



УКРАЇНА

(19) UA (11) 31242 (13) A

(51) 6 H02K1/06, H02K1/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ШИХТОВАНИЙ СТАТОР ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ

(21) 98074013

(22) 22.07.1998

(24) 15.12.2000

(33) UA

(46) 15.12.2000, Бюл. № 7, 2000 р.

(72) Лапцевич Фелікс Феліксович

(73) АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "СКБ УКРЕЛЕКТРОМАШ"

(57) 1. Шихтований статор електричної машини, набраний з багатокутних по зовнішній поверхні пластин електротехнічної сталі, що мають основні грані та дільниці, що їх спряжують, а також пази для обмоток статора та елементів кріплення, розташованих у місцях примикання основних граней до спряжених дільниць, **відрізняється** тим, що величини максимальної ( $H_2$ ) мінімальної ( $H_1$ ) висот пластини, а також діаметру  $D_s$  спряжених дільниць задовольняють наступним співвідношенням:

$$H_2/H_1 = 1 + (0,6 \div 0,65) h_{a1} / (D_i + 2 \cdot h_z + 2 \cdot h_{a1})$$

$$D_s/H_1 = 1 + (0,8 \div 0,85) h_{a1} / (D_i + 2 \cdot h_z + 2 \cdot h_{a1})$$

де  $h_{a1}$  - мінімальна висота ярма статора,

$h_z$  - висота зубців статора,

$D_i$  - внутрішній діаметр статора.

2. Шихтований статор електричної машини по п. 1, **відрізняється** тим, що висота ярма статора у перетині, розташованому перпендикулярно напрямку прокату стрічки електротехнічної сталі, має мінімальну висоту  $h_{a1}$ .

3. Шихтований статор електричної машини по п. 1, **відрізняється** тим, що зубці статора з більшою висотою розташовуються у зоні спряження основних його граней.

4. Шихтований статор електричної машини по п. 1, **відрізняється** тим, що сусідні пластини електротехнічної сталі у статорі набрані із поворотом на кут рівний  $\pi/2$  радіан.

Передбачуваний винахід відноситься до електромашинобудування, зокрема, до виробництва електродвигунів малої та середньої потужності із підвищеними техніко-економічними показниками.

Відомі шихтовані статори електричних машин у той чи іншій мірі забезпечують певні енергетичні характеристики та матеріаломісткість, маючи у той же час недоліки, наприклад, анізотропію магнітного ланцюга, яка помітним образом виявляється у вигляді вібрацій, яка викликає підвищені втрати у конкретних конструкціях.

Так, відомий з патенту США "Laminated stator core for dynamoelectric machines" № 3783318, М.кл. H02K1/16, опубл. 1976, шихтований статор електричної машини набраний із багатокутних по зовнішній поверхні пластин електротехнічної сталі, що мають основні грані та ділянки, що їх сполучають, а також пази для обмоток статора та елементів кріплення, причому зовнішній контур пластин асиметричний відносно однієї з осей чотирикутника, а статор зібраний з окремих пакетів із чергуванням асиметрично розташованих граней.

Недоліками відомого технічного рішення по патенту США № 3783318 є: а) знижені енергетичні характеристики електричної машини у частині намагнічуючого струму, що споживається, та втрат у сталі, які викликані відсутністю симетрії у намагні-

чуванні окремих сторін асиметричного чотирикутного листа; б) підвищення матеріаломісткості статора при наявності у пластинах додаткових пазів для елементів кріплення, що є необхідною умовою для електродвигунів компресорів холодильників; в) поява локальних дільниць у ярмі статора із підвищеними питомими втратами при його виготовленні з холоднокатаної сталі.

Необхідно відзначити, що застосування холоднокатаної сталі, яка характеризується визначеною магнітною анізотропією у залежності від напрямку кута прокату, є тим не менше прогресивним рішенням із-за меншої вартості даної сталі у порівнянні з горячекатаними.

Спроба створення ізотропного у магнітному відношенні шихтованого статора електричної машини вжита у технічному рішенні відомому по а.с. СРСР № 1295482 М.кл. H02K1/06, опубл. 07.03.1987.

У відповідності із технічним рішенням по а.с. № 1295482 шихтований статор електричної машини складається з пластин електротехнічної сталі, що містять ярмо та зубці, виконані із змінною по радіусу висотою та шириною згідно з співвідношеннями:

$$\begin{aligned} h_{ai} &= h_{a\alpha} \cdot \mu_{\alpha} / \mu_i \\ b_{zi} &= b_{z\alpha} \cdot \mu_{\alpha} / \mu_i, \end{aligned} \quad (1)$$

(19) UA (11) 31242 (13) A

де:  $h_{ai}$ ,  $h_{a\alpha}$  - висота ярма у  $i$ -тому та  $\alpha$ -тому перетинах у залежності від напрямку прокату сталі;  $b_{zj}$ ,  $b_{z\alpha}$  - ширина зубців  $j$ -тому та  $\alpha$ -тому перетинах;  $\mu_{\alpha}$ ,  $\mu_i$ ,  $\mu_j$  - магнітна проникність у  $\alpha$ -тому,  $i$ -тому,  $j$ -тому перетинах, відповідно.

Недоліком такого технічного рішення є підвищена матеріаломісткість статора, із-за відсутності у зовнішньому контурі пластин граней, які його складають, що дозволяє суміщати їх при штампуванні.

Крім того, із-за різної ширини зубців заповнення пазів провідниками обмотки статора, виявляється нерівномірним, що погіршує енергетику двигуна.

Найбільш близьким до даного передбачуваного винаходу по технічній суті та кількості співпадаючих ознак є технічне рішення відоме по пат. України № 21493А, М. кл. H02K1/06 від 16.12.1997, прийняте як прототип.

У відповідності із технічним рішенням-прототипом шихтований статор електричної машини набраний з багатокутних по зовнішній поверхні пластин електротехнічної сталі, які мають основні грані та дільниці, що їх спряжують, а також пази для обмоток статора та елементів кріплення, розташованих у місцях примикання основних граней до спряжних дільниць. При цьому відношення мінімальної ( $H_1$ ) та максимальної ( $H_2$ ) висот багатокутної пластини до еквівалентних діаметрів статора ( $Da_1$ ,  $Da_2$ ) задовольняє справедливим для гарячекатаних сталей співвідношенням:

$$\begin{aligned} \cos(\pi/3n) &\geq H_1/Da_1 \geq \cos(5\pi/12n) \\ \cos(\pi/3n) &\geq H_2/Da_2 \geq \cos(5\pi/12n) \\ Da_1 &= Di + 2h_a + 2h_{z1} \\ Da_2 &= Di + 2h_a + 2h_{z2}, \end{aligned} \quad (2)$$

де:  $h_a$  - еквівалентна висота ярма статора;  $h_{z1}$ ,  $h_{z2}$  - мінімальна та максимальна висота зубців статора;  $n$  - число основних граней багатокутної пластини статора;  $Di$  - внутрішній діаметр статора.

Недоліками відомого технічного рішення є: а) відносно невисокі енергетичні характеристики електричної машини у частині намагнічуючого, що споживається, струму та втрат у сталі, що обумовлене відсутністю симетрії у намагнічуванні окремих сторін асиметрично чотирикутної пластини; б) підвищення матеріаломісткості статора при наявності у пластинах додаткових пазів для елементів кріплення; в) поява локальних дільниць у ярмі статора із підвищеними питомими втратами при його виготовленні з холоднокатаної сталі.

Задачею цього винаходу є створення шихтованого статора електричної машини із підвищеними техніко-економічними показниками у частині енергетичних параметрів та зниженої матеріаломісткості за рахунок підвищення його магнітної однорідності.

Для вирішення поставленої задачі у відомому шихтованому статорі електричної машини, набраному з багатокутних по зовнішній поверхні пластин електротехнічної сталі, які мають основні грані та дільниці, що їх спряжують, а також пази для обмоток статора та елементів кріплення, розташованих у місцях примикання основних граней до спряжних дільниць, згідно з винаходом, величини максимальної ( $H_2$ ) та мінімальної ( $H_1$ ) висот пластини, а також діаметра ( $Dc$ ) спряжних дільниць задовольняють наступним співвідношенням:

$$\begin{aligned} H_2/H_1 &= 1 + (0,6 \div 0,65) h_{a1}/(Di + 2 \cdot h_z + 2 \cdot h_{a1}) \\ Dc/H_1 &= 1 + (0,8 \div 0,85) h_{a1}/(Di + 2 \cdot h_z + 2 \cdot h_{a1}), \end{aligned} \quad (3)$$

де:  $h_{a1}$  - мінімальна висота ярма статора,  $h_z$  - висота зубців статора,  $Di$  - внутрішній діаметр статора.

При цьому, мінімальна висота ярма статора ( $h_{a1}$ ) лежить у перетині, розташованому перпендикулярно напрямку прокату стрічки електротехнічної сталі.

У випадку нерівновисоких зубців, виконаних у пластині, зубці більшої висоти розташовуються у зоні спряження основних його граней.

В окремому випадку виконання шихтованого статора він може бути набраний з пластин, кожна з яких установлена із поворотом на кут рівний  $\pi/2$  радіан.

При використанні винаходу досягається підвищення енергетичних параметрів електричної машини за рахунок вирівнювання напруженості магнітного поля в усіх активних перетинах статора та зниження матеріаломісткості статора за рахунок оптимального розкрою стрічки електротехнічної сталі та зменшення технологічних відходів.

Суттєвість вищенаведених відокремлювальних ознак стає видною з наступного доказу.

Із-за великого числа факторів, таких як, магнітна анізотропія електротехнічної сталі, її різноточинність, розташування у ярмі статора пазів та отворів для конструктивних елементів кріплення, нерівномірності розподілу магнітного потоку вздовж полюсного ділення та ін., напруженість магнітного поля у ярмі статора завжди виявляється нерівномірною, навіть якщо висота ярма статора забезпечується у ньому по умові (1):  $h_{ai} = h_{a\alpha} \cdot \mu_{\alpha} / \mu_i$ .

У той ж час, проведені дослідження показали, що для всіх марок холоднокатаних сталей характер залежностей магнітної проникності від кута напрямку прокату однаковий та відрізняється лише абсолютними значеннями. Це дає можливість із великою точністю представити залежність відносної магнітної проникності ( $\mu_{oe}$ ) від кута прокату ( $\gamma$ ) для холоднокатаних, сталей залежністю:

$$\mu_{oe}(\gamma) = (1 - \mu_{\pi/2}) \cdot e^{-k\gamma} \cdot \cos(3\gamma) + \mu_{\pi/2}, \quad (4)$$

де:  $k = 3/\pi \cdot \ln((1 - \mu_{\pi/2})/(1 - \mu_{\pi/3}))$  - показник ступеня експоненти;  $\mu_{\pi/3} = M_{\pi/3}/M_o$  - відносна магнітна проникність у напрямку  $\pi/3$  до напрямку прокату сталі;  $\mu_{\pi/2} = M_{\pi/2}/M_o$  - відносна магнітна проникність у напрямку  $\pi/2$  до напрямку прокату сталі;  $M_o$ ,  $M_{\pi/3}$ ,  $M_{\pi/2}$  - абсолютні значення магнітної проникності для відповідних напрямків прокату.

Оскільки для більшості холоднокатаних сталей  $\mu_{\pi/2} = (0,77 \div 0,75)$ , а  $\mu_{\pi/3} = 0,67$ , то  $k = 1,18$ , і залежність (4) приймає вид:

$$\mu_{oe}(\gamma) = (0,23 \div 0,25) \cdot e^{-1,18\gamma} \cdot \cos(3\gamma) + (0,75 \div 0,77). \quad (5)$$

Мінімальну висоту пластини, по якій вибирають з врахуванням допусків на штампування ширину сталевих пластин холоднокатаної сталі, можна визначити по рівнянню:

$$H_1 = Di + 2h_z + 2h_{a1}. \quad (6)$$

Тоді максимальна висота пластини з врахуванням виконання рівно напружених у магнітному відношенні перетинів ярма статора вздовж та впоперек напрямку прокату у відповідності із рівнянням (5) та умовами (1) буде:

$$H_2 = Di + 2h_z + 2h_{a1} \cdot (1,3 \div 1,33). \quad (7)$$

Діаметр спряжних дільниць, що забезпечують, у свою чергу, магнітну рівнонапруженість у пере-

тинах, що розвернуті на кути у межах  $\pi/4$  радіан по відношенню до напрямку прокату з врахуванням рівняння (5), умов (1) та різновеликості зубців виявиться рівним:

$$D_c = D_i + 2h_z + 2h_{a1} \cdot (1,4 \div 1,42). \quad (8)$$

Отримані співвідношення після нескладних перетворень, дозволяють отримати співвідношення розмірів пластини шихтованого статора, у формі рівнянь (3).

Пластини шихтованого статора, виконані із співвідношенням розмірів у відповідності з (3) можуть бути ефективно використані для подальшого підвищення магнітної ізоτροпії статора за рахунок установки їх при шихтуванні із поворотом на кут рівний  $\pi/2$ . Пластини шихтовані статора, що мають відмінні від означених у залежності (3) співвідношення розмірів, практично не дозволяють підвищити магнітну ізоτροпність статора при їхньому повороті у процесі шихтування на кут  $\pi/2$ , оскільки з залежності (5) видно, що мінімум магнітної проникності незначно змінившись по величині зміщується у зону  $\pi/4$  радіан по відношенню до напрямку прокату, замість  $\pi/3$  радіан, що мало місце раніше.

Аналіз вітчизняної та зарубіжної науково-технічної і патентної літератури не виявив технічних рішень, що є тотожними з рішенням. Це дозволяє вважати технічне рішення, задовольняючим критерію "новизна".

На думку заявника технічне рішення, яке пропонується, не є для фахівців явним, тобто воно задовольняє також критерію "винахідницький рівень".

На фігурі показана, в якості прикладу, чотирикутна пластина шихтованого статора електричної машини, що містить основні грані 1 та дільниці 2, що їх спряжують. Пластина містить пази 3 для розміщення обмоток статора, а також пази 4 та посадочні отвори 5, зроблені у пластині для розташування елементів кріплення.

Центральний кут спряження основних граней 1 у прикладі конкретної реалізації вибраний у межах  $\pi/4$  радіан, а внутрішній діаметр статора 65 мм, при цьому висота зубців  $h_z = 15$  мм, а мінімальна висота ярма у перетині, розташованому перпендикулярно напрямку прокату  $h_{a1} = 12,5$  мм.

Мінімальна висота  $H_1$  пластини статора дорівнює 120 мм, максимальна висота  $H_2$  дорівнює 128 мм, а діаметр сопрягаючих дільниць - 130 мм,

що відповідає співвідношенням, означеним у залежності (3) та формулі винаходу.

Чотирикутна пластина, що показана на фіг. 1, виробляється так: по заданому внутрішньому діаметру статора  $D_i$  з врахуванням висоти зубців  $h_z$ , а також мінімальної висоти ярма статора  $h_{a1}$  у перетині, розташованому перпендикулярно напрямку прокату, що визначається наступною залежністю:

$$H_{a1} = \Phi / (2 \cdot B) \quad (9),$$

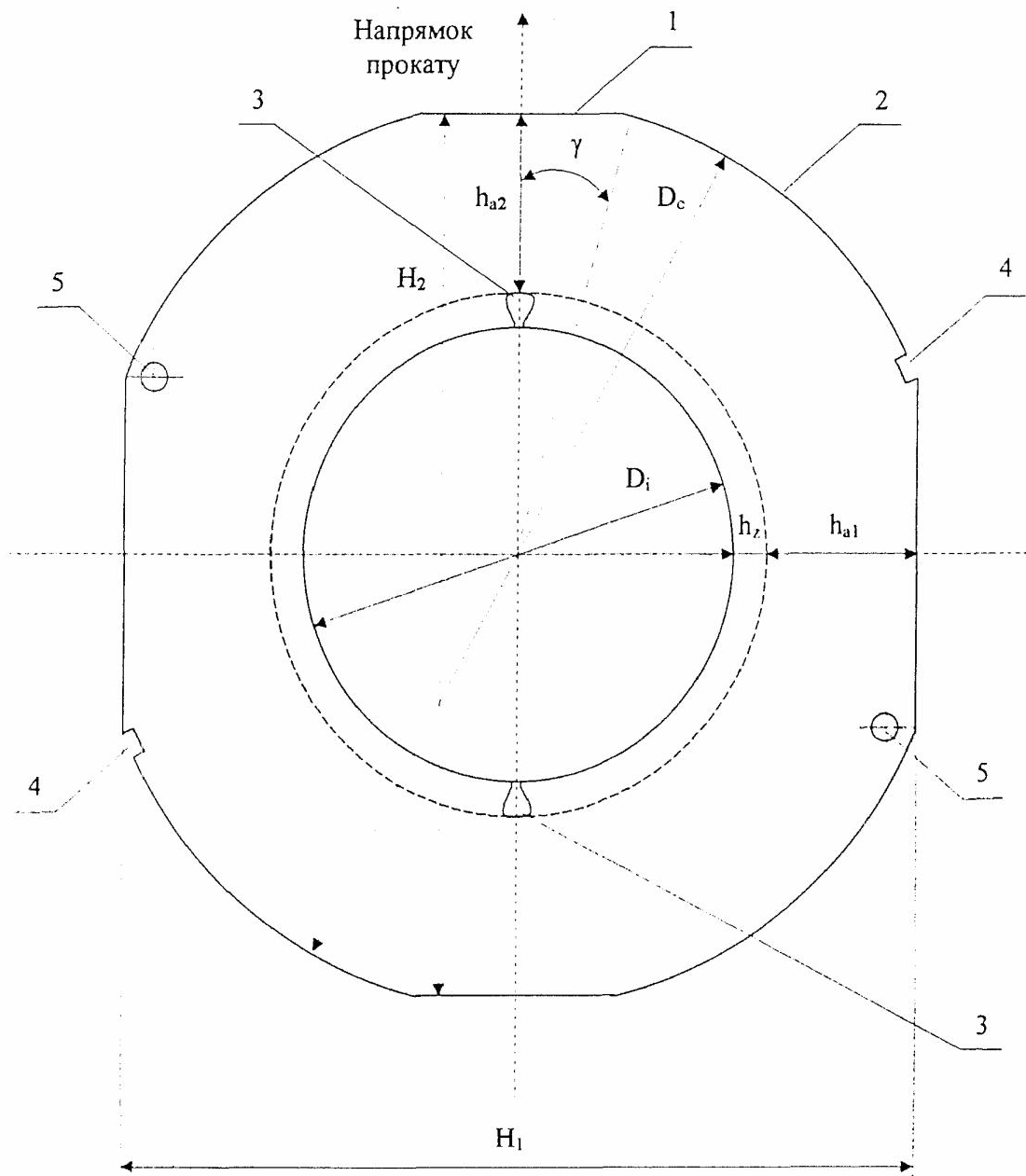
де:  $\Phi$  - величина робочого магнітного потоку;  $B$  - величина прийнятої допустимої індукції; знаходять мінімальну висоту  $H_1$  чотиригранної пластини, а після цього по рівнянню (3) максимальну її висоту  $H_2$  а також діаметр  $D_c$  сопрягаючих дільниць 2.

Статор шихтується з окремих пластин із поворотом кожної наступної на кут  $\pi/2$  відносно осей симетрії для компенсації різновеличності електротехнічної сталі та кріплюється у пакет елементами кріплення, які закладаються у пази 4. Після цього у пазах 3 розташовують робочу та пускову обмотки, у статор вводять ротор і одержаний у готовому виді електродвигун встановлюють на робоче місце із використанням посадочних отворів 5. Працює шихтований статор електричної машини, що пропонується, так. При подачі напруги на обмотки, які укладені у пази 3 статора, у обмотках виникає струм, який створює магнітний потік, потрібний для генерації Е.Р.С., здатної врівноважити прикладаєму напругу за винятком її падіння на активних та індуктивних опорах обмоток. Величина струму, що споживається, виявляється тим більшою, чим більше втрати сили намагнічування та втрати перемагнічування у ярмі статора електродвигуна. Оскільки пропонується шихтований статор вироблений із дотриманням умови рівномірної напруженості магнітного поля у межах (3-4)% від середнього на своїх окремих дільницях, то буде виконана умова мінімальності варіації:

$$\text{VAR} \{ H \, dl \rightarrow \min, \quad (10)$$

при інших рівних параметрах, що автоматично мінімізує струм намагнічування і втрати перемагнічування у статорі, що їм викликаються.

Супутніми результатами, які забезпечує шихтований статор, що пропонується, є його краща тепловіддача, за рахунок розвиненості зовнішнього контуру, а також зниження рівня магнітної вібрації та шуму, які виникають при магнітній несиметрії статора.



Фіг.

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2002 р. Формат 60x84 1/8.  
 Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
 (044) 268-25-22