

DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.054>

УДК 621.313.33

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ ПРОТИ-ЕРС ХОЛОСТОГО ХОДУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО СИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ ПРЯМОГО ПУСКУ**

Журнал	Технічна електродинаміка
Видавник	Інститут електродинаміки Національної академії наук України
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Випуск	№ 5, 2019 (вересень/жовтень)
Сторінки	54 – 59

**Автори****Hongbo Qiu, Yong Zhang, Cunxiang Yang, Ran Yi**

School of Electrical and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry,  
Dongfeng Road No. 5, 450002, Zhengzhou, China,  
e-mail: zhangxiaoyong1989@gmail.com

*При застосуванні методу скінченних елементів для розрахунку проти-ЕРС холостого ходу високовольтного синхронного двигуна з постійними магнітами прямого пуску (HV-LS-PMSM) вибір фактичної і ефективної довжини сердечника статора призводить до різних результатів розрахунку. Наведено приклад точного визначення зворотної ЕРС холостого ходу двигуна з вентиляційними каналами. Як прототип для реалізації кінцево-елементної моделі обраний двигун потужністю 1000 кВт, 10 кВ. Коректність моделі підтверджена аналітичним шляхом. Перш за все на основі фактичної довжини сердечника статора розглядаються 2D і 3D кінцево-елементні моделі без вентиляційних каналів. Різниця між цими моделями визначається шляхом обчислення проти-ЕРС холостого ходу. Потім ефективна довжина сердечника статора 2D моделі визначається по різниці розрахункових значень ЕРС холостого ходу для моделей фактичної довжини. Нарешті розглядається 3D кінцево-елементна модель з вентиляційними каналами, аналізується вплив вентиляційних каналів на проти-ЕРС холостого ходу. Таким чином, у статті представлено метод розрахунку проти-ЕРС холостого ходу для кінцево-елементної*

*2D моделі, що спрощує розрахунковий процес і підвищує ефективність проектування двигуна. Бібл. 14, рис. 6, табл. 2.*

**Ключові слова:** постійний магніт; синхронний двигун; метод кінцевих елементів; зворотна ЕРС без навантаження; фактична довжина і ефективна довжина сердечника статора; граничний ефект.

Надійшла	04.03.2019
Остаточний варіант	24.05.2019
Підписано до друку	01.08.2019

УДК 621.313.33

## **МЕТОД РАСЧЕТА ПРОТИВО-ЭДС ХОЛОСТОГО ХОДА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ ПРЯМОГО ПУСКА**

Журнал	Технічна електродинаміка
Издатель	Институт электродинамики Национальной академии наук Украины
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Выпуск	№ 5, 2019 (сентябрь/октябрь)
Страницы	54 – 59

**Автори**

**Hongbo Qiu, Yong Zhang, Cunxiang Yang, Ran Yi**

School of Electrical and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry,  
Dongfeng Road No. 5, 450002, Zhengzhou, China,  
e-mail: zhangxiaoyong1989@gmail.com

*При применении метода конечных элементов для расчета против-ЭДС холостого хода высоковольтного синхронного двигателя с постоянными магнитами прямого пуска (HV-LS-PMSM) выбор фактической и эффективной длины сердечника статора приводит к различным результатам расчета. Приведен пример точного определения обратной ЭДС холостого хода двигателя с вентиляционными каналами. В качестве прототипа для реализации конечно-элементной модели выбран двигатель мощностью 1000 кВт, 10 кВ. Корректность модели подтверждена аналитическим путем. Сначала на основе фактической длины сердечника статора рассматриваются 2D и 3D конечно-элементные модели без вентиляционных каналов. Различие между этими моделями определяется путем вычисления против-ЭДС холостого хода. Затем эффективная длина сердечника статора 2D модели определяется по разнице расчетных значений ЭДС холостого хода для моделей фактической длины. Наконец рассматривается 3D конечно-элементная модель с вентиляционными каналами, анализируется влияние вентиляционных каналов на против-ЭДС холостого хода. Таким образом, в статье представляется метод расчета против-ЭДС холостого хода для конечно-элементной 2D модели, что упрощает расчетный процесс и повышает эффективность проектирования двигателя. Библ. 14, рис. 6, табл. 2.*

**Ключевые слова:** постоянный магнит; синхронный двигатель; метод конечных элементов; обратная ЭДС без нагрузки; фактическая длина и эффективная длина сердечника статора; предельный эффект.

Поступила	04.03.2019
Окончательный вариант	24.05.2019
Подписано в печать	01.08.2019

## Література

1. Aliabad A.D., Ghoroghchian F. Design and Analysis of a two-speed line start synchronous motor: scheme one. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2016. No 1. Pp. 366-372. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEC.2015.2481929>
2. Ding T., Takorabet N., Sargos F., Wang X. Design and analysis of different line-start PM synchronous motors for oil-pump applications. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2009. No 3. Pp. 1816-1819.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2009.2012772>
3. Grebenikov V.V., Priymak M.V. Design of the electric motor with permanent magnets for electric vehicle according the driving cycle. *Technical Electrodynamics*. 2018. No 5. Pp. 65-68.  
DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.05.065>
4. Huang W., Bettayeb A., Kaczmarek R., Vannier J. Optimization of magnet segmentation for reduction of eddy-current losses in permanent magnet synchronous machine. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2010. No 2. Pp. 381-387.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TEC.2009.2036250>
5. Isfahani A.H., Vaez-Zadeh S. Line start permanent magnet synchronous motors: Challenges and opportunities. *Energy*. 2009. No 11. Pp.1755-1763. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.04.022>
6. Jedryczka C., Wojciechowski R. M., Demenko A. Influence of squirrel cage geometry on the synchronisation of the line start permanent magnet synchronous motor. *IET Science Measurement & Technology*. 2015. No 2. Pp. 197–203.  
DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2014.0198>
7. Lafari-Shiadeh S.M., Ardebili M. Analysis and comparison of axial-flux permanent-magnet brushless-dc machines with fractional-slot concentrated-windings. *4<sup>th</sup> Annual International Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference*. Tehran, Iran, February 13-14, 2013. Pp. 72-77.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/PEDSTC.2013.6506676>
8. Melfi M.J., Umans S.D., Atem J.E. Viability of highly efficient multi-horsepower line-start permanent-magnet motors. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2015. No 1. Pp. 120-128.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2347239>
9. Nam K., Hwang S., Shin P.S. An end-effect equivalent factor for back-EMF analysis of PMSM. *20<sup>th</sup> International Conference on Electrical Machines and Systems*. Sydney, NSW, Australia, August 11-14, 2017. Pp. 1-4.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEMS.2017.8056299>

10. Vaskovskyi J.M., Haydenko J.A. Research of electromagnetic processes in permanent magnet synchronous motors based on a "electric circuit - magnetic field" mathematical model. *Technical Electrodynamics*. 2018. No 2. Pp. 47-54. DOI: <https://doi.org/10.15404/techned2018.02.047>
11. Vansompel H., Sergeant P., Dupre L. A multilayer 2-D-2-D coupled model for eddy current calculation in the rotor of an axial-flux PM machine. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. 2012. No 3. Pp. 784-791. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEC.2012.2192737>
12. Yamazaki K., Fukushima Y., Sato M. Loss analysis of permanent-magnet motors with concentrated windings-variation of magnet eddy-current loss due to stator and rotor shapes. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 2009. No. 4. Pp. 1334-1342. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIA.2009.2023393>
13. Zhu J., Li S., Song D., Han Q., Li, G. Magnetic field calculation and multi-objective optimization of axial flux permanent magnet generator with coreless stator windings. *Journal of Electrical Engineering & Technology*. 2018. No 4. Pp. 1585-1594.
14. Zhang Z., Xie Z., Ma H., Zhong Q. Analysis of demagnetization fault back-emf of permanent magnet synchronous motor using mathematical model based on magnetic field superposition principle. *Technical Electrodynamics*. 2016. No. 2. Pp. 42-48. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2016.02.042>

[PDF](#)