

DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2020.02.028>

УДК 621.313.8

ЕЛЕКТРИЧНА МАШИНА З ОСЬОВИМ МАГНІТНИМ ПОТОКОМ, ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ І БАГАТОШАРОВИМИ ДРУКОВАНИМИ ОБМОТКАМИ

Журнал	Технічна електродинаміка
Видавник	Інститут електродинаміки Національної академії наук України
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Випуск	№ 2, 2020 (березень/квітень)
Сторінки	28 – 35

Автори

В.В. Гребеніков^{1*}, докт. техн. наук, **Р.В. Гамалія**¹, канд. ф-мат. наук, **А.Н. Соколовський**

2

¹-Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,
e-mail: elm1153@gmail.com

²-ДП «Гальванотехніка» ПАО «Київський завод «Радар» вул. Предславинська, 35, Київ,
03150, Україна, e-mail: a.sokolovskyi.72@gmail.com

* ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0002-1114-1218>

Застосування друкованих обмоток в електричних машинах з постійними магнітами і осьовим магнітним потоком дозволяє зменшити їхній осьовий розмір і суттєво збільшити щільність струму в обмотках. Експериментальні дослідження друкованих обмоток на нагрівання підтвердили, що при щільності струму $J = 22 \text{ А/мм}^2$ усталена температура друкованих обмоток не перевищує 80°C . Для заданих розмірів електричної машини з осьовим магнітним потоком, постійними магнітами і багатошаровими друкованими обмотками (зовнішній діаметр статора, осьова довжина статора) проведені чисельні дослідження і визначена оптимальна товщина постійних магнітів, при якій досягається максимальне значення електромагнітного моменту. Також у результаті чисельних досліджень встановлено, що наявність зубців на статорі дає змогу збільшити

електромагнітний момент електричної машини приблизно на 25% в порівнянні з варіантом магнітної системи без зубців на статорі. Виготовлено дослідний зразок електричної машини з багатошаровими друкованими обмотками і визначено залежності напруги і потужності в генераторному режимі при підключенні обмоток через діодний міст випрямляча до активного навантаження. Розрахункова модель генератора адекватно описує фізичну модель. Розбіжність між розрахунковими і експериментальними значеннями не перевищує $\varepsilon=5.5\%$. Розрахунок характеристик досліджуваних генераторів проводиться в пакетах програм Simcenter MagNet і Simcenter MotorSolve.

Бібл. 10, рис. 7, табл. 1.

Ключові слова: постійні магніти, друковані обмотки, електромагнітний момент, зовнішні характеристики, експериментальний зразок.

Надійшла 10.01.2020
Підписано до друку 26.02.2020

УДК 621.313.8

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА С ОСЕВЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ, ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ И МНОГОСЛОЙНЫМИ ПЕЧАТНЫМИ ОБМОТКАМИ.

Журнал	Технічна електродинаміка
Издатель	Институт электродинамики Национальной академии наук Украины
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Выпуск	№ 2, 2020 (март/апрель)
Страницы	28 – 35

Авторы

В.В. Гребеников¹, докт. техн. наук, **Р.В. Гамалея**¹, канд. ф-мат. наук, **А.Н. Соколовский**

2

¹-Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина,
e-mail: elm1153@gmail.com

²-ГП «Гальванотехника» ПАО «Киевский завод «Радар»
ул. Предславинская, 35, Киев, 03150, Украина,
e-mail: a.sokolovskyi.72@gmail.com

Применение печатных обмоток в электрических машинах с постоянными магнитами и осевым магнитным потоком позволяет уменьшить их осевую размер и существенно увеличить плотность тока в обмотках. Экспериментальные исследования печатных обмоток на нагрев подтвердили, что при плотности тока $J = 22 \text{ А/мм}^2$ установившаяся температура печатных обмоток не превышает 80°C . Для заданных размеров электрической машины с осевым магнитным потоком, постоянными магнитами и многослойными печатными обмотками (наружный диаметр статора, осевая длина статора) проведены численные исследования и определена оптимальная толщина постоянных магнитов, при которой достигается максимальное значение электромагнитного момента. Также в результате численных исследований установлено, что наличие зубцов на статоре позволяет увеличить электромагнитный момент электрической машины примерно на 25% по сравнению с вариантом магнитной системы без зубцов на статоре. Изготовлен опытный образец электрической машины с многослойными печатными обмотками и определены зависимости напряжения и мощности в генераторном режиме при подключении обмоток через диодный мост выпрямителя к активной нагрузке. Расчетная модель генератора адекватно описывает физическую модель. Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями не превышает $\varepsilon = 5.5\%$. Расчет характеристик исследуемых генераторов проводится в пакетах программ Infolytica MotorSolve и Magnet.

Библ. 10, рис. 7, табл. 1.

Ключевые слова: постоянные магниты, печатные обмотки, электромагнитный момент, внешние характеристики, экспериментальный образец.

Поступила 10.01.2020
Підписано в печать 26.02.2020

Роботу виконано за бюджетною темою «Розвиток наукових основ і розробка принципів побудови електромеханічних перетворювачів енергії з постійними магнітами та магнітними редукторами». Номер державної реєстрації № 7/7/3-135 від 25.04.2019.

Література

1. Yan G., L. Hsu, J. Wang, M. Tsai and Wu X. Axial-Flux Permanent Magnet Brushless Motor for Slim Vortex Pumps. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2009. Vol. 45. No 10. Pp. 4732-4735. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2022499>
2. Wu J. Design of a miniature axial flux flywheel motor with PCB winding for nanosatellites. *International Conference on Optoelectronics and Microelectronics*. Changchun. China. 23-25 Aug. 2012. Pp. 544-548. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICoOM.2012.6316334>
3. Tsai M. and Hsu L. Design of a Miniature Axial-Flux Spindle Motor With Rhomboidal PCB Winding. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2006. Vol. 42. No 10. Pp. 3488-3490. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2006.879438>
4. Jang G. H. and Chang J. H. Development of an axial-gap spindle motor for computer hard disk drives using PCB winding and dual air gaps. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2002. Vol. 38. No 5. Pp. 3297-3299. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2002.802292>
5. Ying-Chi Chuo, Chien-Chang Wang, Chien-Sheng Liu, Hsing-Cheng Yu, Yu-Hsiu Chang and Ji-Bin Horng. Development of a miniature axial-field spindle motor. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2005. Vol. 41. No 2. Pp. 974-976. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2004.842139>
6. Neethu S., Nikam S. P., Singh S., Pal S., Wankhede A. K. and Fernandes B. G. High-Speed Coreless Axial-Flux Permanent-Magnet Motor With Printed Circuit Board Winding. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2019. Vol. 55. No 2. Pp. 1954-1962. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2018.2872155>
7. Wang X., Li C. and Lou F. Geometry Optimize of Printed Circuit Board Stator Winding in Coreless Axial Field Permanent Magnet Motor. 2016. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*. 2016. Hangzhou.

Pp. 1-6. DOI:

[https://doi.org/](https://doi.org/10.1109/VPPC.2016.7791695)

[10.1109/VPPC.2016.7791695](https://doi.org/10.1109/VPPC.2016.7791695)

8. Marignetti F., Volpe G., Mirimani S. M. and Cecati C. Electromagnetic Design and Modeling of a Two-Phase Axial-Flux Printed Circuit Board Motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2018. Vol. 65. No 1. Pp.

67-76. DOI:

[https://doi.org/](https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2716865)

[10.1109/TIE.2017.2716865](https://doi.org/10.1109/TIE.2017.2716865)

9. ThinGap high power density brushless motors. URL: <https://www.thingap.com/>

10. Dobzhanskyi O., Hossain E., Amiri E., Gouws R., Grebenikov V., Mazurenko L., Pryjmak M. and Gamaliia R. Axial-Flux PM Disk Generator with Magnetic Gear for Oceanic Wave Energy Harvesting. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. Pp. 44813-44822. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2908348>

[PDF](#)



Цей твір ліцензовано на умовах [Ліцензії Creative Commons Із Зазначенням Авторства — Некомерційна — Без Похідних 4.0 Міжнародна](#).