

КОСЕНКОВ В.Д.

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0001-7463-3028>e-mail: vladimirkosenkov@ukr.net

ІВЛЕВ Д.А.

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-9938-9321>e-mail: ivlevd@op.edu.ua

ВИНАКОВ О. Ф.

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-6630-8986>e-mail: afvinakov@gmail.com

САВЬОЛОВА Е. В.

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9266-9323>e-mail: savolova.ev@opu.ua

ЧЕПОВСЬКИЙ І.В.

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0009-0009-7468-236X>e-mail: ivanchepovskiy24@gmail.com

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ З БЕЗОБМОТКОВИМ РОТОРОМ

Електрична машина постійного струму з безобмотковим ротором (МПСБР) значно відрізняється від класичної машини постійного струму, її магнітна система не має спільного ярма і складається з ряду магнітно-незв'язаних зубців та пазів, відкритих з обох боків. Секції обмотки якоря укладаються із частковим зсувом на величину полюсного розподілу τ . Цим забезпечується односпрямованість результуючого магнітного потоку, що пронизує секцію обмотки якоря, та збереження електромагнітного моменту заданого знаку.

Наявність пазів, у яких відсутнє дно, створює ряд повітряних проміжків, що призводить до зниження магнітної провідності магнітопроводу в поперечному напрямку, а це, у свою чергу, призводить до послаблення поля реакції якоря Ф_я і відмови від додаткових полюсів та компенсаційної обмотки. Отже, величину робочого повітряного проміжку можна зменшити до мінімально можливої величини з технологічної точки зору.

Конструкція МПСБР дозволяє: різко послабити поперечну реакцію якоря і довести переважувальну здатність по струму КІ до 5÷7; значно (до 30%) скоротити витрати обмотувальної міді за рахунок відсутності додаткових полюсів та компенсаційної обмотки; істотно покращити умови тепловідведення; поліпшити енергетичні показники. Маса ротора МПСБР у 3÷5 разів менше, ніж у класичного двигуна, пропорційно зменшиться і момент інерції.

Технологія виготовлення таких електричних машин значно відрізняється від технології виготовлення класичних машин постійного струму. Основну технологічну складність у такій електричній машині викликає процес монтажу секцій обмотки якоря. Для вирішення цієї проблеми пропонується змінити порядок збирання статора МПСБР: спочатку обмотки, потім магнітна система.

Обмотки збираються на спеціальному шаблоні й компаундуються. Після того, як вони стануть монолітними, шаблон звільняється, а на його місце вставляються зубці магнітної системи. Такий підхід дозволяє повністю автоматизувати процес складання МПСБР, скоротити час виготовлення такої електричної машини та суттєво збільшити її надійність.

Ключові слова: технологія виготовлення, машина постійного струму, секції обмотки якоря, надійність

Volodymyr KOSENKOV

Khmelnitskyi National University

Dmytro IVLIEV, Oleksandr VYNAKOV, Elvira SAVOLOVA, Ivan SHEPOVSKIY

Odessa Polytechnic National University

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF MANUFACTURING OF ELECTRIC DIRECT CURRENT MACHINES WITH WINDING-FREE ROTOR

A direct current electric machine with a winding-free rotor (DCWFR) is significantly different from a classic direct current machine, its magnetic system does not have a common yoke and consists of a series of magnetically uncoupled teeth and grooves, open on both sides. Sections of the armature winding are laid with a partial shift by the value of the pole distribution τ . This ensures the unidirectionality of the resulting magnetic flux penetrating the section of the armature winding, and the preservation of the electromagnetic moment of the given sign.

The presence of grooves in which there is no bottom creates a number of air gaps, which leads to a decrease in the magnetic conductivity of the magnetic conductor in the transverse direction, and this, in turn, leads to a weakening of the reaction field of the F_a armature and the rejection of additional poles and compensation winding. Therefore, the size of the working air gap can be reduced to the minimum possible value from a technological point of view.

The design of the DCWFR allows: to sharply weaken the transverse reaction of the armature and to bring the current overload capacity КІ up to 5÷7; significantly (up to 30%) reduce the cost of winding copper due to the absence of additional poles and compensating

winding; to significantly improve heat removal conditions; improve energy performance. The mass of the DCWFR rotor is 3÷5 times less than that of a classic engine, and the moment of inertia will decrease proportionally.

The manufacturing technology of such electric machines is significantly different from the manufacturing technology of classical direct current machines. The main technological complexity in such an electric machine is caused by the installation process of the armature winding sections. To solve this problem, it is proposed to change the assembly order of the DCWFR stator: first the windings, then the magnetic system.

The windings are assembled on a special template and compounded. After they become monolithic, the template is released, and the teeth of the magnetic system are inserted in its place. This approach makes it possible to fully automate the assembly process of DCWFR, reduce the manufacturing time of such an electric machine and significantly increase its reliability.

Key words: manufacturing technology, DC machine, armature winding sections, reliability

Постановка проблеми

Технологія виготовлення машини постійного струму з безобмотковим ротором (МПСБР) дуже проста за винятком однієї операції, а саме укладання секцій обмотки якоря. Для збереження електромагнітного моменту заданого знаку секції обмотки якоря в МПСБР укладаються із частковим зсувом на величину полюсного розподілу τ . Автоматизація такої операції може спричинити значні технологічні труднощі.

Вирішення цієї проблеми дозволяє повністю автоматизувати процес збирання МПСБР, скоротити час виготовлення такої електричної машини та суттєво збільшити її надійність.

Основні результати

Конструкція МПСБР (рис. 1,2) не має спільного ярма і складається з ряду магнітно-незв'язаних зубців Ш-подібної форми 1, між якими укладено секції обмотки якоря 2, обмоток збудження 3, безобмоткових полюсів 4 і немагнітних дисків 5 [1,2,3,4,5]. Наявність відкритих з обох боків пазів між зубцями статора створює ряд повітряних проміжків, що призводить до зниження магнітної провідності магнітопроводу в поперечному напрямку, що, у свою чергу, призводить до послаблення поля реакції якоря Ф_{ря} (рис. 2) і відмови від додаткових полюсів та компенсаційної обмотки.

Конструкція МПСБР дозволяє:

1. Різко послабити поперечну реакцію якоря і довести перевантажувальну здатність струму $K_I = I_{доп} / I_n$ до 5÷7.
2. Значно (до 30%) скоротити витрати обмотувальної міді за рахунок відсутності додаткових полюсів та компенсаційної обмотки.
3. Істотно покращити умови тепловідведення.
4. Поліпшити енергетичні показники. Маса ротора МПТБР у 3÷5 разів менше, ніж у класичного двигуна, пропорційно зменшиться і момент інерції.

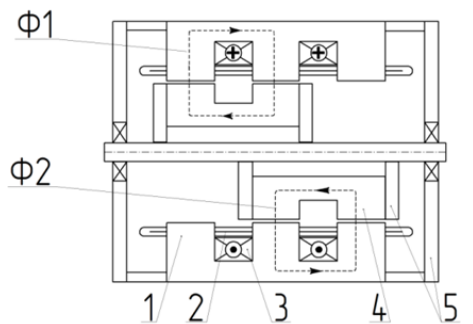


Рис. 1. МПСБР поздовжній розріз

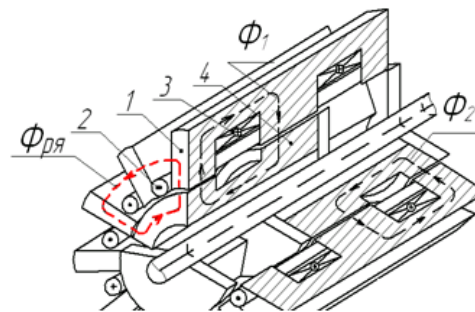


Рис. 2. Послаблення поля реакції якоря у МПСБР

Статор МПСБР складається з окремих зубців (рис.3), закріплених у двох алюмінієвих зубцевих гребінках 1 (рис.4). Зубці можуть бути двох видів: прямокутні та трапецієподібні. Більш технологічними, з меншим числом відходів при штампуванні є прямокутні зубці. Зубцевий пакет формується з окремих листів електротехнічної сталі (рис.3,4), пресується та фіксується заклепками.



Рис.3. Зубцевий лист електротехнічної сталі МПСБР

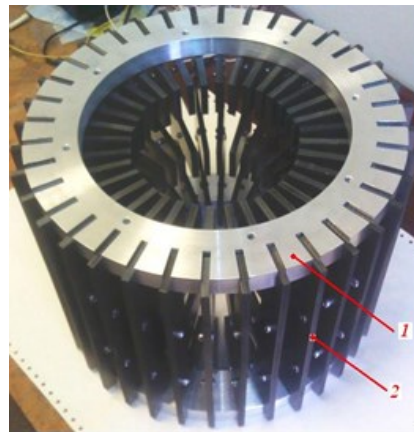


Рис.4. Статор МПСБР:1 – зубцева гребінка, 2 – зубець

Обмотки збудження намотуються окремо, ізолюються й укладаються в статор. Після остаточного формування магнітної системи статор бандажується алюмінієвими стяжками, потім починається укладка обмотки якоря у пази статора (рис.5). Прямокутні зубці утворюють трапецієподібний паз, у якому добре фіксується клин. Ротор складається з алюмінієвого вала 1 та алюмінієвих полюсних гребінок 2, у яких фіксуються сталеві полюси 3 (рис.6).



Рис.5. Укладка обмотки якоря МПСБР

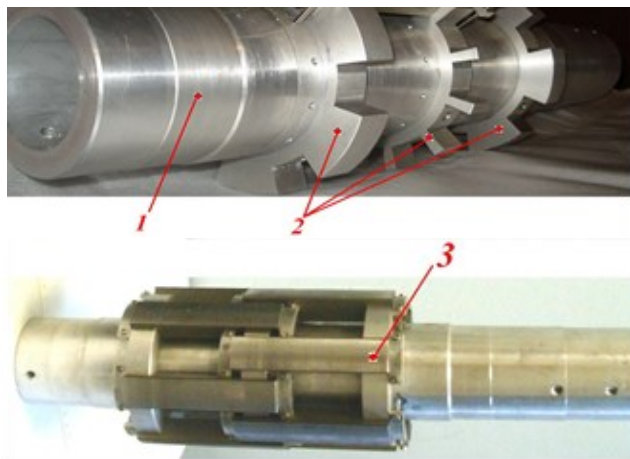


Рис.6. Ротор МПСБР

Більшість операцій по збиранню статора МПСБР можуть бути легко автоматизовані, за винятком операції укладки обмотки якоря, яка потребує попереднього згинання секцій обмоток на шаблоні (рис.7).

Але й ця операція може бути автоматизована, якщо змінити порядок збирання статора МПСБР: спочатку обмотки, потім магнітна система. Обмотки збираються на спеціальному шаблоні й компаундуються (рис.8). Після того, як вони стануть монолітними, шаблон звільняється, а на його місце вставляються зубці магнітної системи (рис.9).



Рис.7. Обмотка якоря



Рис.8. Обмотки якоря й збудження



Рис.9. Зубці статора

Збирання МПСБР за вдосконаленою методикою дозволило суттєво полегшити процес збирання, скоротити трудовитрати та час.

Висновки

Удосконалення технології збирання електричних машин постійного струму з безобмотковим ротором дозволяє створити повністю автоматизований процес виготовлення електричних машин даного типу, внаслідок чого вартість подібних електричних машин може бути суттєво знижена.

Література

1. Патент України № 104943, Україна, МПК(2006.01) H02K29/06. Електрична машина бііндукторного типу / О. А. Андрищенко, В. В. Булгар, А. О. Бойко, А. Д. Івлєв, Д. А. Івлєв, О. В. Яковлев, В. Д. Косенков // – а201211580, заявл.08.10.2012; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6.
2. Патент України № 95429, Україна, МПК(2011.01) H02K19/06 (2006.01). Торцева електрична машина бііндукторного типу / В. В. Булгар, А. Д. Івлєв, Д. А. Івлєв, О. В. Яковлев, В. Д. Косенков// – а201014458, заявл.03.12.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14
3. 20. Патент України № 90574, МПК (2009), H02K 29/06. Електричний двигун постійного струму з комбінованим збудженням / В.В. Булгар, А.Д. Івлєв, О.В. Яковлев, Фам Суан Вионг// - а200809463, заявл.21.07.2008, опубл.11.05.2010, Бюл.№9.
4. Патент України № 89072, МПК (2009) H02K 21/12. Торцевий електричний двигун постійного струму з комбінованим збудженням /В.В. Булгар, А.Д. Івлєв, Д.А. Івлєв, О.В. Яковлев// - а200708842, заявл.31.07.2007, опубл.25.12.2009, Бюл.№24.
5. Івлєв Д. А. Низькошвидкісний генератор постійного струму з безобмотковим ротором для вітроенергетичної установки [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.09.01 "Електричні машини і апарати" / Івлєв Дмитро Анатолійович – Одеса, 2019. – 21 с.

References

1. Patent Ukrainy № 104943, Ukraina, MPK(2006.01) N02K29/06. Elektrychna mashyna biinduktornoho typu / O. A. Andriushchenko, V. V. Bulhar, A. O. Boiko, A. D. Ivliev, D. A. Ivliev, O. V. Yakovlev, V. D. Kosenkov // – а201211580, zaiavl.08.10.2012; opubl. 25.03.2014, Biul. № 6.
2. Patent Ukrainy № 95429, Ukraina, MPK(2011.01) N02K19/06 (2006.01). Tortseva elektrychna mashyna biinduktornoho typu / V. V. Bulhar, A. D. Ivliev, D. A. Ivliev, O. V. Yakovlev, V. D. Kosenkov// – а201014458, zaiavl.03.12.2010; opubl. 25.07.2011, Biul. № 14
3. 20. Patent Ukrainy № 90574, MPK (2009), NO2K 29/06. Elektrychnyi dvyhun postiinoho strumu z kombinovanyim zbudzhenniam / V.V. Bulhar, A.D. Ivliev, O.V. Yakovlev, Fam Suan Vyonh// - а200809463, zaiavl.21.07.2008, opubl.11.05.2010, Biul.№9.
4. Patent Ukrainy № 89072, MPK (2009) NO2K 21/12. Tortsevyi elektrychnyi dvyhun postiinoho strumu z kombinovanyim zbudzhenniam /V.V. Bulhar, A.D. Ivliev, D.A. Ivliev, O.V. Yakovlev// - а200708842, zaiavl.31.07.2007, opubl.25.12.2009, Biul.№24.
5. Ivliev D. A. Nyzkoshvydkisnyi henerator postiinoho strumu z bezobmotkovym rotorom dlia vitroenerhetychnoi ustanovky [Tekst] : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.09.01 "Elektrychni mashyny i aparaty" / Ivliev Dmytro Anatoliiovych – Odesa, 2019. – 21 s.