

УДК 621.3.01

DOI: <http://doi.org/10.15407/techned2017.05.018>

**РОЗРАХУНОК ПЕРІОДИЧНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ У ФЕРОМАГНІТНОМУ
ЕЛЕКТРО-ПРОВІДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТА ГАРМОНІК У СТРУМІ ЖИВЛЕННЯ
МЕТОДОМ ГАРМОНІЧНОГО БАЛАНСУ СУМІСНО З МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ
ЕЛЕМЕНТІВ**

Журнал	Технічна електродинаміка
Видавець	Інститут електродинаміки Національної академії наук України
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Випуск	№ 5, 2017 (вересень/жовтень)
Сторінки	18 – 22

Автор

І.С. Петухов, докт.техн.наук
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,
e-mail: igor_petu@mail.ru

Представлено метод гармонічного балансу сумісно з методом скінченних елементів для двовимірного магнітного поля в електропровідному феромагнітному середовищі. Для перетворення диференціального рівняння в часткових похідних до системи нелінійних алгебраїчних рівнянь використовувався метод Гальоркіна в слабкому формулюванні. Досліджувалися конструкційна та легована сталь із різними магнітними властивостями та різною електропровідністю. Описано врахування нелінійних властивостей у математичній моделі. Розраховано спектри струму живлення та магнітної індукції на поверхні та всередині середовища за умов живлення синусоїдальною напругою. Представлено

залежності амплітуд вищих гармонік від властивостей сталі та амплітуди першої гармоніки магнітної індукції на поверхні середовища. Бібл. 14, рис. 5.

Ключові слова: метод гармонічного балансу, метод скінченних елементів, ферромагнітне середовище, спектр магнітного поля, спектр струму.

Надійшла	03.02.2017
Остаточний варіант	24.04.2017
Підписано до друку	17.08.2017

УДК 621.3.01

**РАСЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ФЕРРОМАГНИТНОЙ
ПРОВОДЯЩЕЙ СРЕДЕ И ГАРМОНИК ПИТАЮЩЕГО ТОКА МЕТОДОМ
ГАРМОНИЧЕСКОГО БАЛАНСА СОВМЕСТНО С МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ**

Журнал	Технічна електродинаміка
Издатель	Институт электродинамики Национальной академии наук Украины
ISSN	1607-7970 (print), 2218-1903 (online)
Выпуск	№ 5, 2017 (сентябрь/октябрь)
Страницы	18 – 22

Автор**И.С. Петухов**, докт.техн.наук

Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина,

e-mail: igor_petu@mail.ru

Сформулирован метод гармонического баланса совместно с методом конечных элементов для двумерного магнитного поля в электропроводящей ферромагнитной среде. Для преобразования дифференциального уравнения в частных производных в систему нелинейных алгебраических уравнений использовался метод Галеркина в слабой формулировке. Исследовались конструкционная и легированная сталь с различными магнитными свойствами и различной электропроводностью. Описан учет нелинейных свойств в математической модели. Рассчитаны спектры тока питания и магнитной индукции на поверхности и внутри среды при условиях питания синусоидальным напряжением. Представлены зависимости амплитуд высших гармоник от свойств стали и амплитуды первой гармоники магнитной индукции на поверхности среды. Библ. 14, рис. 5.

Ключевые слова: метод гармонического баланса, метод конечных элементов, ферромагнитная среда, спектр магнитного поля, спектр токов.

Поступила	03.02.2017
Окончательный вариант	24.04.2017
Подписано в печать	17.08.2017

Література

1. *Antonov A.E., Petukhov I.S.* Identification of the magnetic field of the rotor of a two-axis electrical machine // *Tekhnichna Elektrodynamika*. – No 1. – 1999. – Pp. 64–68. (Rus)
2. *Bruskin D.E., Zorokhovich A.E., Khvostov V.S.* Electrical machines. – Moskva: Vysshaia shkola, 1987. – 319 p. (Rus)
3. *Cherepin V.T., Olykhovskiy V.L., Petukhov I.S.* Optimizing the deflecting magnetic system of the mass spectrometer type of spheretron // *Tekhnichna Elektrodynamika*. – 1997. – No 4. – Pp. 3–7. (Rus)
4. Development of the methods for symmetrization and calculating the parameters of linear induction machines (Parameter – 7): 2002 year / Report: № State registration 0198U007472; National academy of science of Ukraine, Institute of electrodynamics. – Kiyv: Institute of Electrodynamics, 2002. – 105 p.
5. *Gyselinck J., Dular P., Geuzaine C., Legros W.* Harmonic-Balance Finite-Element Modeling of Electromagnetic Devices: A Novel Approach // *IEEE Trans. on Magnetics*. – 2002. – Vol. 38. – No 2. – Pp. 521–524. DOI: <https://doi.org/10.1109/20.996137>
6. *Lu J., Yamada S., Harrison B.* Application of Harmonic Balance-Finite Element Method (HBFEM) in the Design of Switching Power Supplies // *IEEE Transactions on Power Electronics*. – 1996. – Vol. 11. – No 2. – Pp. 347–355. DOI: <https://doi.org/10.1109/63.486185> h
7. *Lu J., Zhao X., Yamada S.* Harmonic Balance Finite Element Method: Applications in Nonlinear Electromagnetics and Power Systems. – Wiley-IEEE Press, 2016. – 304 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118975770>
8. *Petukhov I.S.* Simulation of alternating electromagnetic field in a conducting ferromagnetic medium by finite element method // *Tekhnichna Elektrodynamika*. – 2008. – No 4. – Pp. 18–26. (Rus)
9. *Petukhov I.S.* Simulation of alternating electromagnetic field in a conducting ferromagnetic medium // *Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii nauk Ukrainy*. – 2004. – No 2(8). – Pp. 15–16. (Rus)
10. *Reklaitis G.V., Ravindran A., Ragsdell K.M.* Engineering Optimization: Methods and Applications. – New York: Wiley, 1983. – 667 p.
11. *Silvester P.P., Ferrari R.L.* Finite Elements for Electrical Engineers. – Cambridge: Cambridge University press, 1983. – 494 p.
12. *Stefan Ausserhofer, Biro O., Preis K.* An Efficient Harmonic Balance Method for Nonlinear Eddy-Current Problems // *IEEE Trans. on Magnetics*. – 2007. – Vol. 43. – No 4. – Pp. 1229–1232. DOI: <https://doi.org/10.1109/TMAG.2006.890961>
13. *Zhao X., Li L., Lu J., Cheng Z., Lu T., Huang H., Liu G.* An Efficient Fixed-Point Harmonic-Balanced Method Taking Account of Hysteresis Effect Based on the Consuming Function // *ICCP Proceedings*. – 2010. – Pp. 179–181.
14. *Yamada S., Bessho K.* Harmonic field calculation by the combination of finite element analysis and harmonic balance method // *IEEE Trans. on Magnetics*. – 1988. – Vol. 24. – No 6. – Pp. 2588–2590. DOI: <https://doi.org/10.1109/20.92182>

[PDF](#)