

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286002

**RESEARCH OF HIGH-FREQUENCY
REMAGNETIZATION MODEL IN LAMINATED
MAGNETIC CORES OF ELECTROMECHANICAL AND
ELECTROMAGNETIC ENERGY CONVERTERS (p. 6–15)**

Vadim Chumack

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8401-7931>

Oksana Tymoshchuk

Institute for Applied System Analysis, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1863-3095>

Mykhailo Kovalenko

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

Volodymyr Bazenov

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1622-5207>

Yevhen Ihnatiuk

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4675-8728>

Andrii Stulishenko

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9982-9246>

The object of research in the work is charged magnetic conductors of electric machines and transformers.

Laminated magnetic wire together with windings are important active parts of electric machines that participate in electromechanical energy conversion.

The reliability of the entire machine is mainly determined by the actual condition of the inter-sheet insulation. Violation of the insulation causes parasitic eddy current circuits, which increases the specific losses, and also significantly affects the additional heating of the magnet wire and winding.

The normative method for determining the quality of the charged core is the assessment of specific losses at a frequency of 50 Hz and an induction of 1 T, which should not exceed 2.5–4 W/kg. To determine local damage to the core, methods of local heating and fixation of overheating sites are used, which should not exceed 45 °C compared to the main part of the magnetic core.

In the work, a two-dimensional field mathematical model of a charged magnetic circuit is developed. This makes it possible to carry out electromagnetic calculations in a near-real magnetic conductor, taking into account the variability of magnetic permeability, hysteresis, and the interaction of currents in adjacent plates of the magnetic conductor with each other, the so-called "proximity effect".

On the basis of the developed models, graphs of current distribution and distribution of magnetic induction in one, two and three sheets were obtained. The resulting graphs show how the effect of current displacement increases with increasing frequency, where at a frequency of 100 kHz the magnetic induction density in the middle of the sheet goes to zero. The results of the research confirm the correctness of the model development in comparison with the classical calculation models also given, which allows them to be used for further research of high-frequency processes in charged magnetic circuits of electric machines.

Keywords: charged magnetic wire, high-frequency remagnetization processes, eddy currents, surface effect.

References

- Colonel, Wm., McLyman, T. (2017). Magnetic Core Selection for Transformers and Inductors. A User's Guide to Practice and Specifications. CRC Press, 672. doi: <https://doi.org/10.1201/9781315214856>
- Rudenberg, R. (1950). Transient performance of electric power systems. McGraw-Hill.
- Yang, G., Zhang, S., Zhang, C. (2020). Analysis of Core Loss of Permanent Magnet Synchronous Machine for Vehicle Applications under Different Operating Conditions. Applied Sciences, 10 (20), 7232. doi: <https://doi.org/10.3390/app10207232>
- Boubaker, N., Matt, D., Enrici, P., Nierlich, F., Durand, G. (2019). Measurements of Iron Loss in PMSM Stator Cores Based on CoFe and SiFe Lamination Sheets and Stemmed From Different Manufacturing Processes. IEEE Transactions on Magnetics, 55 (1), 1–9. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2018.2877995>
- Zhang, S., Ducharme, B., Takeda, S., Sebald, G., Uchimoto, T. (2021). Low-frequency behavior of laminated electric steel sheet: Investigation of ferromagnetic hysteresis loops and incremental permeability. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 538, 168278. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.168278>
- Shah, S. B., Osemwinyen, O., Rasilo, P., Belahcen, A., Arkkio, A. (2018). Thermographic Measurement and Simulation of Power Losses Due to Interlaminar Contacts in Electrical Sheets. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 67 (11), 2628–2634. doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2018.2829321>
- Aydin, U., Martin, F., Rasilo, P., Belahcen, A., Haavisto, A., Singh, D. et al. (2019). Rotational Single Sheet Tester for Multi-axial Magneto-Mechanical Effects in Steel Sheets. IEEE Transactions on Magnetics, 55 (3), 1–10. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2018.2889238>
- Urabinahatti, C., Ahmad, S. S., Narayanan, G. (2018). Magnetic Characterization of Ferromagnetic Alloys for High Speed Electric Machines. 2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). doi: <https://doi.org/10.1109/pedes.2018.8707819>
- Nguedjang Kouakeuo, S. H., Ducharme, B., Solignac, A., Morel, L., Raulet, M. A. et al. (2021). Non-invasive local magnetic hysteresis characterization of a ferromagnetic laminated core. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 527, 167783. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.167783>

10. Zhao, H., Eldeeb, H. H., Zhang, Y., Zhang, D., Zhan, Y., Xu, G., Mohammed, O. A. (2021). An Improved Core Loss Model of Ferromagnetic Materials Considering High-Frequency and Nonsinusoidal Supply. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57 (4), 4336–4346. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2021.3072930>
11. Sirotic, I., Kovacic, M., Stipetic, S. (2021). Methodology and Measurement Setup for Determining PWM Contribution to Iron Loss in Laminated Ferromagnetic Materials. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57 (5), 4796–4804. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2021.3094501>
12. Kulan, M. C., Baker, N. J., Liogas, K. A., Davis, O., Taylor, J., Korsunsky, A. M. (2022). Empirical Implementation of the Steinmetz Equation to Compute Eddy Current Loss in Soft Magnetic Composite Components. *IEEE Access*, 10, 14610–14623. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3148593>
13. Chumack, V., Kovalenko, M., Tymoshchuk, O., Stulishenko, A., Ihnatiuk, Y. (2023). Design of a multilink system for calculating high-frequency processes in electric machines with mesh windings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (8 (123)), 54–63. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282375>
14. Ostroverkhov, M., Chumack, V., Kovalenko, M., Kovalenko, I. (2022). Development of the control system for taking off the maximum power of an autonomous wind plant with a synchronous magnetoelectric generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (118)), 67–78. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263432>
15. Ostroverkhov, M., Chumack, V., Tymoshchuk, O., Kovalenko, M., Ihnatiuk, Y. (2022). Designing a voltage control system of the magnetoelectric generator with magnetic flux shunting for electric power systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (119)), 16–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.265861>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285395

WIDE BAND AND HIGH GAIN MICROSTRIP ANTENNA USING PLANAR SERIES ARRAY 4x2 ELEMENT FOR 5G COMMUNICATION SYSTEM (p. 16–24)

Syah Alam

Universitas Trisakti, DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0162-8364>

Indra Surjati

Universitas Trisakti,
 DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6944-0213>

Lydia Sari

Universitas Trisakti,
 DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0147-7305>

Yuli Kurnia Ningsih

Universitas Trisakti,
 DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1940-9143>

Suryadi

Universitas Trisakti,
 DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0490-1473>

Galang Trihantoro

Universitas Trisakti,
 DKI Jakarta, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9958-7793>

Teguh Firmansyah

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,
 Banten, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9000-9337>

Zahriladha Zakaria

Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Durian Tunggal,
 Melaka, Malaysia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1467-405X>

The 5G communication system requires an antenna as a receiving device that has high performance including wide bandwidth and high gain. Microstrip antennas have advantages such as low cost, suitable for high frequencies and easy to integrate with other devices. One of the disadvantages of microstrip antennas is their narrow bandwidth and low gain. Therefore, microstrip antennas with wide bandwidth and high gain are especially needed to support 5G communication systems. This paper provides a solution by proposed a wide bandwidth and high gain microstrip antenna operating at a resonant frequency of 3.5 GHz for a 5G communication system. The proposed antenna was developed in four stages starting from a single element, a two-element series array, a 4-element series array and a 4x2-element planar series array. A series planar array technique is proposed to increase the gain and bandwidth of the microstrip antenna simultaneously. In this paper, simulations and measurements from the proposed antenna are displayed and compared comprehensively to show the performance improvement from each stage of the development of the proposed model. Based on the measurement results, the designed antenna has an impedance bandwidth (IBW) of 0.6 GHz and fractional bandwidth (FBW) of 17.14 % with a frequency range of 3.11–3.71 GHz and maximum gain of 12.2 dB at a resonant frequency of 3.5 GHz. The bandwidth and gain of the antennas increased by 205 % and 99.03 % compared to single element antennas, respectively. Therefore, the proposed antenna can be recommended to be used as a receiving antenna for 5G communication systems.

Keywords: antenna, microstrip, planar, series, array, bandwidth, gain, 5G, communication system, high frequencies.

References

1. Hobbs, S. (2018). Valuing 5G Spectrum: Valuing the 3.5 GHz and C-Band Frequency Range. Coleago Consulting.
2. Hikmaturokhman, A., Ramli, K., Suryanegara, M. (2018). Spectrum Considerations for 5G in Indonesia. 2018 International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev). doi: <https://doi.org/10.1109/icictr.2018.8706874>
3. Höyhtyä, M., Apilo, O., Lasanen, M. (2018). Review of Latest Advances in 3GPP Standardization: D2D Communication in 5G Systems and Its Energy Consumption Models. *Future Internet*, 10 (1), 3. doi: <https://doi.org/10.3390/fi10010003>
4. Zhang, G., Basit, A., Khan, M. I., Daraz, A., Saqib, N., Zubir, F. (2023). Multi Frequency Controllable In-BandSuppressions in a Broad Bandwidth Microstrip Filter Design for 5G Wi-Fi and Satellite Communication Systems Utilizing a Quad-Mode Stub-Loaded Resonator. *Micro-machines*, 14 (4), 866. doi: <https://doi.org/10.3390/mi14040866>
5. Tawfeeq, N. N. (2017). Size Reduction and Gain Enhancement of a Microstrip Antenna using Partially Defected Ground Structure and Circular/Cross Slots. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 7 (2), 894. doi: <https://doi.org/10.11591/ijece.v7i2.pp894-898>
6. Surjati, I., Alam, S., Karnadi, J. (2019). Design of spiral labyrinth microstrip antenna for DVB-T application. *TELKOMNIKA (Tele-*

- communication Computing Electronics and Control), 17 (1), 76. doi: <https://doi.org/10.12928/telkomnika.v17i1.11628>
7. Sandi, E., Rusmono, R., Diamah, A., Vinda, K. (2020). Ultra-wide-band Microstrip Array Antenna for 5G Millimeter-wave Applications. *Journal of Communications*, 15 (2), 198–204. doi: <https://doi.org/10.12720/jcm.15.2.198-204>
 8. Liu, J., Liu, H., Dou, X., Tang, Y., Zhang, C., Wang, L. et al. (2021). A Low Profile, Dual-Band, Dual-Polarized Patch Antenna With Antenna-Filter Functions and Its Application in MIMO Systems. *IEEE Access*, 9, 101164–101171. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3096969>
 9. Ullah, S., Yeo, W.-H., Kim, H., Yoo, H. (2020). Development of 60-GHz millimeter wave, electromagnetic bandgap ground planes for multiple-input multiple-output antenna applications. *Scientific Reports*, 10 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65622-9>
 10. Naga Jyothi Sree, G., Nelaturi, S. (2021). Design and experimental verification of fractal based MIMO antenna for lower sub 6-GHz 5G applications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 137, 153797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2021.153797>
 11. Tarpara, N. M., Rathwa, R. R., Kotak, N. A. (2018). Design of Slotted Microstrip patch Antenna for 5G Application. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 05 (04). Available at: https://www.academia.edu/37016852/Design_of_Slotted_Microstrip_patch_Antenna_for_5G_Application
 12. Ali, H., Singh, P., Kumar, S., Goel, T. (2017). A Minkowski fractal ultrawide band antenna for 5G applications. 2017 IEEE International Conference on Antenna Innovations & Modern Technologies for Ground, Aircraft and Satellite Applications (IAIM). doi: <https://doi.org/10.1109/iaim.2017.8402541>
 13. Hu, W., Liu, X., Gao, S., Wen, L.-H., Qian, L., Feng, T. et al. (2019). Dual-Band Ten-Element MIMO Array Based on Dual-Mode IFAs for 5G Terminal Applications. *IEEE Access*, 7, 178476–178485. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2958745>
 14. An, W., Li, Y., Fu, H., Ma, J., Chen, W., Feng, B. (2018). Low-Profile and Wideband Microstrip Antenna With Stable Gain for 5G Wireless Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17 (4), 621–624. doi: <https://doi.org/10.1109/lawp.2018.2806369>
 15. Cai, Q., Li, Y., Zhang, X., Shen, W. (2019). Wideband MIMO Antenna Array Covering 3.3–7.1 GHz for 5G Metal-Rimmed Smartphone Applications. *IEEE Access*, 7, 142070–142084. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2944681>
 16. Alam, S., Surjati, I., Sari, L., Hilyawan, M. R., Zakaria, Z., Shairi, N. A. et al. (2022). Triple Band Notched Microstrip Antenna Using Planar Series 2x2 Element Array for 5G Communication System. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 14 (1), 01019-1-01019–5. doi: [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(1\).01019](https://doi.org/10.21272/jnep.14(1).01019)

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286320

IMPROVING THE HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS OF MINIATURE TWO-PHASE THERMOSYPHONS WITH NANOFLUIDS BASED ON UKRAINIAN NATURAL ALUMOSILICATES (p. 25–33)

Vladimir Kravets

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8891-0812>

Dmytro Hurov

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4411-4889>

Vasily Moraru

Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8174-8031>

In order to improve the heat transfer characteristics of miniature thermosyphons, a study of the processes of heat transfer by them using water and nanofluids as heat carriers was carried out. A water mixture based on nanoparticles of Ukrainian natural aluminosilicate – attapulgitite with the addition of 0.1 % carbon nanotubes was used as nanofluids. The data of the study of the maximum heat flow and the minimum thermal resistance of copper thermosyphons with an internal diameter of 5 mm and a length of 700 mm are presented. Orientation of thermosyphons in space: vertical. The length of the heating zone varied from 50 mm to 200 mm, with the same amount of heat-carrier. The fill factor varied from 0.44 to 1.93.

A comparison was performed of the heat transfer capabilities of thermosyphons with water and with a nanofluid with a mass concentration of 0.5 %. It has been shown that nanofluid thermosyphons transmit 53 % more heat flow compared to water, and thermal resistances are reduced by 25 %.

The influence of the concentration of nanoparticles on the heat transfer characteristics of thermosyphons is shown. Nanofluids with concentrations (0.1 %, 0.5 %, 0.7 %) showed the same level of thermal resistances, with an increase in maximum heat flows compared to distilled water. Thus, when compared with the lowest concentration (0.1 %), the use of 0.5 % nanofluid gives an advantage of up to 40 %, and 0.7 % – an advantage of up to 51 %. This is explained by the appearance of a specific porous structure of anisometric nanoparticles on the heating surface, which contributes to the appearance of additional centers of vaporization during boiling and improves the heat transfer characteristics of thermosyphons.

Thus, the use of such thermosyphons with nanofluids when cooling elements of electronic equipment could improve their functional characteristics.

Keywords: miniature thermosyphon, nanofluids, concentration, filling factor, heat flow, thermal resistance.

References

1. Singh, A., Dubey, S., Dubey, H. (2019) Nanotechnology: the future engineering. *International Journal of Advance and Innovative Research*, 6 (2), 229–233. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/333448927>
2. Zhang, Y., Zhou, Y. (2022). The recent progress of nanofluids and the state-of-art thermal devices. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 13, 82–89. doi: <https://doi.org/10.54097/hset.v13i.1335>
3. Yang, L., Xu, J., Du, K., Zhang, X. (2017). Recent developments on viscosity and thermal conductivity of nanofluids. *Powder Technology*, 317, 348–369. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.04.061>
4. Vanaki, Sh. M., Ganesan, P., Mohammed, H. A. (2016). Numerical study of convective heat transfer of nanofluids: A review. *Renew-*

- able and Sustainable Energy Reviews, 54, 1212–1239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.042>
5. Akilu, S., Sharma, K. V., Baheta, A. T., Mamat, R. (2016). A review of thermophysical properties of water based composite nanofluids. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66, 654–678. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.036>
 6. Xu, Y., Xue, Y., Qi, H., Cai, W. (2021). An updated review on working fluids, operation mechanisms, and applications of pulsating heat pipes. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 144, 110995. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110995>
 7. Kim, T. I., Chang, W. J., Chang, S. H. (2011). Flow boiling CHF enhancement using Al_2O_3 nanofluid and an Al_2O_3 nanoparticle deposited tube. International Journal of Heat and Mass Transfer, 54 (9-10), 2021–2025. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.12.029>
 8. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., Boran, K., Kılıç, F., Aktaş, M., Çakır, M. T. (2016). A comparative investigation on the effect of fly-ash and alumina nanofluids on the thermal performance of two-phase closed thermo-syphon heat pipes. Applied Thermal Engineering, 96, 330–337. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.038>
 9. Bondarenko, B. I., Moraru, V. N., Sydorenko, S. V., Komysh, D. V., Khovavko, A. I. (2016). Nanostructured Architectures on the Heater Surface at Nanofluids Boiling and Their Role in the Intensification of Heat Transfer. Nanoscience and Nanoengineering, 4 (1), 12–21. doi: <https://doi.org/10.13189/nn.2016.040102>
 10. Moraru, V. N. (2017). The Mechanism of Raising And Quantification of Specific Heat Flux at Boiling of Nanofluids in Free Convection Conditions. Energotehnologii i resursoberezhennie, 3, 25–34. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2017_3_5
 11. Liu, Z. H., Yang, X. F., Guo, G. L. (2007). Effect of nanoparticles in nanofluid on thermal performance in a miniature thermosyphon. Journal of Applied Physics, 102 (1). doi: <https://doi.org/10.1063/1.2748348>
 12. Paramatthanuwat, T., Boothaisong, S., Rittidech, S., Booddachan, K. (2009). Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon using de ionized water mixed with silver nano. Heat and Mass Transfer, 46 (3), 281–285. doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-009-0565-y>
 13. Humnic, G., Humnic, A., Morjan, I., Dumitrache, F. (2011). Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles. International Journal of Heat and Mass Transfer, 54 (1–3), 656–661. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.09.005>
 14. Humnic, G., Humnic, A. (2011). Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphons using nanofluids. Experimental Thermal and Fluid Science, 35 (3), 550–557. doi: <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2010.12.009>
 15. Xue, H. S., Fan, J. R., Hu, Y. C., Hong, R. H., Cen, K. F. (2006). The interface effect of carbon nanotube suspension on the thermal performance of a two-phase closed thermosyphon. Journal of Applied Physics, 100 (10). doi: <https://doi.org/10.1063/1.2357705>
 16. Khandekar, S., Joshi, Y. M., Mehta, B. (2008). Thermal performance of closed two-phase thermosyphon using nanofluids. International Journal of Thermal Sciences, 47 (6), 659–667. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2007.06.005>
 17. Moraru, V. N., Komysh, D. V., Khovavko, A. I., Snigur, A. V., Gudkov, N. N., Sidorenko, N. A., Marinin, A. I. (2015). Nanofluids on the Basis of Ukrainian Natural Aluminosilicates are Promising Heat-Carriers for Power Engineering. Energotehnologii i resursoberezhennie, 1, 22–32. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/127461>
 18. Khazaei, I., Hosseini, R., Noie, S. H. (2010). Experimental investigation of effective parameters and correlation of geyser boiling in a two-phase closed thermosyphon. Applied Thermal Engineering, 30 (5), 406–412. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.09.012>
 19. Kravets, V. Yu. (2018). Protsesy teploobminu u miniatiurnykh vyparno-kondensatsiinykh systemakh okholodzhennia. Kharkiv: FOP Brovin O. V., 288.
 20. Kravets, V., Konshin, V., Hurov, D., Vorobiov, M., Shevel, I. (2022). Determining the influence of geometric factors and the type of heat carrier on the thermal resistance of miniature two-phase thermosyphons. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (8 (118)), 51–59. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263180>
 21. Tolubinskii, V. I. (1980). Teploobmen pri kipenii. Kyiv: Naukova dumka, 316.
 22. Pekur, D. V., Nikolaenko, Yu. E., Sorokin, V. M. (2020). Optimization of the cooling system design for a compact high-power LED luminaire. Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics, 23 (1), 91–101. doi: <https://doi.org/10.15407/spqeo23.01.091>
 23. Kamyar, A., Ong, K. S., Saidur, R. (2013). Effects of nanofluids on heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon. International Journal of Heat and Mass Transfer, 65, 610–618. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.06.046>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286546

DEVISING TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR GAS SENSORS BASED ON ZINC OXIDE FOR USE AT CRITICAL INFRASTRUCTURE FACILITIES (p. 34–40)

Natalia Minska

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8438-0618>

Viktor Hvozd

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0818-7810>

Olga Shevchenko

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-5009>

Yevhen Slepuzhnikov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5449-3512>

Rustam Murasov

The National Defence University of Ukraine,
Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0800-2062>

Valerii Khrystych

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5900-7042>

Valery Strelets

The International Humanitarian Organization The Halo Trust
in Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1913-7878>

Svitlana Kryvonis

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute",
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1938-293X>

Vasyl Rotar

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of
the National University of Civil Defence of Ukraine,
Cherkasy, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-5801-0959>

Volodymyr Lypovyi

National University of Civil Defence of Ukraine,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1967-0720>

This paper reports a study of a gas sensor based on nano-structured zinc oxide in order to establish the conditions for its production and operating characteristics under the influence of the target gas ethanol. The studied samples were produced by magnetron sputtering on direct current. The method of forming the device structure was chosen among others due to the fact that it has a high rate of deposition at low values of the working gas pressure, there is no overheating of the substrate, a low degree of contamination of the obtained films, the possibility of obtaining samples of uniform thickness on a large area of the substrate. A VUP-5M vacuum unit with an original material-saving magnetron was used to obtain the films. Studies of the effect of temperature on the resistance of a gas sensor based on ZnO have been carried out. It was established that the change in the resistance of the tested sample depends on the temperature of the substrate. The resistance of the gas sensor in atmospheric air decreases with increasing substrate temperature from room temperature (25 °C) to 200 °C. A further increase in temperature from 200 °C leads to an increase in the resistance of the structure until it stabilizes in the temperature range of 300–400 °C. It was established that the operating temperature range of the gas sensor based on ZnO is within 300–400 °C. The characteristics of the gas sensor based on ZnO were studied and the working temperature of the sensor was determined for the rapid identification of ethanol in atmospheric air at a target gas concentration of 500 ppm. It was established that for rapid operation of the instrument structure, the temperature of the substrate should be 400 °C, a decrease or increase in temperature leads to a decrease in the sensitivity of the sensor to the target gas. It was established that the gas sensor demonstrates stability and a consistent sensitivity response upon repeated exposure to the target gas.

Keywords: ZnO, gas sensor, magnetron sputtering, operating temperature, sensitivity, reaction stability.

References

- Vambol, S., Vambol, V., Sobyna, V., Koloskov, V., Poberezhna, L. (2019). Investigation of the energy efficiency of waste utilization technology, with considering the use of low-temperature separation of the resulting gas mixtures. *Energetika*, 64 (4). doi: <https://doi.org/10.6001/energetika.v64i4.3893>
- Chernukha, A., Teslenko, A., Kovalov, P., Bezuglov, O. (2020). Mathematical Modeling of Fire-Proof Efficiency of Coatings Based on Silicate Composition. *Materials Science Forum*, 1006, 70–75. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.70>
- Kovalov, A., Otrosh, Y., Rybka, E., Kovalevska, T., Togobytska, V., Rolin, I. (2020). Treatment of Determination Method for Strength Characteristics of Reinforcing Steel by Using Thread Cutting Method after Temperature Influence. *Materials Science Forum*, 1006, 179–184. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.179>
- Sadkovyi, V., Andronov, V., Semkiv, O., Kovalov, A., Rybka, E., Otrosh, Yu. et al.; Sadkovyi, V., Rybka, E., Otrosh, Yu. (Eds.) (2021). Fire resistance of reinforced concrete and steel structures. Kharkiv: PC TECHNOLOGY CENTER, 180. doi: <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-43-5>
- Pospelov, B., Kovrehin, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Petukhova, O., Butenko, T. et al. (2020). Development of a method for detecting dangerous states of polluted atmospheric air based on the current recurrence of the combined risk. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (107)), 49–56. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.213892>
- Pospelov, B., Rybka, E., Krainiukov, O., Yashchenko, O., Bezuhla, Y., Bielai, S. et al. (2021). Short-term forecast of fire in the premises based on modification of the Brown's zero-order model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10 (112)), 52–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238555>
- Neshpor, O., Deyneko, N., Ponomarenko, R., Maiboroda, A., Kropyva, M., Blyashenko, O. et al. (2022). Optimization of the technology for designing sensitive gas sensors based on zinc oxide using a sol-gel method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (118)), 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263686>
- Zhang, Y., Li, D., Qin, L., Zhao, P., Liu, F., Chuai, X. et al. (2018). Preparation and gas sensing properties of hierarchical leaf-like SnO₂ materials. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255, 2944–2951. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.09.115>
- Kołodziejczak-Radzimska, A., Jesionowski, T. (2014). Zinc Oxide—From Synthesis to Application: A Review. *Materials*, 7 (4), 2833–2881. doi: <https://doi.org/10.3390/ma7042833>
- Lorenz, M., Ramachandra Rao, M. S., Venkatesan, T., Fortunato, E., Barquinha, P., Branquinho, R. et al. (2016). The 2016 oxide electronic materials and oxide interfaces roadmap. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 49 (43), 433001. doi: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/49/43/433001>
- Zhang, H., Babichev, A. V., Jacopin, G., Lavenus, P., Julien, F. H., Yu. Egorov, A. et al. (2013). Characterization and modeling of a ZnO nanowire ultraviolet photodetector with graphene transparent contact. *Journal of Applied Physics*, 114 (23). doi: <https://doi.org/10.1063/1.4854455>
- Xu, Q., Cheng, L., Meng, L., Wang, Z., Bai, S., Tian, X. et al. (2019). Flexible Self-Powered ZnO Film UV Sensor with a High Response. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 11 (29), 26127–26133. doi: <https://doi.org/10.1021/acsami.9b09264>
- Mohan, A. C., Renjanadevi, B. (2016). Preparation of Zinc Oxide Nanoparticles and its Characterization Using Scanning Elec-

- tron Microscopy (SEM) and X-Ray Diffraction(XRD). *Procedia Technology*, 24, 761–766. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.078>
14. Bian, H., Ma, S., Sun, A., Xu, X., Yang, G., Yan, S. et al. (2016). Improvement of acetone gas sensing performance of ZnO nanoparticles. *Journal of Alloys and Compounds*, 658, 629–635. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.09.217>
15. Yan, H., Song, P., Zhang, S., Yang, Z., Wang, Q. (2016). Facile synthesis, characterization and gas sensing performance of ZnO nanoparticles-coated MoS₂ nanosheets. *Journal of Alloys and Compounds*, 662, 118–125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.12.066>
16. Umar, A., Khan, M. A., Kumar, R., Algarni, H. (2018). Ag-Doped ZnO Nanoparticles for Enhanced Ethanol Gas Sensing Application. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18 (5), 3557–3562. doi: <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.14651>
17. Zhang, D., Yang, Z., Li, P., Zhou, X. (2019). Ozone gas sensing properties of metal-organic frameworks-derived In₂O₃ hollow microtubes decorated with ZnO nanoparticles. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 301, 127081. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127081>
18. Miasoiedova, A., Minska, N., Shevchenko, R., Azarenko, O., Lukashenko, V., Kyrychenko, O. et al. (2023). Improving the manufacturing technology of sensing gas sensors based on zinc oxide by using the method of magnetron sputtering on direct current. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (122)), 31–37. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277428>
19. Khrypunov, G., Vambol, S., Deyneko, N., Sychikova, Y. (2016). Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (84)), 12–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85617>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286002**РОЗРОБКА ВИСОКОЧАСТОТНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕМАГНІЧУВАННЯ ШИХТОВАНИХ МАГНІТОПРОВОДІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ І ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ЕНЕРГІЇ (с. 6–15)****В. В. Чумак, О. Л. Тимошук, М. А. Коваленко, В. А. Баженов, Є. С. Ігнатюк, А. С. Стулішенко**

Об'єктом дослідження в роботі є шихтовані магнітопроводи електричних машин і трансформаторів.

Шихтований магнітопровід разом з обмотками є важливими активними частинами електричних машин, що приймають участь в електромеханічному перетворенні енергії.

Надійність роботи всієї машини головним чином визначається фактичним станом міжлистової ізоляції. Порушення ізоляції викликає паразитні контури вихрових струмів, що збільшує питомі втрати, а також суттєво впливає на додаткове нагрівання магнітопроводу та обмотки.

Нормативним методом визначення якості шихтованого осердя є оцінка питомих втрат на частоті 50 Гц та індукції 1 Тл, які не повинні перевищувати 2,5–4 Вт/кг. Для визначення місцевих пошкоджень осердя використовують методи локального нагріву та фіксації місць перегріву, які не повинні перевищувати 45 °С в порівнянні з основною частиною магнітопроводу.

У роботі розроблено двомірну польову математичну модель шихтованого магнітопроводу. Це дає можливість здійснювати електромагнітні розрахунки в наближеному до реального магнітопроводі з врахуванням змінності магнітної проникності, гістерезису та взаємодії струмів у суміжних пластинах магнітопроводу між собою, так званий «ефект близькості».

На основі розроблених моделей отримано графіки розподілу струму та розподілу магнітної індукції в одному, двох та трьох листах. На отриманих графіках показано, як зі збільшенням частоти посилюється ефект витіснення струму, де на частоті 100 кГц густина магнітної індукції в середині листа прямує до нуля. Результати досліджень підтверджують правильність розробки моделі в порівнянні з також приведеними класичними моделями розрахунку, що дозволяє використовувати їх для подальших досліджень високочастотних процесів в шихтованих магнітопроводах електричних машин.

Ключові слова: шихтований магнітопровід, високочастотні процеси переманіччування, вихрові струми, поверхневий ефект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.285395**ШИРОКОСМУГОВА ТА МІКРОСМУГОВА АНТЕНА З ВИСОКИМ ПОСИЛЕННЯМ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАНАРНОГО СЕРІЙНОГО МАСИВУ 4Ч2 ДЛЯ СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ 5G (с. 16–24)****Syah Alam, Indra Surjati, Lydia Sari, Yuli Kurnia Ningsih, Suryadi, Galang Trihantoro, Teguh Firmansyah, Zahriladha Zakaria**

Для системи зв'язку 5G потрібна антена як приймальний пристрій із високою продуктивністю, включаючи широку смугу пропускання та високе посилення. Мікросмугові антени мають такі переваги, як низька вартість, придатність для високих частот і легкість інтеграції з іншими пристроями. Одним з недоліків мікросмугових антен є їх вузька смуга пропускання і малий коефіцієнт підсилення. Тому мікросмугові антени з широкою смугою пропускання та високим коефіцієнтом підсилення особливо необхідні для підтримки систем зв'язку 5G. У цій статті запропоновано мікросмугову антену з широкою смугою пропускання та високим коефіцієнтом посилення, яка працює на резонансній частоті 3,5 ГГц для системи зв'язку 5G. Запропонована антена була розроблена в чотири етапи, починаючи з одного елемента, двоелементної послідовної решітки, 4-елементної послідовної решітки та 4 2-елементної плоскої послідовної решітки. Для одночасного збільшення коефіцієнта підсилення та смуги пропускання мікросмугової антени запропоновано послідовну планарну решітку. У цьому документі моделювання та вимірювання запропонованої антени відображаються та всебічно порівнюються, щоб показати покращення продуктивності на кожному етапі розробки запропонованої моделі. Виходячи з результатів вимірювань, спроектована антена має смугу пропускання імпедансу 0,6 ГГц і фракційну смугу пропускання 17,14 % з частотним діапазоном 3,11–3,71 ГГц і максимальним посиленням 12,2 дБ на резонансній частоті 3,5 ГГц. Смуга пропускання та посилення антен зросли на 205 % і 99,03 % порівняно з одноелементними антенами відповідно. Тому запропоновану антену можна рекомендувати використовувати як приймальну антену для систем зв'язку 5G.

Ключові слова: антена, мікросмугова, планарна, серія, решітка, смуга пропускання, посилення, 5G, система зв'язку, високі частоти.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286320**ПОКРАЩЕННЯ ТЕПЛОПЕРЕДАВАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІНІАТЮРНИХ ДВОФАЗНИХ ТЕРМОСИФОНІВ З НАНОРІДИНАМИ НА БАЗІ УКРАЇНСЬКИХ ПРИРОДНИХ АЛЮМОСИЛКАТІВ (с. 25–33)****В. Ю. Кравець, Д. І. Гурав, В. Н. Морару**

З метою підвищення теплопередавальних характеристик мініатюрних термосифонів проведено дослідження процесів передачі теплоти ними при використанні води і нанорідин як теплоносіїв. В якості нанорідин застосовувалися водна суміш на базі

наночастинок українського природного алюмосилікату – атапультіту з додаванням 0,1 % вуглецевих нанотрубок. Приводяться дані дослідження максимального теплового потоку і мінімального термічного опору мідних термосифонів, з внутрішнім діаметром 5 мм, довжиною 700 мм. Орієнтація термосифонів у просторі: вертикальна. Довжина зони нагріву змінювалася від 50 мм до 200 мм, при однаковій кількості теплоносія. Коефіцієнт заповнення змінювався від 0,44 до 1,93.

Проводилося порівняння теплопередавальних здібностей термосифонів з водою та з нанорідиною із масовою концентрацією 0,5 %. Показано, що термосифони з нанорідиною передають на 53 % більший тепловий потік у порівнянні з водою, а термічні опори знижуються на 25 %.

Показано вплив концентрації наночастинок на теплопередавальні характеристики термосифонів. Нанорідини з концентраціями (0,1 %; 0,5 %; 0,7 %) показали однаковий рівень термічних опорів, при підвищенні максимальних теплових потоків у порівнянні із дистильованою водою. Так, при порівнянні з найменшою концентрацією (0,1 %), використання 0,5 % нанорідини дає перевагу до 40 %, а 0,7 % – перевагу до 51 %. Це пояснюється виникненням специфічної пористої структури з анізотричних наночастинок на поверхні нагріву, яка сприяє появі додаткових центрів пароутворення при кипінні і підвищенні теплопередавальних характеристик термосифонів.

Таким чином, застосування таких термосифонів з нанорідинами при охолодженні елементів електронної техніки може підвищити їх функціональні характеристики.

Ключові слова: мініатюрний термосифон, нанорідини, концентрація, коефіцієнт заповнення, тепловий потік, термічний опір.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.286546

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ЦИНКУ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ НА ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ (р. 34–40)

Н. В. Мінська, В. М. Гвоздь, О. С. Шевченко, Є. Д. Слепужніков, Р. К. Мурасов, В. В. Христин, В. В. Стрілець, С. С. Кривоніс, В. Б. Ротар, В. О. Липовий

Проведені дослідження газового сенсору на основі наноструктурованого оксиду цинку для встановлення умов його отримання та робочих характеристик під впливом цільового газу етанолу. Досліджувані зразки були виготовлені методом магнетронного розпилення на постійному струмі. Метод формування приладової структури був обраним серед інших завдяки тому, що має високу швидкість осадження при невисоких значеннях тиску робочого газу, відсутній перегрів підкладки, низький ступінь забруднення отриманих плівок, можливість отримання рівномірних за товщиною зразків на великій площі підкладки. Для одержання плівок використовували вакуумну установку ВУП-5М з оригінальним матеріалозберігаючим магнітроном. Проведені дослідження впливу температури на опір газового сенсору на основі ZnO. Встановлено, що зміна опору досліджуваного зразка залежить від температури підкладки. Опір газового сенсору в атмосферному повітрі знижується зі зростанням температури підкладки від кімнатної (25 °C) до 200 °C. Подальше збільшення температури від 200 °C призводить до зростання опору структури до моменту його стабілізації в діапазоні температур 300–400 °C. Встановлено, що робочий температурний діапазон газового сенсору на основі ZnO знаходиться в межах 300–400 °C. Досліджено характеристики газового сенсору на основі ZnO та визначена робоча температура сенсору для швидкої ідентифікації етанолу в атмосферному повітрі при концентрації цільового газу на рівні 500 ppm. Встановлено, що для експресної роботи приладової структури температура підкладки повина складати 400 °C, зниження або підвищення температури призводить до зниження чутливості сенсору до цільового газу. Встановлено, що газовий сенсор демонструє стабільність і послідовну реакцію чутливості при повторному впливі цільового газу.

Ключові слова: ZnO, газовий сенсор, магнітронне розпилення, робоча температура, чутливість, стабільність реакції.