляційні отвори, що служать для проходження охолоджуючого повітря.

Також тим, що на вході аксіальних отворів, виконаних в основі стакану ротора, встановлені забірні лопатки, пристосовані для активації осьового вентиляційного потоку охолоджуючого повітря.

Також тим, що форма радіально-тангенціальних отворів в передній частині та/або задній частині циліндричної частини стакану ротора, які розташовані в зоні лобових частин обмоток внутрішнього та зовнішнього статорів, пристосована для дії цих отворів як доцентрових чи відцентрових вентиляторів.

Також тим, що в спинках зовнішнього і внутрішнього статорів виконані аксіальні наскрізні вентиляційні канали для проходження охолоджуючого повітря.

Також тим, що зовнішній статор запресований в циліндровий корпус або з контактом по всьому колу, або на ребра обмеженої висоти, що виконані на внутрішній поверхні корпусу чи ребра, що виконані на зовнішній поверхні спинки статора, із утворенням між корпусом і пакетом статора аксіальних наскрізних вентиляційних каналів.

Також тим, що внутрішній статор напресований на вісь або з контактом по всьому колу, або на ребра обмеженої висоти, що виконані на внутрішній поверхні спинки статора чи ребра, що виконані на зовнішній поверхні осі, із утворенням між статором і віссю аксіальних наскрізних вентиляційних каналів.

Також тим, що щонайменше задня частина осі виконана порожнистою.

Також тим, що у осі з переднього її кінця виконані похилі вентиляційні канали, які сполучають внутрішню порожнину вісі із короткими вентиляційними каналами, що виконані у спинці внутрішнього статора з боку його переднього торця.

Також тим, що у внутрішню порожнину вісі запресований розташований в основному у межах внутрішнього статора теплообмінний радіатор із внутрішніми радіальними ребрами.

Також тим, що у внутрішню порожнину вісі запресований розташований в основному у межах внутрішнього статора теплообмінний радіатор рідинного типу.

Також тим, що порожнистий ротор виконаний у вигляді порожнистого стакану, який має основу із ступицею, жорстко посадженою на робочий вал машини, та порожнисту циліндричну частину, яка з боку, що протилежний основі, закрита знімною кришкою, що встановлена за допомогою підшипникового вузла на осі, задній кінець якої закріплений у задній кришці корпусу, при цьому внутрішній статор встановлений на осі.

Також тим, що задній кінець робочого валу машини за допомогою підшипникового вузла встановлений у розточці переднього торця осі.

Також тим, що перша та друга частини робочої якірної обмотки з'єднані між собою електричним з'єднанням послідовно.

Також тим, що друга частина робочої якірної обмотки, що виконана на внутрішньому статорі, пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить 20+70% від електрорушійної сили, яка генерується першою частиною робочої якірної обмотки, що виконана на зовнішньому статорі.

Також тим, що зовнішній та внутрішній статори пристосовані для можливості встановлення їх під кутом (α) один до одного, який може змінюватись.

Також тим, що внутрішній статор жорстко встановлений на осі, задній кінець якої в одному із декількох можливих кутових положень нерухомо зафіксований у отворі ступиці задньої кришки.

Також тим, що внутрішній статор жорстко встановлений на осі, задній кінець якої нерухомо зафіксований у отворі ступиці задньої кришки тільки в одному можливому кутовому положенні, а задня кришка нерухомо прикріплена до корпусу в одному із декількох можливих кутових положень.

Також тим, що внутрішній статор жорстко встановлений на осі, задній кінець якої пропущений назовні корпусу через отвір ступиці задньої кришки із можливістю повороту, при цьому, розташований назовні корпусу задній кінець осі зв'язаний із системою контрольованого повороту для регулювання ЕРС чи обертаючого моменту.

Також тим, що система контрольованого повороту включає в себе пружинний елемент, зв'язаний із заднім кінцем осі і пристосований для урівноваження моменту, який діє на внутрішній статор з боку ротора, при цьому внутрішній статор при ненавантаженню пружинного елементу зміщений відносно зовнішнього статора під кутом (α) у напрямку, проти напрямку обертання ротора.

Також тим, що система контрольованого повороту включає в себе електромеханічний чи інший подібний активний привід, зв'язаний із заднім кінцем осі через само гальмівну передачу типу черв'ячної, гвинтової чи іншої подібної передачі.

Винахід пояснюється кресленнями, на яких на: Фіг.1 зображена схема синхронної магнітоелектричної машини; Фіг.2÷4 - варіанти виконання вузла встановлення зовнішнього статора у корпус машини; Фіг.5 - радіально-тангенціальні вентиляційні отвори у циліндричній частині стакану порожнистого ротора; Фіг.6, 7 - циліндрична частина стакану порожнистого ротора відповідно розріз та вид збоку; Фіг.8÷11 - варіанти виконання стакану порожнистого ротора; Фіг.12÷13 - варіанти виконання системи контрольованого повороту для регулювання ЕРС чи обертаючого моменту.

Запропонована синхронна магнітоелектрична машина за Фіг.1 містить корпус (станину) 1 із знімними передньою 2 та задньою 3 кришками (щитами); змонтований у корпусі зовнішній статор (якір) 4 із першою частиною 5 робочої якірної, наприклад трьохфазної, обмотки; закріплений на осі 6 внутрішній статор (якір) 7 із другою частиною 8 робочої якірної, наприклад трьохфазної, обмотки; та встановлений на робочому валу 9 машини порожнистий ротор 10, який виконаний у вигляді порожнистого стакану 11 закритого знімною кришкою 12. Ступиця 13 стакану 11 жорстко закріплена на робочому валу 9, а кришка 12 жорстко прикріплена (наприклад пригвинчена) до торця стакану 11. Для

забезпечення механічної жорсткості конструкції і мінімальних деформацій кришка 12 встановлена через підшипник 14 (наприклад шарикопідшипник) на осі 6, а задній кінець 15 робочого валу 9 за допомогою підшипника (наприклад роликового підшипника) 16 встановлений у розточці 17 переднього торця осі 6.

На робочому валу 9 жорстко закріплено робоче колесо осьового (пропелерного) вентилятора 18 і передній кінець цього валу 9 через підшипник 19, встановлений у передній кришці 2 корпусу 1, пропущений назовні корпусу 1.

У кришках 2, 3, в основі та циліндричній частині стакана 11, кришці 12 виконані вентиляційні отвори, 20, 21, 22, 23, 24, 25, що служать для проходження охолоджуючого повітря.

Оскільки сама конструкція машини припускає використання подовжньої аксіальної системи вентиляції, то в спинках зовнішнього 4 і внутрішнього 7 статорів доцільно передбачити аксіальні наскрізні охолоджуючі (для потоку охолоджуючого повітря) канали 29, що забезпечать необхідну поверхню теплозмінення. При цьому зовнішній статор 4, наприклад, запресовується в (сталевий, із сплаву на основі алюмінію чи інший) циліндровий корпус 1 або з контактом по всьому колу (Фіг.2) або на ребра 31 обмеженої висоти, що виконані на внутрішній поверхні корпусу 1 (Фіг. 3), чи ребра 32, що виконані на зовнішній поверхні спинки статора 4 (Фіг.4), і залишають між корпусом 1 і пакетом статора 4 вентиляційні канали 29. В першому випадку значна частина тепла передається в корпус і для його охолодження доцільно передбачити ребра 33 зовнішньої поверхні корпусу 1 і зовнішній обдув корпусу 1 (на кресленнях не показано). Внутрішній статор 7 подібно до того, як це вище описано для зовнішнього статора 4, напресовується на вісь 6 або з контактом по всьому колу або на ребра обмеженої висоти, що виконані на зовнішній поверхні осі 6, чи ребра, що виконані на внутрішній поверхні спинки статора 7 (Фіг.4), і залишають між віссю 6 і пакетом статора 7 вентиляційні канали (подібні до каналів 29). У разі, коли внутрішній статор 7 напресовується на вісь 6 з контактом по всьому колу, вісь 6 може бути виконана порожнистою (трубчастою) і у ній з переднього її кінця виконані похилі вентиляційні канали 34, які сполучають внутрішню порожнину 35 вісі 6 із короткими вентиляційними каналами 30, що виконані у спинці внутрішнього статора 7 з боку його переднього торця. При цьому у внутрішню порожнину 35 вісі 6 може бути запресований розташований в основному у межах внутрішнього статора 7 теплообмінний радіатор 36 із внутрішніми радіальними ребрами 37 (Фіг.1). При великому тепловому навантаженні на внутрішній статор 7 вентиляційні канали 30, 34 не виконують, а теплообмінний радіатор 36 виконують рідинного типу, у вигляді герметичної закритої циліндричної зовні ємності приєднаної до системи рідинного охолодження підвідним і відвідним трубопроводами (на кресленнях не показано).

Потік охолоджуючого повітря формується вбудованим пропелерним вентилятором 18 і вентиляційною дією елементів роторного стакана: поперше, забірними лопатками 38 на вході аксіальних отворів, виконаних 22 в основі стакана 11 ро-

тора 10 (пристосовані для активації осьового вентиляційного потоку охолоджуючого повітря.), і, по-друге, радіально-тангенціальними отворами 24, 25 в циліндричній частині стакана 11 ротора 10, розташованими в зоні лобових частин обмоток статорів 4, 7, що виконані відповідної форми (див. Фіг.5, де стрілками 42, 43 показано напрямки обертання та напрямки потоку повітря) і діють як додаткові доцентрові чи відцентрові вентилятори.

У одному із виконань внутрішній статор 7 жорстко закріплений на осі 6, задній кінець 39 якої в одному із декількох можливих кутових положень нерухомо зафіксований у отворі ступиці 40 задньої кришки 3 будь-яким придатним для цього відомим способом (Фіг.1). Наприклад, так як прийнято кріпити конічні хвостовики інструментів у конічних отворах чи за допомогою шліців, чи цангового затискача, чи фланця із продовжуватими дугоподібними отворами для кріпильних болтів тощо. У іншому виконанні задній кінець 39 осі 6 нерухомо зафіксований у отворі ступиці 40 задньої кришки 3 тільки в одному кутовому положенні, а задня кришка 3 одним із відомих способів нерухомо прикріплена до корпусу 1 в одному із декількох можливих кутових положень. Наприклад, так як це вище зазначено для фланця із продовжуватими дугоподібними отворами для кріпильних болтів.

У іншому виконанні задній кінець 39 пропущений назовні корпусу 1 через отвір ступиці 40 задньої кришки 3 із можливістю повороту. При цьому, розташований назовні корпусу 1 задній кінець 39 осі 6 зв'язаний із механічною системою регулювання ЕРС генератора чи обертаючого моменту двигуна так, як це описано нижче.

Критично важливим, є тільки можливість встановлення зовнішнього 4 та внутрішнього 7 статорів у декількох кутових положеннях один відносно одного, тому фахівець може легко створити також інші варіанти виконань, зокрема таке, у якому задня кришка 3 пристосована для можливості повороту відносно корпусу 1 і зв'язана із механічною системою регулювання ЕРС генератора чи обертаючого моменту двигуна. У іншому випадку внутрішній статор 7 може бути пристосований для встановлення на осі 6 у декількох фіксованих кутових положеннях або пристосований для можливості повороту відносно осі 6 і зв'язаний із механічною системою регулювання ЕРС генератора чи обертаючого моменту двигуна.

Виводи від другої частини 8 робочої якірної обмотки внутрішнього статора (якоря) 7 проходять через отвори 41 в осі 6 у порожнину 35 осі 6, яка відкрита з боку заднього кінця 39 (торця) осі 6, і підводяться до щита виводів (на кресленнях виводи і щит виводів не показані).

По колу циліндричної частини стакана 11 ротора 10 розташовані гнізда, в яких закріплені магнітні полюсні елементи 44 системи збудження машини, які переважно виконані із декількох окремих елементарних постійних магнітів 45, намагнічених у радіальному напрямку.

Машини може бути виконані із кількістю пар магнітних полюсів (р) на один статор 4 чи 7 від одної до шести. Оптимальним є виконання машини із двома-трьома (краще двома, як показано на Фіг.6, 7) парами магнітних полюсів на один статор

4 чи 7, виходячи із того, що, по-перше, частота обертання робочого вала 9 машини буде складати 1500 чи 750 обертів за хвилину (при частоті змінного струму 50 Гц), що прийнятно з погляду достатності міцності застосованих магнітів та їх кріплення у роторі. По-друге, при цьому довжина магнітопроводу кожної окремої замкнутої магнітної системи машини достатньо мала, особливо, коли зовнішній статор 4 та/або внутрішній статор 7 мають неявнополюсну конструкцію.

Конструкція циліндричної частини стакану 11 ротора 10 і гнізд 46 для збірних магнітних полюсних елементів 44 та/або для збірок елементарних постійних магнітів 45, та/або для окремих елементарних постійних магнітів 45 відрізняється залежно від призначення машини і матеріалу вживаних магнітів.

Сама циліндрична частина стакану 11 може представляти із себе відрізок труби (із немагнітного сталі або іншого немагнітного сплаву достатньої міцності), який пригвинчений чи приварений до основи, виконаної із будь-якого придатного матеріалу, та в якому вирізані гнізда 46 для збірних магнітних полюсних елементів 44 та/або для збірок елементарних постійних магнітів 45, та/або для окремих елементарних постійних магнітів 45. Альтернативно увесь стакан 11 може бути цільною відливою деталлю. У іншому виконанні циліндрична частина стакану 11 може представляти собою зварну ґратчасту конструкцію барабанного типу, в якій до переднього циліндричного кільця 47 (розташованого з боку переднього (лівого на Фіг.1, 7) торця), що є частиною суцільної деталі диска основи або жорстко прикріплене до диска основи, наприклад зварюванням чи болтовим з'єднанням, і заднього кільця 48 (розташованого з боку заднього (правого на Фіг.1, 7) торця стакану 11) приварені подовжні (аксіальні) жорсткі несучі елементи 49, між якими утворені гнізда 46 для збірних магнітних полюсних елементів 44 та/або для збірок елементарних постійних магнітів 45 (наприклад, збіркою може бути один аксіальний ряд постійних магнітів 45, вмонтованих у рамку 52, як показано на Фіг.8), та/або для окремих елементарних постійних магнітів 45.

Необхідно відзначити, що рідкоземельні магніти, а саме NeFeB (неодим-залізо-бор), що є на сьогодні найкращими за співвідношенням ціни та магнітних властивостей, мають високий температурний коефіцієнт і низьку точку Кюрі (температура розмагнічування). В той же час крім нагріву магнітів від сусідніх активних частин в самому тілі магнітів виникають певні теплові втрати під дією зовнішніх гармонік магнітного поля - зубцевих, пульсацій, викликаних асиметрією системи і т.п. Тому для машин малої і середньої потужності доцільно застосовувати матеріали типу NeFeB з робочою температурою не нижче 120÷150°C. Придатними магнітами є комерційно доступні магніти типів: 33SH, 35SH, 38SH, 40SH, 42SH, 45SH, 33UH, 35UH, 38UH, 40UH, 45EH (<http://www.permanentmagnet.com>); N33S, N35S, N38S, N40S, N42S, N33U, N35U, N33E, N32A, N33A (фірма AMT&C, <http://www.NeFeB.ru>).

Величина втрат в масиві магніта 45 визначається його електропровідністю і площею пове-

рхні, на яку впливають вищі гармоніки. Тому, виходячи із технологічних (складність пресування і намагнічення) та експлуатаційних умов доцільно набирати кожен полюсний елемент 44 (без використання полюсних наконечників) із декількох окремих елементарних магнітів 45. Відсутність полюсних наконечників із магнітного матеріалу із високою магнітною проникністю означає те, що полюсні поверхні елементарних магнітів 45 утворюють поверхні магнітних полюсів (N-S на Фіг.6) полюсних елементів 44 ротора 10, які обернені до поверхонь статорів 4, 7 через робочі повітряні зазори 64, 65, як це добре видно на Фіг.1, 6, 11. Для генераторів таке "мозаїчне збирання" в одному виконанні може вестися впритул, але місця стиків (стиківі поверхні) повинні покриватися не магнітним не електропровідним теплоістійким клеєм. При цьому, доцільно, коли будь-який аксіальний шар 50 клею на стикі елементарного магніту 45 виконаний клиноподібним так, що товщина цього шару 50 на периферії ротора 10 більша ніж його товщина ближче до центральної геометричної осі 51 обертання ротора 10 (Фіг.6). Це створює конструкцію, яка гарно сприймає сили, які спрямовані до центру ротора 10. Для покращення відведення тепла від магнітів 45, краще коли клей містить наповнювач із матеріалу із високою теплопровідністю.

Для синхронних двигунів (без частотного пуску) для розгону двигуна в роторній системі для створення пускових асинхронних моментів, що перевищують гальмівний момент, створюваний системою збудження на малих швидкостях, інколи необхідно не тільки ослабити магнітну систему, але ї поміщати кожний елементарний складовий магніт в систему електропровідних рамок (із електропровідного немагнітного металу, наприклад вибраного із алюмінію, міді та їх сплавів, чи іншого подібного металу), які можуть мати вигляд простої решітки 52 (при застосуванні декількох таких рамок-решіток 52 на магнітний полюсний елемент 44, наприклад, одної рамки 52 на кожний аксіальний ряд 53 із двох елементарних магнітів 45, як показано на Фіг.8 або на кожний тангенціальний ряд 55 із чотирьох елементарних магнітів 45, показаний на Фіг.9), чи більш складної решітки 54 (при застосуванні одної такої рамки-решітки на магнітний полюсний елемент 44, який показано на Фіг.9) зокрема, типу «клітки для білки», в якій і протікатиме основний роторний струм. Якщо ці рамки (решітки) 52, 54 розраховані на пуск машини-двигуна вони можуть суттєво знизити використання матеріалів машини, тому для таких машин-двигунів краще застосовувати частотний пуск.

Аналогічна конструкція магнітних полюсних елементів 44 ротора 10 - елементарні магніти 45 в електропровідних рамках (решітках) 52, може бути доцільною і для автономних генераторів при можливих режимах роботи з несиметричним навантаженням (для гасіння зворотного поля якоря).

Доцільною є подібна збірна конструкція магнітних полюсних елементів 44 ротора 10 коли рамки (решітки) 52 виконані із міцного конструкційного немагнітного матеріалу, наприклад, високоміцної легованої сталі, титанового сплаву, армованого волокнами полімерного матеріалу тощо.

Для покращення відведення тепла від магнітів 45, краще коли решітка 52 виконана із немагнітного металу із високою теплопровідністю.

Кожен магнітний полюсний елемент 44 ротора 10 у аксіальному напрямку може бути набраний із одного елементарного магніту 45 (Фіг.7) або із щонайменше двох-чотирьох окремих елементарних магнітів 45 (Фіг.8). При цьому, усі елементарні магніти 45 можуть мати однакову довжину у аксіальному напрямку, або можуть бути застосовані елементарні магніти двох типів 45а, 45и, довжини яких у аксіальному напрямку відносяться між собою як 1:2. У другому випадку стики елементарних магнітів 45 у суміжних рядах зміщені у аксіальному напрямку за типом «цегляної кладки».

Доцільно, коли кожен магнітний полюсний елемент 44 ротора 10 у тангенціальному напрямку набраний із певної кількості (n_m) окремих елементарних магнітів 45. Причому, ця кількість повинна зменшуватись із збільшенням кількості пар полюсів (p) на один статор 4 чи 7 і збільшуватись із збільшенням потужності машини (P). Наприклад, експериментально встановлено, що кількість n_m можна визначати із математичної залежності:

$$n_m = (k_m/p) * P/100,$$

де: $k_m = 8 \div 24$ - конструктивний коефіцієнт;

p - кількість пар полюсів на один статор;

P - потужність машини у кВт.

У аксіальних 56 (тобто прямих розташованих вздовж геометричної осі 51 обертання ротора 10) та/або тангенціальних 57 (тобто дугоподібних розташованих вздовж кільця циліндричної частини стакану 11 ротора 10) елементах рамок (решіток) 52, 54 можуть бути виконані елементи 58, які призначені для покращення зчеплення шару клею (зокрема аксіального шару 50) із цими аксіальними 56 та тангенціальними 57 елементами. Зазначені засоби 58 можуть бути виконані у вигляді виступів, западин чи отворів.

Висота у радіальному напрямку аксіальних 56 та/або тангенціальних 57 елементів рамок (решіток) 52, 54 може бути виконана меншою від висоти елементарних магнітів 45 та товщини у радіальному напрямку несучих конструктивних елементів (переднього 47 та заднього 48 кілець, аксіальних несучих елементів 49) циліндричної частини стакану 11 ротора 10. При цьому, на зовнішній поверхні аксіальних несучих елементів 49 навпроти тангенціальних елементів 57 рамок (решіток) 52, 54 виконані тангенціальні западини 59, а зовнішні поверхні тангенціальних елементів 57 розташовані приблизно на рівні дна тангенціальних западин 59, таким чином, що навпроти тангенціальних елементів 57 та тангенціальних западин 59 утворюються кільцеві западини 60, призначені для розміщення в них бандажного обмотування ротора 10. Це бандажне обмотування може бути виконане високоміцним волокном або високоміцним немагнітним стальним дротом зануреним у клейову масу.

Гнізда 46 з внутрішнього боку (з боку внутрішнього статора 7) можуть мати виступи 61 пристосовані для обпирання на них периферійних аксіальних 56 та/або тангенціальних 57 елементів рамок (решіток) 52, 54. Гнізда 46 із зовнішнього боку (з боку зовнішнього статора 4) можуть мати западини 62 пристосовані для розміщення в них

прижимних планок 63, які пригвинчені чи приклепані до несучих конструктивних елементів (переднього 47 та заднього 48 кілець, аксіальних несучих елементів 49) циліндричної частини стакану 11 ротора 10.

Виходячи із технологічних і експлуатаційних умов краще, коли елементарні магніти 45 мають призматичну форму. При цьому, висоту елементарного магніту 45 у радіальному напрямку вибирають не менше його мінімального розміру у аксіальному чи тангенціальному напрямку.

Вибір абсолютного значення висоти магнітів 45 визначається економічними і експлуатаційними міркуваннями.

Знаючи розрахункову потужність P (кВт), частоту обертання n (об/мин) і вибравши (приймавши) середній діаметр ротора - D (м), визначаємо необхідну електромагнітну тангенціальну силу:

$$T = \frac{P * 103}{p * D * n / 60} (H)$$

Одиниця активної поверхні забезпечує створення електромагнітної сили

$$T_{\text{эм}} = B_{\text{ср}} * 1 * A_a (H/m^2), \text{ тобто}$$

$$S_a = \frac{P * 103}{p * D * n / 60 * B_{\text{ср}} * A_a}$$

де: $B_{\text{ср}}$ (Тл) - середня магнітна індукція в зазорі;

A_a (А/м) - лінійне активне струмове навантаження статора;

S_a (м²) - площа активної частини.

Як видно, при збільшенні індукції B , чого можна добитися за рахунок збільшення висоти магнітів, можливо або скорочення габаритів машини, або зменшення лінійного струмового навантаження, що зменшує витрату міді, втрати в якірній обмотці і зменшує внутрішній індуктивний опір приблизно в (A_1/A_2) раз. A_1 і A_2 - початкове і кінцеве лінійне струмове навантаження відповідно.

При зменшенні внутрішнього опору підвищується жорсткість зовнішньої характеристики, полегшується задача стабілізації напруги у споживача.

Враховуючи те, що магнітні матеріали відносно дорогі (їх ціна значно вище за ціну обмотувальної міді, електротехнічної сталі і конструкційних матеріалів), великої ваги набувають переваги запропонованої конструкції синхронної магнітоелектричної машини, які полягають в наступному:

по-перше, у тому, що магнітний потік, створюваний у кожній замкнутій системі двома послідовно з'єднаними магнітними полюсними елементами 44 із постійних магнітів 45, замикається якнайкоротшим шляхом через дві нерухомі активні конструкції - зовнішній 4 і внутрішній 7 статори, на яких розміщені частини 5, 8 робочої (якірної) обмотки;

по-друге, у тому, що в запропонованій конструкції виключаються будь-які пасивні частини магнітопроводу, які включені послідовно (типу ярма у відомій машині-генераторі [2] чи магнітопроводу ротора із полюсними наконечниками у відомій машині-двигуні [3]) і тільки даремно збільшують магнітний опір магнітопроводу, або які

включені паралельно і шунтують робочі частини, і які у обох випадках зменшують магнітний потік «Ф» і магнітну індукцію «В» у робочих повітряних зазорах. Це дозволяє при меншій магніторушійній силі (МРС або намагнічуючій силі) «F» постійних магнітів 45 (при меншій їх висоті і масі) одержувати більшу магнітну індукцію «В» у робочих повітряних зазорах;

по-третє, у тому, що збільшується простір для розміщення робочої (якірної) обмотки 5, 8 та за потреби інших обмоток, наприклад обмотки, що компенсує позовдожню розмагнічуючу дію реакції якорів, завдяки чому суттєво підвищуються можливості щодо застосування широкого діапазону конструктивних рішень, які якнайкраще пристосовують машину до конкретних умов її використання, та суттєво підвищуються масогабаритні показники машини (від 30 до 70%);

в-четвертих, у тому, що зростання еквівалентного немагнітного повітряного зазору ефективно використано для зменшення реакції якорів і внутрішнього індуктивного опору при тому ж рівні лінійних струмових навантажень;

по-п'яте, у тому, що така конструкція дозволяє максимально використати довжину машини;

по-шосте, у тому, що така конструкція дозволяє реалізувати простий і ефективний спосіб регулювання ЕРС машини-генератора чи обертаючого моменту машини-двигуна.

Відомо, що магнітні властивості постійних магнітів мають певну нестабільність і можуть змінюватись від одної партії до іншої, змінюватись із часом, під впливом коливань температури, зовнішніх магнітних полів, інших елементів магнітного ланцюга. Тому наявність у машині простої і надійної системи регулювання ЕРС машини-генератора чи обертаючого моменту машини-двигуна є надзвичайно важливою умовою її успішного промислового використання.

У з'єднаних послідовно першій 5 та другій 8 частинах робочої якірної обмотки машини магнітним потоком збудження «Ф₀», який створюється МРС «F₀» магнітних полюсних елементів 44 у робочих повітряних зазорах 64, 65 відповідно між магнітними полюсами (N-S на Фіг.6) ротора 10 і зовнішнім 4 та внутрішнім 7 статорами, генеруються змінні ЕРС «E₀₅» та «E₀₈». Ці ЕРС по фазі відстають від магнітного потоку збудження «Ф₀» на кут у 90 електричних градусів. Якщо зовнішній 4 та внутрішній 7 статори зміщені один відносно іншого на певний електричний кут «α_{ел}» (тобто кут у електричних градусах), то на той же кут зміщені вектори магнітного потоку «Ф₀₆₄» та «Ф₀₆₅». У відповідному зазорі 64, 65 і відповідно на той же електричний кут «α_{ел}» зміщені один відносно іншого вектори ЕРС «E₀₅» та «E₀₈» відповідно у першій 5 та другій частинах робочої якірної обмотки машини.

Таким чином, при куті α_{ел}=0 електричних градусів, вектори «E₀₅» та «E₀₈» мають один напрямок і їх скалярні величини складаються, при цьому сумарна ЕРС «E₀» у якірній обмотці машини є максимальною і визначається із формули:

$$E_{0\max} = E_{05} + E_{08}.$$

При куті α_{ел}=180 електричних градусів, вектори «E₀₅» та «E₀₈» мають протилежні напрямки і їх

скалярні величини віднімаються одна від одної, при цьому сумарна ЕРС «E₀» у якірній обмотці машини є мінімальною і визначається із формули:

$$E_{0\min} = E_{05} - E_{08}.$$

При зміні кута α_{ел} від 0 до 180 або від 360 до 180 електричних градусів сумарна ЕРС «E₀» у якірній обмотці машини буде змінюватись від максимального значення E_{0max}=E₀₅+E₀₈ до мінімального значення E_{0min}=E₀₅-E₀₈. Електричний кут «α_{ел}» зв'язаний із відповідним геометричним кутом «α» математичною залежністю:

$$\alpha_{\text{ел}} = \alpha \cdot p,$$

де: p - кількість пар полюсів на один статор.

Таким чином, наприклад, вже при p=2 (див. Фіг.6) геометричний кут «α» повороту одного із статорів 4, 7 відносно іншого статора для регулювання ЕРС є досить незначним, що не викличе істотних проблем із практичною реалізацією такого методу регулювання ЕРС.

У найпростішому випадку, коли машина-генератор призначена для використання при стабільному значенні навантаження досить у процесі випробувань встановити статори 4, 7 під необхідним углом «α», встановлюючи вісь 6, задню кришку 3 чи безпосередньо внутрішній статор 7 у необхідному фіксованому кутовому положенні так, як це описано вище.

Якщо-ж машина-генератор призначена для використання при відносно нестабільному значенні навантаження (тобто струму «I»), але при відносно стабільному cos φ навантаження, то застосовують надзвичайно просту і надійну механічну систему регулювання ЕРС 66 машини-генератора, яка представлена на Фіг.12. Ця система 66 включає в себе виконаний, наприклад, із пружинної сталі смуги, пружинний важіль 67 (пружинний елемент), перший кінець якого жорстко прикріплений до заднього кінця 39 осі 6, а другий кінець - розташований у зазорі між упорами 68, які встановлені у напрямній 69 кронштейна 70. Упори 68 пристосовані для переміщення у напрямній 69 у радіальному напрямку, позначеному стрілкою 71, і встановлення у декількох фіксованих (за допомогою гвинтів-фіксаторів 72) положеннях. Кронштейн 70 пристосований для переміщення у тангенціальному напрямку, позначеному стрілкою 73, і встановлення у декількох фіксованих (за допомогою гвинтів-фіксаторів 74) положеннях, наприклад, на зовнішній циліндричній поверхні корпусу 1. Причому, внутрішній статор 7 початковому положенні системи 66 зміщений відносно зовнішнього статора 4 у напрямку проти напрямку обертання ротора 10, позначеному стрілкою 75, на певний початковий кут «α».

Коли машина-генератор призначена для використання при відносно нестабільному значенні навантаження і при не стабільному cos φ навантаження, то застосовують досить просту і надійну електромеханічну систему регулювання ЕРС 76 машини-генератора, яка представлена на Фіг.13. Ця система 76 включає в себе черв'ячне колесо 77, яке жорстко закріплено на задньому кінці 39 осі 6 і зчеплене із черв'яком 78, жорстко встановленим на валу 79, який зв'язаний із електромеханічним приводом 80, виконаним у вигляді електро-двигуна чи мотор-редуктора відносно невеликої

потужності. Важливим, є те щоб черв'ячна передача була виконана само гальмівною. Це дозволяє не застосовувати окремого гальма для гальмування осі 6, оскільки поворот осі 6 моментом, який діє на внутрішній статор 7 від ротора, унеможливується черв'ячною передачею. Очевидно, що замість черв'ячної передачі можна використати інші само гальмівні передачі, наприклад, гвинтову передачу. Електромеханічним приводом 80 керує, наприклад, електронна система керування пристосована для реагування на відхилення напруги на електричних зажимах машини-генератора від встановленого номінального значення шляхом включення приводу 80 на обертання черв'ячного колеса 77 і відповідно осі 6 із внутрішнім статором 7 у напрямку (позначеному стрілкою 81), який потрібен для відповідного коригування кута « α » між внутрішнім 7 і зовнішнім 4 статорами.

Спосіб використання запропонованої синхронної машини, наприклад, як генератора чи двигуна очевидний із наведеного вище опису.

Що стосується функціонування механічної системи регулювання ЕРС 66 за Фіг.12, то вона працює таким чином. У процесі випробувань машини-генератора кронштейн 70 встановлюють таким, чином щоб забезпечити певний початковий кут « α », при якому у режимі холостого ходу напруга на електричних зажимах генератора відповідає заданій. Встановлюючи упори 68 на різній відстані у радіальному напрямку 71 від осі 6, досягають необхідної регульовальної характеристики системи

66, тобто необхідної залежності між кутом повороту осі 6 і величиною моменту « M », який діє на внутрішній статор 7 з боку ротора 10. Оскільки зазначений момент « M » пропорційний активній складовій « I_a » струму « I » у якорній обмотці 5, 8 машини, то відповідно із збільшенням навантаження внутрішній ротор під дією збільшеного моменту повернеться у напрямку стрілки 75 на більший кут, пересилиючи спротив пружинного важеля 67. При цьому, геометричний « α » і відповідно електричний кут « $\alpha_{ел}$ » між внутрішнім 7 і зовнішнім 4 статорами зменшиться, а сумарна ЕРС « E_o » збільшиться, що компенсує падіння напруги всередині генератора та зменшення ЕРС внаслідок розмагнічуючої дії реакції якоря і стабілізує напругу на зажимах генератора.

При необхідності, механічна система регулювання ЕРС 66 може бути скомбінована із електричною системою, яка включає в себе батареї конденсаторів, які контактним або тиристорним пристроєм автоматично включаються паралельно якорній обмотці для компенсації реактивної складової струму навантаження. Така комбінована система може бути альтернативою електромеханічній системі регулювання ЕРС 76 за Фіг.13.

Джерела інформації:

1. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. Изд 2-е, перераб. и доп. Л., «Энергия», 1974.
2. SU 1136265 A, МПК: H02K21/16, 23.01.1985.
3. US 5345133, МПК: H02K1/22, 06.09.1994.

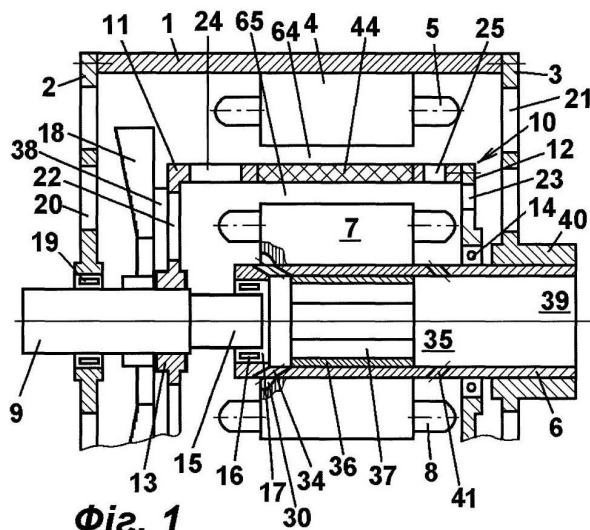


Fig. 1

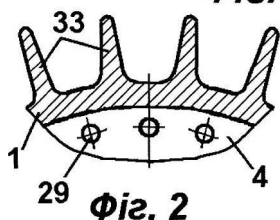


Fig. 2

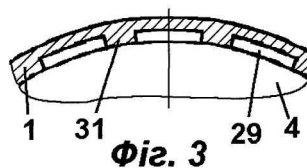


Fig. 3

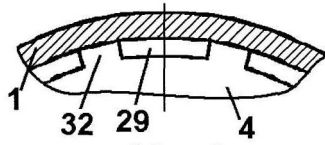


Fig. 4

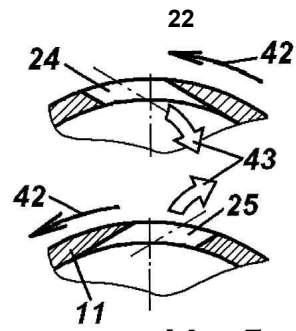


Fig. 5

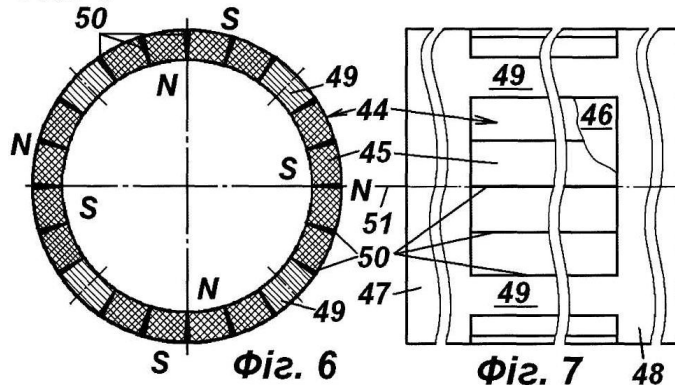


Fig. 6

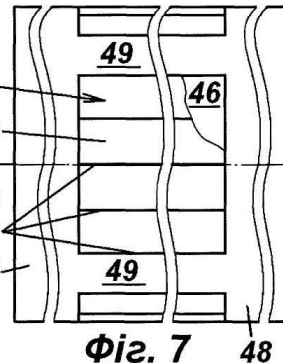


Fig. 7

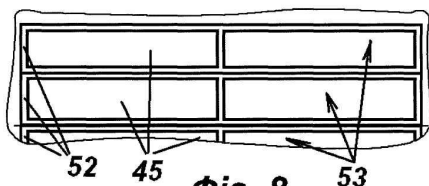


Fig. 8

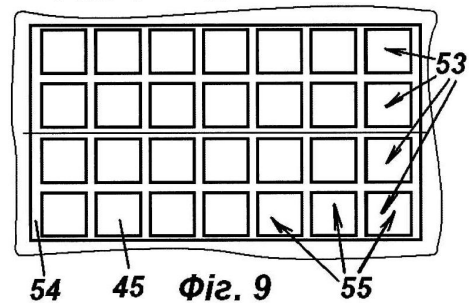


Fig. 9

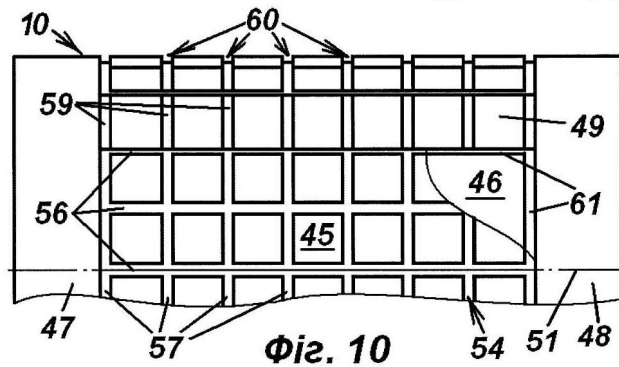


Fig. 10

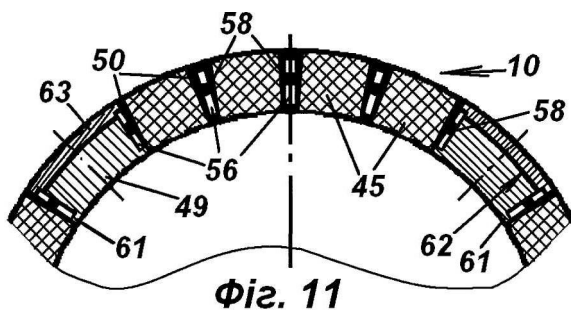


Fig. 11

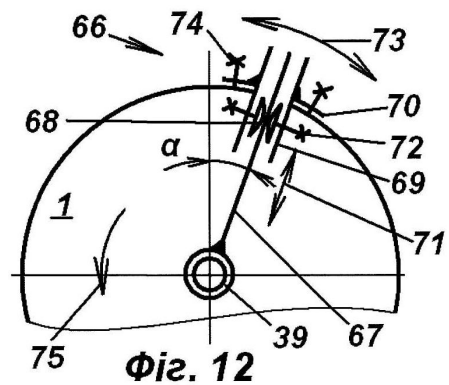


Fig. 12

