

## ВИЗНАЧЕННЯ ДІЇ СКІН-ЕФЕКТУ НА ДОДАТКОВІ ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ ВІД ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

## DEFINITION OF ACTION OF SKIN EFFECTS ON ADDITIONAL POWER LOSSES FROM HIGHER HARMONICS IN ELECTRICITY NETWORKS

*К. т. н. В.П. Нерубацький<sup>1</sup>, к. т. н. О.А. Плахтій<sup>1</sup>,  
аспірант Д.А. Гордієнко<sup>1</sup>, аспірант Д.А. Шелест<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків),

<sup>2</sup>Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" (м. Харків)

*V.P. Nerubatskyi, PhD (Tech.)<sup>1</sup>, O.A. Plakhtii, PhD (Tech.)<sup>1</sup>,  
D.A. Hordiienko, postgraduate<sup>1</sup>, D.A. Shelest, postgraduate<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Ukrainian state university of railway transport (Kharkiv),

<sup>2</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Kharkiv)

Робота напівпровідникових перетворювачів електроенергії, які входять до складу частотно-керованих електроприводів, тягових підстанцій та інших потужних нелінійних навантажень, викликають значну емісію вищих гармонік струмів до електричних мереж [1–3]. Вищі гармоніки струмів в електричних мережах викликають комплексну негативну дію на енергоефективність мережі [4–6]. Підвищення втрат потужності в активному опорі під дією вищих гармонік відбувається з причини збільшення середньоквадратичного значення струму та дією скін-ефекту [7, 8].

Точну аналітичну залежність активного опору провідника від частоти внаслідок явища скін-ефекту може бути отримано шляхом вираження першого рівняння Максвелла в циліндричній системі координат [9, 10].

На підставі законів Максвелла, рівнянь Бесселя для циліндричної системи координат визначено аналітичні залежності, які дозволяють визначити функції розподілення щільності струму за радіусом провідника (рис. 1, 2).

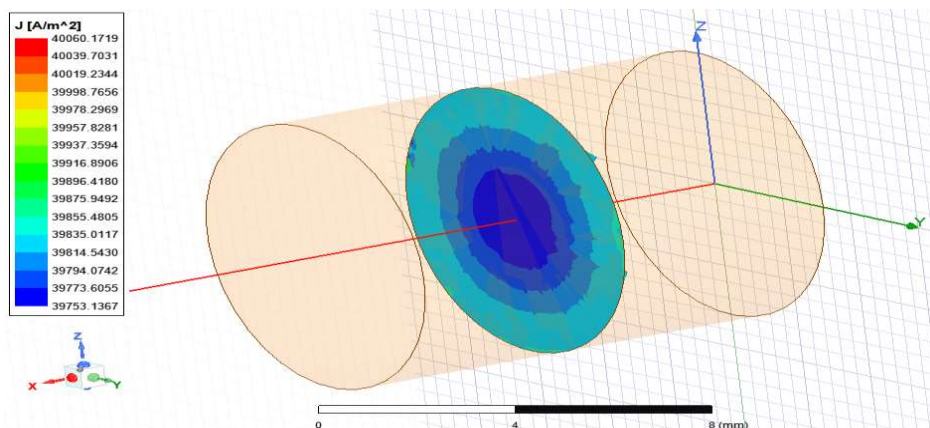


Рис. 1. Розподілення щільності струму в провіднику при частоті 50 Гц

Для підтвердження отриманих аналітичних виразів в комп'ютерній програмі Ansys Electronics – Maxwell 3D шляхом комп'ютерного моделювання було виконано дослідження розподілення щільності струму в циліндричному мідному провіднику діаметром 8 мм при протіканні струмів з частотами 50 Гц (рис. 1) та 10 кГц (рис. 2).

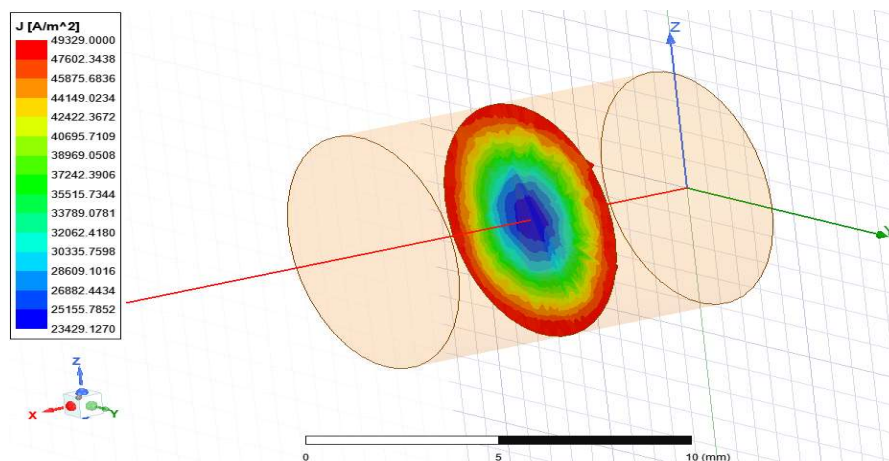


Рис. 2. Розподілення щільності струму в провіднику при частоті 10 кГц

З урахування диференціальної форми рівняння Джоуля-Ленца та виконавши відповідні перетворення отримано рівняння залежності активного опору електричної мережі для кожної окремої з частот вищих гармонік.

Як видно з результатів моделювання впливу скін-ефекту, збільшення частоти струму досить суттєво впливає на розподілення щільності струму і, як результат, на значення еквівалентного опору провідника.

Отримані вирази дозволяють визначити додаткові втрати потужності в системах електропостачання, які зумовлені вищими гармоніками струмів.

- [1] Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P., Kavun V. Ye., Hordiienko D. A. Active single-phase four-quadrant rectifier with improved hysteresis modulation algorithm. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2019. Vol. 5 (173). P. 93–98. DOI: 10.29202/nvngu/2019-5/16.
- [2] Plakhtii O., Nerubatskyi V., Sushko D., Ryshchenko I., Tsybulnyk V., Hordiienko D. Improving energy characteristics of AC electric rolling stock by using the three-level active four-quadrant rectifiers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4. No. 8 (100). P. 6–14.
- [3] Ніколаєнко А. О., Нерубацький В. П., Комарова М. О. Впровадження сучасних технологій управління для підвищення якості та надійності продукції транспортного призначення. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 107. С. 180–185.
- [4] Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A., Khoruzhevskiy H. A. Calculation of static and dynamic losses in power IGBT-transistors by polynomial approximation of basic energy characteristics. *Scientific bulletin of National mining university*. 2020. Vol. 2 (176). Pp. 82–88. DOI: 10.33271/nvngu/2020-82.
- [5] Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Контроль і планування енерговикористання на залізничному транспорті. *Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології»*. 2019. С. 227–230.
- [6] Ніколаєнко А. О., Нерубацький В. П. Удосконалення організаційної структури підприємства залізничного транспорту з метою впровадження системи управління якістю. *Локомотив - інформ*. 2010. № 4. С. 6–7.
- [7] Artemenko M. Y., Batrak L. M., Polishchuk S. Y., Mykhalskyi V. M., Shapoval I. A. The effect of load power factor on the efficiency of three-phase four-wire power system with shunt active filter. *2016 IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)*. 2016. DOI: 10.1109/elnano.2016.7493067.
- [8] Ruehli A. E., Antonini G., Jiang L. J. Skin-Effect Loss Models for Time- and Frequency-Domain PEEC Solver. *Proceedings of the IEEE*. 2013. Vol. 101. No. 2. P. 451–472. DOI: 10.1109/JPROC.2012.2220312.
- [9] Аронов Л. В. Метод расчета активного сопротивления цилиндрического провода с учетом поверхностного эффекта. *Молодой ученый*. 2016. № 12 (116). С. 202–205.
- [10] Kirichenko M. V., Zaitsev R. V., Dobrozhan A. I., Khrypunov G. S., Kharchenko M. M. Adopting of DC

УДК 656. 212. 5

**ПРОБЛЕМИ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ  
УПРАВЛІННЯ З ПІДТРИМКОЮ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У  
КОМПЛЕКСАХ ГІРКОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ**

**PROBLEMS OF INTRODUCTION AUTOMATED CONTROL SYSTEMS  
WITH DECISION SUPPORT IN HUMP AUTOMATION COMPLEXES**

*канд. техн. наук М.Ю. Куценко, студент Н.В. Муштай  
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків)*

*C. Sc. (Tech). M.Y. Kutsenko, student N.V. Mushtai  
Ukrainian State University of Railway Transport (Kharkiv)*

Якісно новий рівень у забезпеченні безпеки функціонування систем гіркової автоматизації під час експлуатації може бути досягнутий при використанні нових інформаційних технологій, у тому числі систем підтримки прийняття рішень, автоматизованих інформаційно-плануючих і контрольно-діагностичних засобів, призначених для автоматизації технічного обслуговування і ремонту гіркових пристроїв, а також комп'ютерного аналізу результатів роботи обладнання і персоналу [1–6]. Особливо це актуально на даний час в умовах, що характеризуються серйозними кризовими явищами у світовій економіці, і, як наслідок, прагненням до економії різних видів ресурсів.

Створення подібних систем повністю відповідає одному з основних напрямків програми стратегічного розвитку АТ «Укрзалізниця», стимулюючого розробку і впровадження інноваційних технологій в усі сфери діяльності залізничної галузі [1, 4].

Як відомо, автоматизований процес розформування-формування составів на сортувальних гірках вимагає чіткої і скоординованої роботи усіх учасників процесу, як трудових ресурсів: чергового по гірці, гіркових операторів, старшого електромеханіка, електромеханіків, начальника станції, начальника гірки і т.д., так і програмно-апаратних ресурсів: постових і підлогових пристроїв сортувальної гірки [1].

Можна виділити деякі специфічні особливості процесу прийняття рішень: гострий дефіцит часу на оцінку ситуації і прийняття рішення, висока ступінь невизначеності оперативно-технологічних ситуацій та вихідних даних, багатофакторний характер завдання.

Усе вищезазначене обумовлює актуальність створення спеціальної системи для моніторингу та багатофакторного аналізу роботи сортувальної гірки на основі даних, які автоматично надходять з підсистем гіркового комплексу; підтримки процесів прийняття рішень по функціональному і стратегічному