



УКРАЇНА

(19) UA (11) 81804 (13) C2  
(51) МПК (2006)  
H02K 1/22  
H02K 17/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН

1

2

(21) а200510489

(22) 07.11.2005

(24) 11.02.2008

(72) ПЕТРЕНКО ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ, UA

(73) АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО "СКБ  
УКРЕЛЕКТРОМАШ", UA

(56) SU 114323, 13.01.1958

ККостенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические  
машины. - Ч. 2. - М.: Энергия, 1973. - С. 439-440.

SU 698101, 15.11.1979

RU 2035823, 20.05.1995

(57) 1. Асинхронный электродвигун, який містить зубчастий статор та ротор, набраний з листів електротехнічної сталі з напівзакритими пазами, що мають шліци, вісь кожного з яких зміщена відносно осі паза, який відрізняється тим, що величина зміщення кожного шліца не перевищує 1/8 величини зубцевого кроку ротора, шліци, що виконані у сусідніх пазах, розташовані симетрично відносно осі зубця ротора, а стрижні короткозамкненої обмотки ротора виконані з

алюмінієвого сплаву, який характеризується підвищеними міцнісними характеристиками та питомим електроопором.

2. Асинхронний электродвигун за п. 1, який відрізняється тим, що зубці статора та ротора розташовані зі скосом до твірних відповідних циліндричних поверхонь, при цьому зубці статора скошені у напрямку, протилежному скосу зубців ротора, так що сумарно скіс пазів статора та ротора не перевищує величини зубцевого кроку статора.

3. Асинхронний электродвигун за п. 1, який відрізняється тим, що за алюмінієвий сплав для короткозамкненої обмотки ротора застосований сплав АК-10.

4. Асинхронний электродвигун за п. 1, який відрізняється тим, що алюмінієвий сплав для короткозамкненої обмотки ротора додатково має добавку у вигляді феромагнітного порошку та/або магнітопровідної міді.

Винахід стосується електромашинобудування, а саме асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором, призначених для використання у високооборотних компресорах холодильних установок.

Основною проблемою зазначеного виробництва є випуск максимально надійних та економічних в експлуатації асинхронних електродвигунів, придатних для високооборотних компресорів, з максимальним відношенням їх маси до корисної потужності, з високими значеннями кратностей пускового та перекидального моментів, з низьким рівнем вібрації і шуму, а також обладнаних компактними пусковими та фазозсувними пристроями.

Відомо, що масогабаритні показники асинхронних електродвигунів та компресорів, які приводяться ними у дію, покращуються з підвищенням швидкості обертання, а показники пускових та перекидальних моментів при цьому погіршуються [див. Лопухина Е.М., Семенчуков Г.А. Проектирование асинхронных

микродвигателей с применением ЭВМ, М., Высшая школа, 1980, с.47]. Компромисом у рішенні даної проблеми є виготовлення асинхронних електродвигунів герметичних компресорів холодильних установок з підвищеним активним опором пускової обмотки (див. там же, с. 30). Відомий асинхронний электродвигун, який застосовується в компресорі холодильної установки, складається зі статора і ротора, сердечник статора набраний з листів електротехнічної сталі, в яких виконані пази неоднакової форми, і в них укладена розподілена синусна обмотка. Ротор має напівзакриті пази овальної форми та короткозамкнену обмотку типу „біляче колесо“, виконану заливкою алюмінію способом лиття під тиском. Ширина прорізу паза ротора приймається з міркувань забезпечення заливки алюмінієм у межах 0,001-0,0012м, висота - 0,005-0,007м, а величина діаметра заокруглення нижньої частини паза виконана не менш 0,002 м, також з міркувань найкращого заповнення паза алюмінієм.

(13) C2

(11) 81804

(19) UA

Недоліками відомого технічного рішення є:

- низька швидкість обертання асинхронного електродвигуна та компресора, який приводиться ним у дію ( $< 3000$  об/хв.);
- знижений коефіцієнт корисної дії унаслідок підвищеного опору пускових обмоток;
- низька технологічність виготовлення унаслідок виконання пазів різної форми та різної кількості витків обмотки;
- наявність дисбалансу та паразитних асинхронних моментів, створюваних зубцевими гармонічними магнітного поля статора, які важко компенсувати скосом пазів при малій відносній довжині ротора [див. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины, ч.2. Л., Энергия, 1973, с.82, 437-510].

Відомими є також технічні рішення, в яких для підвищення опору пускової обмотки ротора у розгінних режимах та зниження його у режимах номінальних робочих швидкостей використовується ефект витіснення струму [див. а.с. СРСР № 114323, Н. кл. 21d<sup>2</sup>, опубл. 13.01.1958 р. та а.с. СРСР № 116693, Н. кл. 21d<sup>2</sup>, опубл. 23.04.1958 р.]. Відмітною особливістю зазначених технічних рішень є те, що ротор асинхронного електродвигуна, який має короткозамкнену обмотку типу „біляче колесо“, виконаний з коротко-замикальними кільцями, розділеними в аксіальному напрямку виточками на дві частини, які утворюють пускове та робоче кільця.

Завдяки наявності виточки у період розгону електродвигуна струм проходить по зовнішній частині пускових кілець, по робочим же кільцям струм у розгінних режимах практично не протікає, що забезпечує підвищення опору пускової обмотки, а отже, збільшення пускового та перекидального моментів.

При нормальній роботі асинхронного електродвигуна з номінальною швидкістю обертання ротора частота струму в його обмотці зменшується, що забезпечує протікання струму як по пусковим, так і по робочим кільцям, що приводить до зниження витрат у роторі та збільшення коефіцієнта корисної дії електродвигуна.

Недоліками відомих технічних рішень є:

- низька швидкість обертання асинхронного електродвигуна ( $< 3000$  об/хв.) та недостатня надійність унаслідок зниженої механічної міцності короткозамикальних кілець, пов'язаної з виконанням у них проточок;
- низька технологічність виготовлення електродвигуна унаслідок наявності додаткових магнітопроводів на зовнішніх поверхнях короткозамикальних кілець, які встановлюються для посилення ефекту витіснення струму;
- наявність паразитних моментів через пульсації магнітного поля зубцевих частот, які, у деяких випадках, можуть стати причиною утворення точок провалу в механічній характеристиці асинхронного електродвигуна і викликати його „незапускання“.

Ефективним засобом зменшення пульсацій магнітного поля зубцевої частоти та паразитних

моментів, які ними викликаються, є скіс пазів ротора [див. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины, ч.2. Л., Энергия, 1973, с. 439-440]. Однак це приводить до збільшення витрат обмоткової міді та погіршення основних робочих характеристик асинхронного електродвигуна. Разом з тим, у двополюсних високооборотних асинхронних електродвигунах взагалі неможливо оптимізувати співвідношення кількості зубців статора та ротора, а також скіс його пазів [див. Шаров В.С. Сверхвысокоскоростные асинхронные двигатели, М.-Л., ГЭИ, 1983, с. 41]. Тому для зменшення пульсацій магнітного поля зубцевої частоти та паразитних моментів, що ними викликаються, використовують зменшення кількості електричних пар полюсів шляхом набору шихтованих сердечників, які мають зміщені, відносно основних електричних осей, у різні сторони пази з перевертанням листів, що шихтуються [див. а.с. СРСР №698101, М. кл. H02K3/20, опубл. 15.11.1979 р.].

Найбільш близьким до винаходу, що заявляється, обраним за прототип, є асинхронний електродвигун, який складається з зубчастого статора та ротора, набраного з листів електротехнічної сталі з напівзакритими пазами, що мають шліці, осі яких зміщені відносно осі симетрії паза у різні сторони (див. а.с. СРСР № 2035823, М. кл. H02 K 1/26, опубл. 20.05.1995 р.). Ротор набраний з парної кількості листів з напівзакритими пазами, які мають по два шліці, утворених виїмками в листах, осі яких зміщені відносно осі симетрії паза на величину, що визначається співвідношеннями, зв'язаними з величиною зубцевого кроку статора, глибиною проникнення струму, кількістю пар полюсів та зубців статора, а також шириною верхньої частини напівзакритого паза ротора.

Недоліками відомого технічного рішення є:

- низька швидкість обертання асинхронного електродвигуна ( $< 3000$  об/хв.) та недостатня надійність унаслідок зниженої механічної міцності алюмінієвих стрижнів, пов'язаної з виконанням у пазах виїмок, та значних звужень у найбільш напружених у механічному відношенні перерізах стрижня;
- низька технологічність виконання ротора при заливці алюмінієм пазів зі значним зміщенням осей виїмок від осей пазів;
- обрана форма пазів ротора (трапецієподібна), як неоптимальна для малопотужних асинхронних електродвигунів, що використовуються для компресорів холодильних установок.

В основу даного винаходу поставлена задача створення високоекономічного та надійного асинхронного електродвигуна, призначеного для високооборотного компресора, за рахунок покращення його технічних характеристик шляхом удосконалення конструкції ротора.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому асинхронному електродвигуні, який містить зубчастий статор та ротор, набраний з листів електротехнічної сталі з напівзакритими

пазами, що мають шліці, вісь кожного з яких зміщена відносно осі паза, згідно з винаходом, величина зміщення кожного шліца не перевищує  $1/8$  величини зубцевого кроку ротора, шліці, що виконані у сусідніх пазах, розташовані симетрично відносно осі зубця ротора, а стрижні короткозамкненої обмотки ротора виконані з алюмінієвого сплаву з підвищеними міцнісними характеристиками та питомим електроопором.

При обертанні ротора його зубці безперервно переміщуються відносно відкритих пазів статора, що викликає періодичні зміни індукції як у зубцях ротора, так і в зубцях статора, при збіганні ж осей зубців статора та ротора між ними виникає сила одностороннього магнітного притягання. При обертанні ротора ця сила переміщується по колу з певною частотою, викликаючи вібрації ротора, що неприпустимо для електропривода холодильних компресорів, оскільки може привести до порушення герметичності холодильного агрегату в цілому. Зазначена проблема у значній мірі загострюється при живленні асинхронного електродвигуна від перетворювача напруги підвищеної частоти, оскільки при цьому наводяться вищі гармонічні, які викликають паразитні електромагнітні моменти.

Зміщення осі кожного шліца відносно осі симетрії паза на величину, що не перевищує  $1/8$  величини зубцевого кроку ротора, та розташування шліців, виконаних у сусідніх пазах, симетрично відносно зубця ротора, за фізичною суттю близьке до зигзагоподібного скосу пазів ротора і відповідає вимогам зменшення дії найбільш помітних та небезпечних п'ятої і сьомої вищих гармонічних як тимчасових, так і помножуючих їх дію просторових гармонічних намагнічувальної сили обмотки статора, що підтверджено експериментальними дослідженнями асинхронних електродвигунів даного типу. Припускається, що виявлений ефект зменшення вищих гармонічних намагнічувальної сили обмотки статора, унаслідок зміщення осей пазів ротора відносно осей їх шліців, еквівалентний скосу пазів ротора і може характеризуватися величиною обмоткового коефіцієнта  $K_v$ .

Відомо, що обмотковий коефіцієнт  $K_u$  для вищих гармонічних від скосу пазів ротора визначається залежністю:

$$K_v = 2 \sin(\alpha_{sv}/2) / \alpha_{sv},$$

де  $\alpha_{sv}$  - центральний кут скосу пазів ротора в електричних радіанах, який визначається для V-тої гармонічної за формулою:

$$\alpha_{sv} = V \alpha_{s1},$$

при цьому  $\alpha_{s1}$  - центральний кут скосу пазів ротора в електричних радіанах, визначається для першої V-тої гармонічної у відповідності з наступною залежністю:

$$\alpha_{s1} = (2\pi p / Z_s) b_s / t,$$

де  $Z_s$  - еквівалентна кількість зубців ротора;

p - кількість пар полюсів ротора;

$b_s$  - ширина шліца ротора;

t - зубцевий крок ротора,

при цьому еквівалентна кількість зубців ротора  $Z_s$  приймається рівною половинній кількості

реальних зубців ротора, відповідно до зменшеної вдвічі, згідно з винаходом, зубцевої частоти магнітного поля ротора. При цьому центральний кут скосу пазів ротора в електричних радіанах збільшується вдвічі, що також суттєво зменшує обмотковий коефіцієнт  $K_v$ .

Збільшення величини зміщення осей шліців та пазів ротора більш як на  $1/8$  величини зубцевого кроку ротора не приводить до помітного подальшого зменшення вищих гармонічних з одного боку, а, з іншого боку, ускладнює умови якісної заливки пазів ротора алюмінієм.

Зниження паразитних моментів від вищих гармонічних, яке забезпечується за рахунок зміщення осей шліців відносно осі симетрії паза, поряд з виконанням стрижнів ротора зі сплаву з підвищеними міцнісними характеристиками та підвищеним питомим опором, забезпечує покращення технічних характеристик асинхронного електродвигуна, що дозволяє підвищити швидкість обертання асинхронного електродвигуна (до 4500-6000 об/хв.) при його живленні від перетворювача напруги підвищеної частоти.

У окремому варіанті виконання асинхронного електродвигуна зубці статора та ротора розташовані зі скосом до твірних відповідних циліндричних поверхонь, при цьому зубці статора скошені у напрямку, протилежному скосу зубців ротора, так що сумарно кут пазів статора та ротора не перевищує величини зубцевого кроку статора. При цьому виконання сердечників статора та ротора з назустріч скошеними пазами не викликає помітного збільшення довжини кожного з них, водночас сумарно забезпечується ефект скосу не менший, ніж на один крок статора.

У другому варіанті виконання асинхронного електродвигуна за алюмінієвий сплав для короткозамкненої обмотки ротора застосований сплав АК-10, що забезпечує не тільки високі міцнісні характеристики, але й в максимальній мірі ефект витиснення струму в стрижнях короткозамкненої обмотки ротора при пусках від побутового джерела живлення підвищеної частоти.

Ще в одному варіанті виконання асинхронного електродвигуна в алюмінієвий сплав, застосовуваний для короткозамкненої обмотки ротора, уведена добавка у вигляді феромагнітного порошку та/або магнітопровідної міді, що дозволяє підвищити теплову та перевантажувальну здатність електродвигуна.

Аналіз науково-технічної та патентної літератури показує, що сукупність суттєвих ознак, які характеризують суть винаходу, що заявляється, є невідомою з рівня техніки, що дозволяє зробити висновок про відповідність винаходу критерію „новизна“.

На думку заявника, суть пропонованого винаходу не витікає для спеціалістів явним чином з відомого рівня техніки, що дозволяє зробити висновок про його відповідність критерію „винахідницький рівень“.

Сукупність суттєвих ознак, які характеризують суть винаходу, може бути багаторазово

використана в електромашинобудуванні з досягненням технічного результату - підвищення надійності та зниження витрат, що дозволяє зробити висновок про відповідність винаходу критерію „промислова придатність”.

Суть винаходу пояснюється кресленнями, де на фіг.1 схематично зображено асинхронний електродвигун, подовжній переріз; на фіг.2 - аксонометричне зображення статора та ротора; на фіг.3 зображено лист ротора з пазами.

Асинхронний електродвигун містить зубчастий статор 1 та ротор 2, набраний з листів 3 електротехнічної сталі з напівзакритими пазами 4. Кожний паз 4 має шліц 5 шириною  $b_s$ , вісь якого зміщена відносно осі симетрії паза 4. Шліци 5, що виконані у сусідніх пазах 4, розташовані симетрично відносно осі зубця ротора 2, при цьому осі шліців 5 зміщені відносно осей пазів 4 на величину  $t_{cm}$ , яка не перевищує  $1/8$  величини зубцевого кроку  $t$  ротора 2. Таким чином, величина кроку  $t_1$  між сусідніми кромками шліців 5 суміжних пазів 4 відрізняється від величини кроку  $l_z$  між наступними сусідніми кромками шліців 5 суміжних пазів 4 на величину  $2t_{cm}$ . Таке розташування шліців 5 на зовнішній кромці окремого листа 3 ротора 2 забезпечує перемінне чергування зазначених кроків  $t_1$  і  $t_2$  уздовж кола листа 3 ротора 2 і, відповідно, по його циліндричній поверхні.

Стрижні 6 короткозамкненої обмотки ротора 2 виконані з алюмінієвого сплаву АК-10, який характеризується підвищеними міцнісними характеристиками та високим питомим опором. В окремому варіанті виконання в алюмінієвий сплав обмотки ротора 2 уведена добавка у вигляді феромагнітного порошку та/або магнітопровідної міді, що забезпечує підвищення теплової і переважувальної здатності електродвигуна.

Зубці статора 1 та ротора 2 розташовані зі скосом (під кутом  $\alpha$ ) до твірних відповідних циліндричних поверхонь, при цьому зубці статора 1 скошені у напрямку, протилежному скосу зубців ротора 2, так що сумарно ксіс пазів статора 1 та ротора 2 не перевищує величини зубцевого кроку статора 1. У пазах статора 1 розташована трьохфазна обмотка 7.

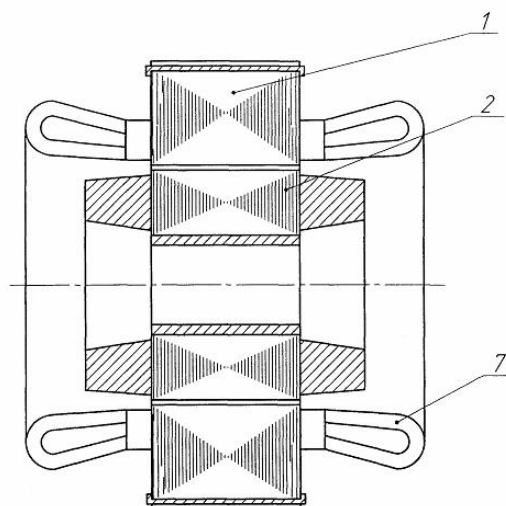
Працює пропонуванй асинхронний електродвигун наступним чином.

При подачі напруги на трьохфазну обмотку 7 статора 1 електродвигуна ротор 2 починає обертатися відносно статора 1, що змонтований як одне ціле з високооборотним компресором (на кресленнях не показаний). Під час запуску струм, який протікає у стрижнях 6 короткозамкненої обмотки ротора 2, розміщеної у напівзакритих пазах 4, інтенсивно витісняється з дна пазів 4 до периферії листа 3, тобто до зовнішніх шарів, розташованих ближче до циліндричної поверхні ротора 2. При цьому ефект витіснення струму зростає зі збільшенням питомого опору матеріалу заливки пазів 4, що забезпечується застосуванням алюмінієвого сплаву АК-10, та збільшенням частоти живильної напруги.

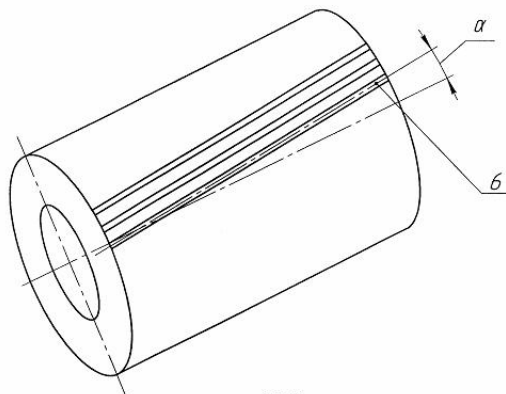
Зміщення осі шліців 5 відносно осі симетрії паза 4 на величину, яка не перевищує  $1/8$  величини зубцевого кроку  $t$  ротора 2, дозволяє

зменшити дію вищих гармонічних намагнічувальної сили обмотки статора 1. Вищі гармонічні, що наводяться високочастотним джерелом живлення, у значній мірі послаблюються за рахунок зменшення обмоткових коефіцієнтів  $K_v$ , що досягається у результаті зміщення осей шліців 5 відносно осей симетрії пазів 4 на величину  $t_{cm}$ . Таким чином, забезпечується максимально можливий еквівалентний електричний опір ротора 2, що, відповідно, приводить до максимально можливого пускового моменту, необхідного для приводу високооборотних компресорів холодильних установок згідно з умовами експлуатації. Також перемінне чергування кроків  $t_1$  і  $t_2$ , які визначають місцезнаходження пазів 5 відносно кола листа 3 ротора 2, дозволяє зменшити паразитні моменти електродвигуна, його вібрацію та магнітні шуми, що має важливе значення для побутових електродвигунів.

Пропонований асинхронний електродвигун дозволяє оптимізувати процес формування пускових та робочих характеристик, що забезпечує підвищення його надійності, зменшення матеріалоемності та енергоемності.



Фиг. 1



Фиг. 2

