

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306712
DEVELOPMENT A NOVEL DESIGN OF
MINIATURIZED HEPTAGONAL KOCH FRACTAL
WIDE BAND ANTENNA FOR 5G MM WAVE AND IOT
APPLICATIONS (p. 6–14)

Ruslan Kassym

Academy of Logistic and Transport,
 Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8024-5224>

Turdybek Balgynbek

Academy of Logistic and Transport,
 Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0059-2061>

Tansaule Serikov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7026-7702>

Patam Ahmetova

Academy of Logistic and Transport,
 Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3788-3671>

Gani Sergazin

Academy of Logistic and Transport,
 Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2762-473X>

Kasymbek Ozhikenov

Satbayev University,
 Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2026-5295>

Tanirnazar Sultangazyev

Academy of Logistic and Transport,
 Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3495-8450>

Pramod Kumar

B.V. Raju Institute of Technology, Taljarampet,
 Telangana, India

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2810-2765>

Akmaral Tlenshiyeva

Academy of Logistic and Transport,
 Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8105-1632>

Nursultan Yernazarov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
 Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5910-030X>

The object of the study is a compact heptagonal broadband antenna specially designed for use in the 5G millimeter band using Koch fractals to improve performance. As a result of the study, the most important problem of achieving higher gain, improving bandwidth and reducing interference at higher frequencies, which is necessary for the effective functioning of 5G networks, was solved. As a result, the maximum realized gain of 5 dB was obtained at a frequency of 27.58 GHz with an impressive bandwidth in the range from 26.5 to 40 GHz.

The use of Koch fractal geometry and defective ground planes significantly improves impedance matching and expands bandwidth, which explains the excellent antenna performance compared to traditional designs. The features and distinguishing features of the results obtained, thanks to which they allowed solving the problem under study, are its compact dimensions (only 9 mm by 9 mm) and the ability to maintain VSWR at a level of less than 2 in the entire frequency spectrum. These features make the antenna particularly suitable for millimeter-band integration and flexible applications such as portable devices and wearable home appliances.

The field of practical application of the results includes integration into portable and wearable devices, improving the performance and connectivity of Internet of Things applications. The conditions of practical use require compliance with 5G network standards and compatibility with millimeter-wave technologies. This characterizes the antenna as a significant achievement in antenna technology, demonstrating its potential for widespread adoption in next-generation wireless communication systems and paving the way for more reliable and high-performance wireless networks.

Keywords: heptagonal, Koch fractal, defective ground, 5G, wide band, high gain.

References

- Saharsh, S. B., Viswasom, S., Santhosh Kumar, S. (2020). Design and Analysis of Koch Snowflake Fractal Antenna Array. 2020 Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC). <https://doi.org/10.1109/i-smac49090.2020.9243518>
- Jilani, S. F., Aziz, A. K., Abbasi, Q. H., Alomayni, A. (2018). Ka-band Flexible Koch Fractal Antenna with Defected Ground Structure for 5G Wearable and Conformal Applications. 2018 IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC). <https://doi.org/10.1109/pimrc.2018.8580692>
- Bhatia, S. S., Sivia, J. S., Sharma, N. (2018). An Optimal Design of Fractal Antenna with Modified Ground Structure for Wideband Applications. *Wireless Personal Communications*, 103 (3), 1977–1991. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5891-2>
- Malik, R., Singh, P., Ali, H., Goel, T. (2018). A Star Shaped Super-wide Band Fractal Antenna for 5G Applications. 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT). <https://doi.org/10.1109/i2ct.2018.8529404>
- Hafid, T., Abdellah, N., Fatima, R., Abdelwahed, T., Angel, M. (2015). Miniaturized Ultra Wideband Microstrip Antenna Based on a Modified Koch Snowflake Geometry for Wireless Applications. *American Journal of Electromagnetics and Applications*, 3 (6), 38–42. Available at: https://www.researchgate.net/publication/282943472_Miniaturized_Ultra_Wideband_Microstrip_Antenna_Based_on_a_Modified_Koch_Snowflake_Geometry_for_Wireless_Applications
- Dwairi, M. O., Soliman, M. S., Alahmadi, A. A., Almalki, S. H. A., Abu Sulayman, I. I. M. (2019). Design and Performance Analysis of

- Fractal Regular Slotted-Patch Antennas for Ultra-Wideband Communication Systems. *Wireless Personal Communications*, 105 (3), 819–833. <https://doi.org/10.1007/s11277-019-06123-5>
7. Khan, I., Devanagavi, G. D., Sudhindra, K. R., Vandana, K. M., Manohara Pai, M. M., Ali, T. (2019). A Sierpinski Carpet Five Band Antenna for Wireless Applications. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 65 (4), 551–556. <https://doi.org/10.24425/ijet.2019.129812>
 8. Tiwari, D., Ansari, J. A., Saroj, A. Kr., Kumar, M. (2020). Analysis of a Miniaturized Hexagonal Sierpinski Gasket fractal microstrip antenna for modern wireless communications. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 123, 153288. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2020.153288>
 9. Siddiqui, M. G., Saroj, A. K., Tiwari, D., Sayeed, S. S. (2019). Koch–Sierpinski Fractal Microstrip antenna for C/X/Ku-band applications. *Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 16 (4), 369–377. <https://doi.org/10.1080/1448837x.2019.1677121>
 10. Nagabhushana, H. M., Byrareddy, C. R., Thangadurai, N. (2017). Heptagonal Shaped Slotted Broad Band Patch Antenna for Wireless Applications. *International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR)*, 02 (07), 57–66. Available at: <http://www.ijlemer.com/papers/volume2-issue7/10-IJLEMR-22296.pdf>
 11. Gundala, S., SrinivasaBaba, V., Vijaya, A., Machanna, S. (2019). Compact High Gain Hexagonal Fractal Antenna for 5G applications. 2019 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). <https://doi.org/10.1109/ants47819.2019.9118053>
 12. Li, W., He, W., Lai, Z., Liu, S. (2020). Study of A 28-GHz Tree-shaped Fractal Millimeter Wave Antenna. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 558 (5), 052026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/558/5/052026>
 13. Ez-Zaki, F., Belarrah, H., Ghammaz, A., Ahmad, S., Khabba, A., Belaid, K. A. et al. (2023). Double Negative (DNG) Metamaterial-Based Koch Fractal MIMO Antenna Design for Sub-6-GHz V2X Communication. *IEEE Access*, 11, 77620–77635. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3296599>
 14. Chaudhary, A. K., Manohar, M. (2022). A Modified SWB Hexagonal Fractal Spatial Diversity Antenna With High Isolation Using Meander Line Approach. *IEEE Access*, 10, 10238–10250. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3144850>
 15. Aylapogu, P., Gurralla, K. (2022). A mm wave circularly polarized tri-band saucer shaped antenna for under water monitoring. *Microsystem Technologies*, 28 (8), 1739–1750. <https://doi.org/10.1007/s00542-022-05290-z>
 16. Pramod Kumar, A., Kiran Kumar, G. (2022). A novel high gain dual band ear bud shaped patch antenna for under water communications. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 33 (11). <https://doi.org/10.1002/ett.4577>
 17. Aylapogu, P. K., Gurralla, K. K. (2023). MM wave based multi-band spider slot patch antenna for 5G and underwater communication. *Microsystem Technologies*, 29 (11), 1547–1556. <https://doi.org/10.1007/s00542-023-05527-5>
 18. Sonker, A., Nayak, A. K., Goel, T., Patnaik, A. (2023). Multifunctional Antenna Design for Wireless Consumer Electronic Devices: A Soft-Computing Approach. *IEEE Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 46 (2), 144–156. <https://doi.org/10.1109/icjece.2023.3243994>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304327

ESTABLISHING MECHANISMS FOR NONLINEAR COLLECTOR TRIBODYNAMICS OF MAGNETIZATION UNDER FERRORESONANCE REGIMES (p. 15–24)

Yuriy Zasp

Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3274-172X>

Aleksandr Dykha

Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3020-9625>

Serhii Matiukh

Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9899-109X>

Maksym Dykha

Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6075-1549>

Oleksandr Lytvynov

Khmelnitskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9540-0327>

The paper considers a parallel electromagnetic oscillating circuit with a nonlinear inductance under conditions of excitation of ferromagnetic resonances. Physical mechanisms of dynamic self-regulation of the system of spin magnetic moments of ferromagnetic and ferrimagnetic dielectrics in the surrounding magnetic field are established. It is shown that upon entering the magnetic saturation regime, the effect of dynamic antiferromagnetic resonance is observed, due to the cyclic reversal of magnetization in the internal magnetic field. This effect has a collector character and corresponds to the maximum potential energy of the magnetic moment in the field and the antiparallel orientation of the moment with respect to the field. Such regimes are realized in thermodynamically non-equilibrium conditions and are correlated with unstable equilibrium positions of the corresponding mechanical analogues. The resulting forms of oscillations correlate with the dynamics of an inverted pendulum and have a significantly non-harmonic character. Autosynchronization of frequencies and nonlinear mixing of such forms with quasi-static modes imitating the time form of external excitation of oscillations were revealed. It is shown that the nonlinearity of ferromagnetic elements self-limits the height of resonance maxima. And on the other hand, it contributes to the cascade transport of energy by the spectrum of disturbances, which can have negative consequences when exciting low-frequency ferromagnetic resonances in power grids. The effect of dynamic antiferromagnetic resonance has the opposite direction to the known quasi-static behavior of the system of spin magnetic moments in an external field and must be taken into account when calculating and operating electrical systems with nonlinear inductances. Examples of collector self-oscillating modes similar in their physical mechanisms in nonlinear contact tribodynamics systems are given.

Keywords: ferromagnetic resonance, oscillating circuit, magnetization dynamics, collector system, magnetic moment, contact tribodynamics.

References

1. Bakhor, Z., Yatseiko, A., Ferensovych, R. (2020). Assessment of ferromagnetic resonance processes in schemes of 6-35 kV electrical grids on the basis of reliability analysis. *Energy Engineering and Control Systems*, 6 (2), 137–145. <https://doi.org/10.23939/jeecs2020.02.137>

2. Akinci, T. C., Akgun, O., Yilmaz, M., Martinez-Morales, A. A. (2023). High Order Spectral Analysis of Ferroresonance Phenomena in Electric Power Systems. *IEEE Access*, 11, 61289–61297. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3286817>
3. Olguín-Becerril, M. A., Angeles-Camacho, C., Fuerte-Esquivel, C. R. (2014). Ferroresonance in subharmonic 3rd mode in an inductive voltage transformer, a real case analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 61, 318–325. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.03.057>
4. Sharbain, H. A., Osman, A., El-Hag, A. (2017). Detection and identification of ferroresonance. 2017 7th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO). <https://doi.org/10.1109/icmsao.2017.7934904>
5. Martinez, R., Arroyo, A., Pigazo, A., Manana, M., Bayona, E., Azcondo, F. J. et al. (2022). Acoustic Noise-Based Detection of Ferroresonance Events in Isolated Neutral Power Systems with Inductive Voltage Transformers. *Sensors*, 23(1), 195. <https://doi.org/10.3390/s23010195>
6. Klimas, M., Majka, Ł. (2019). Enhancing the possibilities in visualisation of the ferroresonance phenomenon. *Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering*, 98, 115–124. <https://doi.org/10.21008/j.1897-0737.2019.98.0010>
7. Solak, K., Rebizant, W., Kereit, M. (2020). Detection of Ferroresonance Oscillations in Medium Voltage Networks. *Energies*, 13 (16), 4129. <https://doi.org/10.3390/en13164129>
8. Schmoor, D. S., Markó, D., Lin, K.-W., Hierro-Rodríguez, A., Quirós, C., Díaz, J. et al. (2021). Ferromagnetic Resonance Studies in Magnetic Nanosystems. *Magnetochemistry*, 7 (9), 126. <https://doi.org/10.3390/magnetochemistry7090126>
9. Abdel-hamed, A. M., M. EL-Shafy, M., A. Badran, E. (2022). Elimination of ferroresonance in the distribution zone by high ohmic reactor-shunt limiter. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 28 (3), 1286. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v28.i3.pp1286-1296>
10. Zaspá, Y., Dykha, A., Marchenko, D., Matiukh, S., Kukurudzjak, Y. (2020). Exchange interaction and models of contact generation of disturbances in tribosystems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (106)), 25–34. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.209927>
11. Dykha, A. V., Zaspá, Yu. P., Slashchuk, V. O. (2018). Triboacoustic Control of Fretting. *Journal of Friction and Wear*, 39 (2), 169–172. <https://doi.org/10.3103/s1068366618020046>
12. Dykha, A., Makovkin, O. (2019). Physical basis of contact mechanics of surfaces. *Journal of Physics: Conference Series*, 1172, 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1172/1/012003>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304804

CONSTRUCTING MATHEMATICAL MODELS OF THERMAL CONDUCTIVITY IN INDIVIDUAL ELEMENTS AND UNITS OF ELECTRONIC DEVICES AT LOCAL HEATING CONSIDERING THERMOSENSITIVITY (p. 25–35)

Vasyl Havrysh

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3092-2279>

Elvira Dzhumelia

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3146-8725>

Stepan Kachan

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0306-9110>

Pavlo Serdyuk

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2677-3170>

Viktoria Maikher

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0786-6950>

This paper considers a heat conduction process for an isotropic medium with local external and internal thermal heating. It was necessary to construct linear and non-linear mathematical models for determining the temperature field, and consequently, for the analysis of temperature regimes in these heat-active environments. To solve the linear boundary value problems and the resulting linearized boundary value problems with respect to the Kirchhoff transformation, the Henkel integral transformation method was used, as a result of which the analytical solutions to these problems were obtained. For a heat-sensitive environment, as an example, a linear dependence of the coefficient of thermal conductivity of the structural material of the structure on temperature, which is often used in many practical problems, was chosen. As a result, analytical relations for determining the temperature distribution in this environment were established. To determine the numerical values of the temperature and analyze the heat exchange processes in the given structure, caused by the external heat load, a geometric image of the temperature distribution was constructed depending on spatial coordinates. The resulting linear and non-linear mathematical models testify to their adequacy to the real physical process. They make it possible to analyze heat-active media regarding their thermal resistance. As a result, it becomes possible to increase it and protect it from overheating, which can cause the destruction of not only individual nodes and their elements but the entire structure as well.

Keywords: temperature field, thermal conductivity of material, convective heat exchange, heat flow, thermal resistance of structures.

References

1. Haopeng, S., Kunkun, X., Cunfa, G. (2021). Temperature, thermal flux and thermal stress distribution around an elliptic cavity with temperature-dependent material properties. *International Journal of Solids and Structures*, 216, 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2021.01.010>
2. Zhang, Z., Zhou, D., Fang, H., Zhang, J., Li, X. (2021). Analysis of layered rectangular plates under thermo-mechanical loads considering temperature-dependent material properties. *Applied Mathematical Modelling*, 92, 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.10.036>
3. Gong, J., Xuan, L., Ying, B., Wang, H. (2019). Thermoelastic analysis of functionally graded porous materials with temperature-dependent properties by a staggered finite volume method. *Composite Structures*, 224, 111071. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111071>
4. Demirbas, M. D. (2017). Thermal stress analysis of functionally graded plates with temperature-dependent material properties using theory of elasticity. *Composites Part B: Engineering*, 131, 100–124. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.08.005>
5. Ghannad, M., Yaghoobi, M. P. (2015). A thermoelasticity solution for thick cylinders subjected to thermo-mechanical loads under various

- boundary conditions. *International Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology*, 8 (4). Available at: <https://sanad.iau.ir/journal/admt/Article/534941?jid=534941>
6. Parhizkar Yaghoobi, M., Ghannad, M. (2020). An analytical solution for heat conduction of FGM cylinders with varying thickness subjected to non-uniform heat flux using a first-order temperature theory and perturbation technique. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 116, 104684. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.104684>
 7. Eker, M., Yarimpabuç, D., Çelebi, K. (2020). Thermal stress analysis of functionally graded solid and hollow thick-walled structures with heat generation. *Engineering Computations*, 38 (1), 371–391. <https://doi.org/10.1108/ec-02-2020-0120>
 8. Bayat, A., Moosavi, H., Bayat, Y. (2015). Thermo-mechanical analysis of functionally graded thick spheres with linearly time-dependent temperature. *Scientia Iranica*, 22 (5), 1801–1812. Available at: https://scientiairanica.sharif.edu/article_3743.html
 9. Evstatieva, N., Evstatiev, B. (2023). Modelling the Temperature Field of Electronic Devices with the Use of Infrared Thermography. 2023 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE). <https://doi.org/10.1109/atee58038.2023.10108375>
 10. Liu, H., Yu, J., Wang, R. (2023). Dynamic compact thermal models for skin temperature prediction of portable electronic devices based on convolution and fitting methods. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 210, 124170. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2023.124170>
 11. Bianco, V., De Rosa, M., Vafai, K. (2022). Phase-change materials for thermal management of electronic devices. *Applied Thermal Engineering*, 214, 118839. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118839>
 12. Mathew, J., Krishnan, S. (2021). A Review On Transient Thermal Management of Electronic Devices. *Journal of Electronic Packaging*. <https://doi.org/10.1115/1.4050002>
 13. Zhou, K., Ding, H., Steenbergen, M., Wang, W., Guo, J., Liu, Q. (2021). Temperature field and material response as a function of rail grinding parameters. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 175, 121366. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121366>
 14. Liu, X., Peng, W., Gong, Z., Zhou, W., Yao, W. (2022). Temperature field inversion of heat-source systems via physics-informed neural networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 113, 104902. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104902>
 15. Kong, Q., Jiang, G., Liu, Y., Yu, M. (2020). Numerical and experimental study on temperature field reconstruction based on acoustic tomography. *Applied Thermal Engineering*, 170, 114720. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114720>
 16. Havrysh, V., Kochan, V. (2023). Mathematical Models to Determine Temperature Fields in Heterogeneous Elements of Digital Devices with Thermal Sensitivity Taken into Account. 2023 IEEE 12th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS). <https://doi.org/10.1109/idaacs58523.2023.10348875>
 17. Havrysh, V. I., Kolyasa, L. I., Ukhanska, O. M., Loik, V. B. (2019). Determination of temperature field in thermally sensitive layered medium with inclusions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 76–82. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-1/5>
 18. Havrysh, V., Ovchar, I., Baranetskyj, J., Pelekh, J., Serduik, P. (2017). Development and analysis of mathematical models for the process of thermal conductivity for piecewise uniform elements of electronic systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (85)), 23–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.92551>
 19. Havrysh, V. I., Kosach, A. I. (2012). Boundary-value problem of heat conduction for a piecewise homogeneous layer with foreign inclusion. *Materials Science*, 47 (6), 773–782. <https://doi.org/10.1007/s11003-012-9455-4>
 20. Gavrysh, V., Tushnytskyi, R., Pelekh, Y., Pukach, P., Baranetskyi, Y. (2017). Mathematical model of thermal conductivity for piecewise homogeneous elements of electronic systems. 2017 14th International Conference The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM). <https://doi.org/10.1109/cadsm.2017.7916146>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306711

IMPROVEMENT OF FIBER OPTIC SENSOR MEASUREMENT METHODS FOR TEMPERATURE AND HUMIDITY MEASUREMENT IN MICROELECTRONIC CIRCUITS (p. 36–44)

Anar Khabay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0409-1531>

Murat Baktybayev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5931-3149>

Serikbek Ibekeyev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1991-8642>

Nurlan Sarsenbayev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8640-7175>

Nuridin Junussov

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9935-8357>

Nurzhhan Zhumakhan

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9548-6896>

A wide range of applications such as healthcare, human comfort, agriculture, food processing and storage, and electronics manufacturing also require fast and accurate measurement of humidity and temperature. Optical fiber-based sensors have several advantages over electronic sensors, and much research has been conducted in this area in recent years. This paper describes the current trends in fiber optic temperature and humidity sensors. The evolution of optical structures aimed at humidity detection is presented, as well as a new design of an optical sensor used for this purpose.

The main methods of humidity determination using fiber-optic laser reflection based on Optical fiber humidity sensor (FPI) were analyzed and experimental results were obtained. Based on temperature-sensitive strain variation, a method for temperature determination based on the specific spectral back-reflection effect of fiber Bragg gratings (FBGs) is considered. Experimental analyses were conducted on the light reflection of humidity-sensitive agarose

using optical fibers based on the Fabry-Perot Interferometer (FPI). It exhibits a good linear response to relative humidity, ranging from 25 % to 95 %. During temperature measurement, the deformation changes of the Fiber Bragg Grating fibers showed excellent performance, ranging from -5°C to 70°C .

New structures, such as resonators, are being explored to improve the resolution of fiber optic temperature and humidity sensors. In addition, recent studies on polymer optical fibers show that the sensitivity of this type of sensor has not yet been achieved. Thus, materials sensitive to humidity and temperature still need to be investigated to improve sensitivity and resolution.

Keywords: Fabry-Perot interferometer, fiber Bragg Grating, relative humidity, optical fibers.

References

- Rao, X., Zhao, L., Xu, L., Wang, Y., Liu, K., Wang, Y. et al. (2021). Review of Optical Humidity Sensors. *Sensors*, 21 (23), 8049. <https://doi.org/10.3390/s21238049>
- Kolpakov, S., Gordon, N., Mou, C., Zhou, K. (2014). Toward a New Generation of Photonic Humidity Sensors. *Sensors*, 14 (3), 3986–4013. <https://doi.org/10.3390/s140303986>
- Fan, L., Bao, Y. (2021). Review of fiber optic sensors for corrosion monitoring in reinforced concrete. *Cement and Concrete Composites*, 120, 104029. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104029>
- Kunelbayev, M., Bigaliyeva, Z., Tuleshov, Y., Ibekeyev, S., Kerimkulov, D. (2023). Thermodynamic Analysis of an Experimental Model of a Solar-Heat Supply System. *Processes*, 11 (2), 451. <https://doi.org/10.3390/pr11020451>
- Hammouche, H., Achour, H., Makhlof, S., Chaouchi, A., Lagrouche, M. (2021). A comparative study of capacitive humidity sensor based on keratin film, keratin/graphene oxide, and keratin/carbon fibers. *Sensors and Actuators A: Physical*, 329, 112805. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112805>
- Schindelholz, E., Risteen, B. E., Kelly, R. G. (2014). Effect of Relative Humidity on Corrosion of Steel under Sea Salt Aerosol Proxies. *Journal of The Electrochemical Society*, 161 (10), C450–C459. <https://doi.org/10.1149/2.0221410jes>
- Huang, C., Xie, W., Yang, M., Dai, J., Zhang, B. (2015). Optical Fiber Fabry-Perot Humidity Sensor Based on Porous Al₂O₃ Film. *IEEE Photonics Technology Letters*, 27 (20), 2127–2130. <https://doi.org/10.1109/lpt.2015.2454271>
- Mekhtiyev, A., Dunayev, P., Neshina, Y., Alkina, A., Aimagambetova, R., Mukhambetov, G. et al. (2023). Power supply via fiber-optical conductor for sensors of mine working monitoring system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (125)), 15–23. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289775>
- Abdykadyrov, A., Marxuly, S., Tashtay, Y., Kuttybayeva, A., Sharipova, G., Anar, K. et al. (2023). Study of the process of cleaning water-containing iron solutions using ozone technology. *Water Conservation & Management*, 7 (2), 148–157. <https://doi.org/10.26480/wcm.02.2023.148.157>
- Zhao, C., Yuan, Q., Fang, L., Gan, X., Zhao, J. (2016). High-performance humidity sensor based on a polyvinyl alcohol-coated photonic crystal cavity. *Optics Letters*, 41 (23), 5515. <https://doi.org/10.1364/ol.41.005515>
- Budnicki, D., Parola, I., Sostkiewicz, L., Markiewicz, K., Holdynski, Z., Wojcik, G. et al. (2020). All-Fiber Vector Bending Sensor Based on a Multicore Fiber With Asymmetric Air-Hole Structure. *Journal of Lightwave Technology*, 38 (23), 6685–6690. <https://doi.org/10.1109/jlt.2020.3012769>
- Mathew, J., Semenova, Y., Farrell, G. (2013). Effect of coating thickness on the sensitivity of a humidity sensor based on an Agarose coated photonic crystal fiber interferometer. *Optics Express*, 21 (5), 6313. <https://doi.org/10.1364/oe.21.006313>
- Ekechukwu, G. K., Sharma, J. (2021). Well-scale demonstration of distributed pressure sensing using fiber-optic DAS and DTS. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91916-7>
- Lu, F., Wright, R., Lu, P., Cvetic, P. C., Ohodnicki, P. R. (2021). Distributed fiber optic pH sensors using sol-gel silica based sensitive materials. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 340, 129853. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129853>
- Zheng, X., Shi, B., Zhang, C.-C., Sun, Y., Zhang, L., Han, H. (2021). Strain transfer mechanism in surface-bonded distributed fiber-optic sensors subjected to linear strain gradients: Theoretical modeling and experimental validation. *Measurement*, 179, 109510. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109510>
- Mikhailov, P., Ualiyev, Z., Kabdoldina, A., Smailov, N., Khikmetov, A., Malikova, F. (2021). Multifunctional fiber-optic sensors for space infrastructure. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (113)), 80–89. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242995>
- Zhu, C., Zheng, H., Ma, L., Yao, Z., Liu, B., Huang, J., Rao, Y. (2023). Advances in Fiber-Optic Extrinsic Fabry-Perot Interferometric Physical and Mechanical Sensors: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 23 (7), 6406–6426. <https://doi.org/10.1109/jsen.2023.3244820>
- Liu, Z., Zhao, B., Zhang, Y., Zhang, Y., Sha, C., Yang, J., Yuan, L. (2022). Optical fiber temperature sensor based on Fabry-Perot interferometer with photopolymer material. *Sensors and Actuators A: Physical*, 347, 113894. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113894>
- Barmpakos, D., Kaltsas, G. (2021). A Review on Humidity, Temperature and Strain Printed Sensors – Current Trends and Future Perspectives. *Sensors*, 21 (3), 739. <https://doi.org/10.3390/s21030739>
- Zhao, F., Lin, W., Hu, J., Liu, S., Yu, F., Chen, X. et al. (2022). Salinity and Temperature Dual-Parameter Sensor Based on Fiber Ring Laser with Tapered Side-Hole Fiber Embedded in Sagnac Interferometer. *Sensors*, 22 (21), 8533. <https://doi.org/10.3390/s22218533>
- Ge, Q., Zhu, J., Cui, Y., Zhang, G., Wu, X., Li, S. et al. (2022). Fiber optic temperature sensor utilizing thin PMF based Sagnac loop. *Optics Communications*, 502, 127417. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2021.127417>
- Zhao, F., Xiao, D., Lin, W., Chen, Y., Wang, G., Hu, J. et al. (2022). Sensitivity Enhanced Refractive Index Sensor With In-Line Fiber Mach-Zehnder Interferometer Based on Double-Peanut and Er-Doped Fiber Taper Structure. *Journal of Lightwave Technology*, 40 (1), 245–251. <https://doi.org/10.1109/jlt.2021.3118285>
- Zhao, Y., Zhao, J., Wang, X., Peng, Y., Hu, X. (2022). Femtosecond laser-inscribed fiber-optic sensor for seawater salinity and temperature measurements. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 353, 131134. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.131134>
- Liang, H., Wang, J., Zhang, L., Liu, J., Wang, S. (2022). Review of Optical Fiber Sensors for Temperature, Salinity, and Pressure Sensing and Measurement in Seawater. *Sensors*, 22 (14), 5363. <https://doi.org/10.3390/s22145363>

25. Wang, L., Wang, Y. jie, Song, S., Li, F. (2021). Overview of Fibre Optic Sensing Technology in the Field of Physical Ocean Observation. *Frontiers in Physics*, 9. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.745487>
26. Yu, Y., Bian, Q., Lu, Y., Zhang, X., Yang, J., Liang, L. (2019). High Sensitivity All Optical Fiber Conductivity-Temperature-Depth (CTD) Sensing Based on an Optical Microfiber Coupler (OMC). *Journal of Lightwave Technology*, 37 (11), 2739–2747. <https://doi.org/10.1109/jlt.2018.2878475>
27. Akter, S., Ahmed, K., El-Naggar, S. A., Taya, S. A., Nguyen, T. K., Dhasarathan, V. (2020). Highly Sensitive Refractive Index Sensor for Temperature and Salinity Measurement of Seawater. *Optik*, 216, 164901. <https://doi.org/10.1016/j.jleo.2020.164901>
28. Li, H., Qian, X., Zheng, W., Lu, Y., E, S., Zhang, Y. (2020). Theoretical and experimental characterization of a salinity and temperature sensor employing optical fiber surface plasmon resonance (SPR). *Instrumentation Science & Technology*, 48 (6), 601–615. <https://doi.org/10.1080/10739149.2020.1762204>
29. Ramakrishnan, M., Rajan, G., Semenova, Y., Farrell, G. (2016). Overview of Fiber Optic Sensor Technologies for Strain/Temperature Sensing Applications in Composite Materials. *Sensors*, 16 (1), 99. <https://doi.org/10.3390/s16010099>
30. Zhou, J., Guo, J., Chang, M., Chen, Z., Zhao, D., Jia, B. (2022). Moisture sensitive composite fiber based on agarose gel surface modification. *Microwave and Optical Technology Letters*, 64 (12), 2289–2293. <https://doi.org/10.1002/mop.33429>
31. Grogan, C., McGovern, F. R., Staines, R., Amarandei, G., Naydenova, I. (2021). Cantilever-Based Sensor Utilizing a Diffractive Optical Element with High Sensitivity to Relative Humidity. *Sensors*, 21 (5), 1673. <https://doi.org/10.3390/s21051673>
32. Zhang, B.-K., Tan, C.-H. (2017). A Simple Relative Humidity Sensor Employing Optical Fiber Coated with Lithium Chloride. *Physical Science International Journal*, 16 (4), 1–6. <https://doi.org/10.9734/psij/2017/37309>
33. He, C., Korposh, S., Correia, R., Liu, L., Hayes-Gill, B. R., Morgan, S. P. (2021). Optical fibre sensor for simultaneous temperature and relative humidity measurement: Towards absolute humidity evaluation. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 344, 130154. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130154>
34. Zhang, J., Xie, Y., Zhang, Z., Lv, L., Tan, Z. (2021). Research on Optical Fiber Sensor for Environmental Temperature and Humidity of Transmission Line. *E3S Web of Conferences*, 252, 02014. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125202014>
35. Wen, H.-Y., Liu, Y.-C., Chiang, C.-C. (2020). The use of doped conductive bionic muscle nanofibers in a tennis racket-shaped optical fiber humidity sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 320, 128340. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128340>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304597

HEAT FLOW DENSITY MEASUREMENT DURING NON-DESTRUCTIVE TESTING (p. 44–51)

Dana Karabekova

Karaganda Buketov University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8776-4414>

Perizat Kissabekova

Karaganda Buketov University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9860-8473>

Ayanbergen Khassenov

Karaganda Buketov University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5220-9469>

Volodymyr Kucheruk

Uman National University of Horticulture,
Uman, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6422-7779>

Arystan Kudussov

Karaganda Buketov University,
Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2821-6446>

The object of the study is the development of a device capable of accurately and reliably measuring heat flux density in various environments. The development of a heat flux density meter designed for non-destructive analysis of thermal processes in various fields of application is presented.

The developed device is intended for evaluating the thermal insulation condition of underground pipelines. The functionality of the heat flow device relies on comparing standard temperature values with experimental ones measured on the soil surface. To ensure accurate and reliable measurement of heat flux density, the basis is a thermoelectric battery converter, which uses the auxiliary wall method. The heat flow density measuring device is constructed in the shape of a restricted cylinder, with one base serving as the working surface, while the second base establishes thermal contact with the body at ambient temperature. Embedded heaters enable the generation of heat flow through the thermoelectric sensor in directions perpendicular to its base. For calibrating the heat flux device, experiments were conducted using a standard copper-constantan calibration table. Temperature increments were determined from thermo electromotive force, and tests were performed on an existing heating network. The conducted measurements validate the fundamental feasibility of employing the proposed device for implementing the non-destructive thermal testing method on underground heating mains.

The results of the experiment can be used not only for research, but also for monitoring and regulating processes in various fields of science and technology. The developed heat flux meter promises a significant contribution to the development of modern methods for analyzing thermal processes.

The dimensions of the thermoelectric battery converter are also determined and the coefficient (kq) should be in the range from 4.0 to 12.0 W/(m²·mV), and the electrical resistance should be in the range of 12–20 kOhm.

Keywords: heat flow meter, thermoelectric battery converter, copper-constantan thermocouple, non-destructive method.

References

1. Peter, L. (2020). Development of a non-destructive testing method for thermal assessment of a district heating network. *Chalmers University of Technology*, 34. Available at: https://research.chalmers.se/publication/515569/file/515569_Fulltext.pdf
2. Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus: ASTM C177-10.
3. McAfee, K., Sunderland, P. B., Rabin, O. (2023). A heat flux sensor leveraging the transverse Seebeck effect in elemental antimony.

- Sensors and Actuators A: Physical, 363, 114729. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2023.114729>
4. Pullins, C. A., Diller, T. E. (2010). In situ High Temperature Heat Flux Sensor Calibration. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (17-18), 3429–3438. <https://doi.org/10.1016/j.ijheat-masstransfer.2010.03.042>
 5. Saidi, A., Kim, J. (2004). Heat flux sensor with minimal impact on boundary conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 28 (8), 903–908. <https://doi.org/10.1016/j.exptthermflusci.2004.01.004>
 6. Akoshima, M. (2021). Development of an apparatus for practical calibration of heat flux sensors. *Measurement: Sensors*, 18, 100343. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2021.100343>
 7. Pountney, O. J., Patinios, M., Tang, H., Luberti, D., Sangan, C. M., Scobie, J. A. et al. (2021). Calibration of thermopile heat flux gauges using a physically-based equation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 235 (7), 1806–1816. <https://doi.org/10.1177/0957650920982103>
 8. Fralick, G., Wrbanek, J., Blaha, C. (2002). Thin Film Heat Flux Improved Design. *National Aeronautics and Space Administration*, 211566. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20020082950/downloads/20020082950.pdf>
 9. Azerou, B., Garnier, B., Lahmar, J. (2012). Thin film heat flux sensors for accurate transient and unidirectional heat transfer analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 395, 012084. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/395/1/012084>
 10. Kava, M. P., Patel, A. (2023). Design Development and Performance of a Heat Flux Meter Subjected to a Steady State Heat Flux Conditions. Vol. IV Mechanical Engineering, Metallurgical & Materials Engineering, Textile Engineering. Maharaja Sayajirao University of Baroda. Available at: https://www.researchgate.net/publication/370074617_Design_Development_and_Performance_of_a_Heat_Flux_Meter_Subjected_to_a_Steady_State_Heat_Flux_Conditions
 11. Diller, T. E. (2015). Heat Flux Measurement. *Mechanical Engineers' Handbook*, 1–27. <https://doi.org/10.1002/9781118985960.meh407>
 12. Ewing, J., Gifford, A., Hubble, D., Vlachos, P., Wicks, A., Diller, T. (2010). A direct-measurement thin-film heat flux sensor array. *Measurement Science and Technology*, 21 (10), 105201. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/21/10/105201>
 13. Karabekova, D. Zh., Kissabekova, P. A., Khassenov, A. K., Azatbek, Sh. (2021). Pat. No. 6393 RK. A device for measuring heat flow. No. 021/0315.2; declared: 01.04.2021; published: 03.09.2021.
 14. Karabekova, D. Zh., Kissabekova, P. A., Kucheruk, V. Yu., Mus-senova, E. K., Azatbek, Sh. (2022). Main characteristics of the heat flow meter. *Eurasian Physical Technical Journal*, 19 (2 (40)), 71–74. <https://doi.org/10.31489/2022no2/71-74>
 15. Karabekova, D. Zh., Kissabekova, P. A., Nussupbekov, B. R., Khas-senov, A. K. (2021). Analysis of the Insulation State of Underground Pipelines in the Heating Network. *Thermal Engineering*, 68 (10), 802–805. <https://doi.org/10.1134/s0040601521100013>
 16. Kissabekova, P. A., Karabekova, D. Zh., Khassenov, A. K., Kucheruk, V. Yu., Kudusov, A. S., Kyzdarbekova, Sh. S. (2023). Theoretical foundations of the construction of the operation of heat flow devices. *Bulletin of the Karaganda University "Physics Series,"* 1 (109), 80–87. <https://doi.org/10.31489/2023ph1/80-87>
 17. Nussupbekov, B. R., Karabekova, D. Zh., Khassenov, A. K., Nussup-bekov, U. B. (2016). Pat. No. 1588 RK. Heat flow meter. published: 29.07.2016.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299582

**SMART CHARGING PROCESS DEVELOPMENT
BASED ON ANT COLONY OPTIMIZATION MACHINE
LEARNING FOR CONTROLLING LEAD-ACID
BATTERY CHARGING CAPACITY (p. 52–64)**

Selamat Muslimin

Sriwijaya University, Bukit Lama, Kecamatan Ilir Bar. I,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0723-3248>

Zainuddin Nawawi

Sriwijaya University, Bukit Lama, Kecamatan Ilir Bar. I,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4386-9155>

Bhakti Yudho Suprpto

Sriwijaya University, Bukit Lama, Kecamatan Ilir Bar. I,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3995-6347>

Tresna Dewi

Sriwijaya University, Bukit Lama, Kecamatan Ilir Bar. I,
Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0239-1538>

The Indonesian government has targeted 2.1 million two-wheeled electric vehicles and 2,200 four-wheeled electric vehicles (EV) by 2025. This is hampered by limited electricity supply and EV charging, which takes long time. Multi device interleaved DC-DC bidirectional converter has been applied and assessed as the most suitable method for battery EV and plug-in hybrid EV because it produces high power >10 kW. For power below 10 kW, it is recommended to use a sinusoidal, Z-Source, and boost amplifier type converter. The smart charging (SC) system will be applied to electric vehicles, which only require a minimum charging power of around 169 W for four lead acid batteries. This paper focuses on an SC system that is capable of charging the battery quickly while still paying attention to the state of health (SoH) of the battery. The SC developed uses a DC-DC boost converter to increase the voltage produced by the switch mode power supply (SMPS). Estimated charging time is less than 30 minutes and still pay attention to the battery SoH. SC will also use pulse width modulation (PWM) as a duty power cycle regulator. This research applies a multi-layer perceptron (MLP) classifier to a neural network (NN). The results of the research show that smart charging can charge up to 600 W with an estimated charging time of around 11 minutes. The charging condition is above 60 % and the power duty cycle setting is 100 %. The power estimation results processed using the ant colony optimization (ACO) based neural network method show a root mean square deviation value of 0.010013430 for charging four lead acid batteries. These results are useful to help solve the problem of capacity requirements and battery charging speed for EVs, with good SoH.

Keywords: smart charging, ant colony optimization, machine learning, lead acid battery.

References

1. Sun, X., Li, Z., Wang, X., Li, C. (2019). Technology Development of Electric Vehicles: A Review. *Energies*, 13 (1), 90. <https://doi.org/10.3390/en13010090>
2. Li, Z., Khajepour, A., Song, J. (2019). A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. *Energy*, 182, 824–839. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.077>

3. Utami, M. W. D., Yuniaristanto, Y., Sutopo, W. (2020). Adoption Intention Model of Electric Vehicle in Indonesia. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 19 (1), 70–81. <https://doi.org/10.25077/josi.v19.n1.p70-81.2020>
4. Bozhkov, S. (2021). Structure of the Model of Hybrid Electric Vehicle Energy Efficiency. *Trans Motauto World*, 6 (3), 76–79. <https://stumejournals.com/journals/tm/2021/3/76>
5. Ehsani, M., Singh, K. V., Bansal, H. O., Mehrjardi, R. T. (2021). State of the Art and Trends in Electric and Hybrid Electric Vehicles. *Proceedings of the IEEE*, 109 (6), 967–984. <https://doi.org/10.1109/jproc.2021.3072788>
6. Arif, S. M., Lie, T. T., Seet, B. C., Ayyadi, S., Jensen, K. (2021). Review of Electric Vehicle Technologies, Charging Methods, Standards and Optimization Techniques. *Electronics*, 10 (16), 1910. <https://doi.org/10.3390/electronics10161910>
7. Mohamed, N., Aymen, F., Ali, Z. M., Zobia, A. F., Abdel Aleem, S. H. E. (2021). Efficient Power Management Strategy of Electric Vehicles Based Hybrid Renewable Energy. *Sustainability*, 13 (13), 7351. <https://doi.org/10.3390/su13137351>
8. Nieuwenhuis, P., Cipcigan, L., Berkem Sonder, H. (2020). The Electric Vehicle Revolution. *Future Energy*, 227–243. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102886-5.00011-6>
9. Muslimin, S., Maulidda, R., Nawawi, M., Rahman, A., Kurnia, P. M. (2023). The Method of Constant Current - Constant Voltage (CC – CV) for SECA Electric Car Battery Charging with Fuzzy Logic Controller. *Atlantis Highlights in Engineering*, 14–23. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-118-0_3
10. Carter, R., Cruden, A., Hall, P. J., Zaher, A. S. (2012). An Improved Lead–Acid Battery Pack Model for Use in Power Simulations of Electric Vehicles. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 27 (1), 21–28. <https://doi.org/10.1109/tec.2011.2170574>
11. B (2015). *Dictionary of Energy*, 41–81. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-096811-7.50002-0>
12. Bergveld, H. J., Kruijt, W. S., Notten, P. H. L. (2002). *Battery Management Systems*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-0843-2>
13. Adityawan, A. P., Cahya, D. D., Sulistijono, L., Madyono (2013). Sistem Pengisian Batteray Lead Acid Secara Adaptive. *PENS-ITS Sukolilo*, 5 (1).
14. Achaihou, N., Haddadi, M., Malek, A. (2008). Lead acid batteries simulation including experimental validation. *Journal of Power Sources*, 185 (2), 1484–1491. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2008.06.059>
15. Setiaji, B., Dwiono, W., Tamam, M. T. (2020). Rancang Bangun Pengisi Baterai Lead Acid Dan Li-Ion Secara Otomatis Menggunakan Mikrokontroler PIC 16F877A Bersumber Energi Matahari Dengan Pengendali PI. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 1 (2). <https://doi.org/10.30595/jrre.v1i2.5187>
16. Shahriari, M., Farrokhi, M. (2013). Online State-of-Health Estimation of VRLA Batteries Using State of Charge. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60 (1), 191–202. <https://doi.org/10.1109/tie.2012.2186771>
17. Baterai Asam-Timbal. Dede Hendriono. Available at: <https://henduino.github.io/library/ototronik/leadacid/>
18. Thowil Afif, M., Ayu Putri Pratiwi, I. (2015). Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6 (2), 95–99. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1>
19. Wang, L., Qin, Z., Slangen, T., Bauer, P., van Wijk, T. (2021). Grid Impact of Electric Vehicle Fast Charging Stations: Trends, Standards, Issues and Mitigation Measures - An Overview. *IEEE Open Journal of Power Electronics*, 2, 56–74. <https://doi.org/10.1109/ojpe.2021.3054601>
20. Town, G., Taghizadeh, S., Deilami, S. (2022). Review of Fast Charging for Electrified Transport: Demand, Technology, Systems, and Planning. *Energies*, 15 (4), 1276. <https://doi.org/10.3390/en15041276>
21. Sidiq, R. K. (2015). Rancang Bangun Sistem Pengisi Baterai Mobil Listrik Berbasis Mikrokontroler Atmega16. Universitas Jember. Available at: <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/73490/111910201039--ROHMAT%20KHOIRUL%20SIDIQ-1-56.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
22. Yusuf Margowadi, R. A. N., Samodra, B., Dawam, M. D. N. (2021). Pengembangan Pengisi Baterai Cepat 72 Volt Untuk Charging Station Kendaraan Listrik Roda Dua. *Seminar Teknologi Bahan Dan Barang Teknik 2020*, 49–54.
23. Prianto, E., Yuniarti, N., Nugroho, D. C. (2020). Boost-converter sebagai alat pengisian baterai pada sepeda listrik secara otomatis. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4 (1). <https://doi.org/10.21831/jee.v4i1.32632>
24. Camacho, O. M. F., Mihet-Popa, L. (2016). Tests de recharge rapide et intelligente de batteries pour voitures électriques utilisant des énergies renouvelables. *Oil and Gas Science and Technology*, 71 (1).
25. Syafii, Mayura, Y., El Gazaly, A. (2019). Characteristics of Lead-Acid Battery Charging and Discharging Against Residential Load in Tropical Area. 2019 16th International Conference on Quality in Research (QIR): International Symposium on Electrical and Computer Engineering. <https://doi.org/10.1109/qir.2019.8898277>
26. Catherino, H. A., Burgel, J. F., Rusek, A., Feres, F. (1999). Modelling and simulation of lead-acid battery charging. *Journal of Power Sources*, 80 (1-2), 17–20. [https://doi.org/10.1016/s0378-7753\(98\)00248-1](https://doi.org/10.1016/s0378-7753(98)00248-1)
27. Sadeghian, O., Oshnoei, A., Mohammadi-ivatloo, B., Vahidinasab, V., Anvari-Moghaddam, A. (2022). A comprehensive review on electric vehicles smart charging: Solutions, strategies, technologies, and challenges. *Journal of Energy Storage*, 54, 105241. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105241>
28. Xing, Y., Li, F., Sun, K., Wang, D., Chen, T., Zhang, Z. (2022). Multi-type electric vehicle load prediction based on Monte Carlo simulation. *Energy Reports*, 8, 966–972. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.05.264>
29. Mololoth, V. K., Saguna, S., Åhlund, C. (2023). Blockchain and Machine Learning for Future Smart Grids: A Review. *Energies*, 16 (1), 528. <https://doi.org/10.3390/en16010528>
30. Esmalifalak, M., Liu, L., Nguyen, N., Zheng, R., Han, Z. (2017). Detecting Stealthy False Data Injection Using Machine Learning in Smart Grid. *IEEE Systems Journal*, 11 (3), 1644–1652. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2014.2341597>
31. Teichgraber, H., Brandt, A. R. (2019). Clustering methods to find representative periods for the optimization of energy systems: An initial framework and comparison. *Applied Energy*, 239, 1283–1293. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.012>
32. Sakhnini, J., Karimipour, H., Dehghantanha, A., Parizi, R. M. (2021). Physical layer attack identification and localization in

- cyber–physical grid: An ensemble deep learning based approach. *Physical Communication*, 47, 101394. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2021.101394>
33. Javaid, N., Jan, N., Javed, M. U. (2021). An adaptive synthesis to handle imbalanced big data with deep siamese network for electricity theft detection in smart grids. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 153, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2021.03.002>
 34. Pallonetto, F., De Rosa, M., Milano, F., Finn, D. P. (2019). Demand response algorithms for smart-grid ready residential buildings using machine learning models. *Applied Energy*, 239, 1265–1282. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.020>
 35. Srdic, S., Lukic, S. (2019). Toward Extreme Fast Charging: Challenges and Opportunities in Directly Connecting to Medium-Voltage Line. *IEEE Electrification Magazine*, 7 (1), 22–31. <https://doi.org/10.1109/mele.2018.2889547>
 36. Ronanki, D., Kelkar, A., Williamson, S. S. (2019). Extreme Fast Charging Technology—Prospects to Enhance Sustainable Electric Transportation. *Energies*, 12 (19), 3721. <https://doi.org/10.3390/en12193721>
 37. Tu, H., Feng, H., Srdic, S., Lukic, S. (2019). Extreme Fast Charging of Electric Vehicles: A Technology Overview. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5 (4), 861–878. <https://doi.org/10.1109/tte.2019.2958709>
 38. Ant colony optimization (2007). *Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics*. Available at: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781420010749-33/ant-colony-optimization-teofilo-gonzalez?context=ubx&refId=21abeb5d-2476-4646-acdf-25c398f93e16>
 39. Kao, Y., Cheng, K. (2006). An ACO-Based Clustering Algorithm. *Lecture Notes in Computer Science*, 340–347. https://doi.org/10.1007/11839088_31
 40. Dorigo, M., Gambardella, L. M. (1997). Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1 (1), 53–66. <https://doi.org/10.1109/4235.585892>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306712**РОЗРОБКА НОВОГО ДИЗАЙНУ МІНІАТЮРИЗОВАНОЇ СЕМИКУТНОЇ ФРАКТАЛЬНОЇ ШИРОКОСМУГОВОЇ АНТЕНИ КОХА ДЛЯ ЗАСТОСУВАНЬ ДЛЯ ХВИЛЬ 5G MM ТА IoT (с. 6–14)****Ruslan Kassym, Turdybek Balgynbek, Tansaule Serikov, Patam Ahmetova, Gani Sergazin, Kasymbek Ozhikenov, Tanirnaz Sultangazyev, Pramod Kumar, Akmaral Tlenshiyeva, Nursultan Yernazarov**

Об'єктом дослідження є компактна семикутна широкосмугова антена, спеціально розроблена для використання в міліметровому діапазоні 5G з використанням фракталів Коха для підвищення продуктивності. У результаті дослідження було вирішено найважливішу проблему досягнення більшого посилення, покращення пропускну здатності та зменшення перешкод на високих частотах, що необхідно для ефективного функціонування мереж 5G. У результаті було отримано максимальне реалізоване посилення 5 дБ на частоті 27,58 ГГц із вражаючою смугою пропускання в діапазоні від 26,5 до 40 ГГц.

Використання фрактальної геометрії Коха та дефектних площин заземлення значно покращує узгодження імпедансу та розширює смугу пропускання, що пояснює чудові характеристики антени порівняно з традиційними конструкціями. Особливостями та відмінними рисами отриманих результатів, завдяки яким вони дозволили вирішити досліджувану проблему, є його компактні розміри (всього 9 мм на 9 мм) і можливість підтримувати КСВ на рівні менше 2 на всій частоті. спектр. Ці особливості роблять антену особливо придатною для інтеграції міліметрового діапазону та гнучких додатків, таких як портативні пристрої та побутова техніка, що носить.

Сфера практичного застосування результатів включає інтеграцію в портативні та носимі пристрої, покращення продуктивності та підключення додатків Інтернету речей. Умови практичного використання вимагають відповідності стандартам мережі 5G і сумісності з технологіями міліметрового діапазону. Це характеризує антену як значне досягнення в антенних технологіях, демонструючи її потенціал для широкого впровадження в системах бездротового зв'язку наступного покоління та прокладаючи шлях до більш надійних і високопродуктивних бездротових мереж.

Ключові слова: гептагональний, фрактал Коха, дефектна основа, 5G, широка смуга, високий коефіцієнт посилення.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304327**ВСТАНОВЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ НЕЛІНІЙНОЇ КОЛЕКТОРНОЇ ТРИБОДИНАМІКИ НАМАГНІЧЕНОСТІ В ФЕРОРЕЗОНАНСНИХ РЕЖИМАХ (с. 15–24)****Ю. П. Заспа, О. В. Диха, С. А. Матюх, М. О. Диха, О. О. Литвинов**

В роботі розглядається паралельний електромагнітний коливальний контур з нелінійною індуктивністю в умовах збудження ферорезонансів. Встановлюються фізичні механізми динамічної саморегуляція системи спінових магнітних моментів феромагнітних та феримагнітних діелектриків у магнітному полі оточення. Показано, що з виходом на режим магнітного насичення спостерігається ефект динамічного антиферорезонансу, обумовлений циклічним перевертанням намагніченості у внутрішньому магнітному полі. Цей ефект має колекторний характер та відповідає максимуму потенційної енергії магнітного моменту в полі та антипаралельній орієнтації моменту щодо поля. Такого роду режими реалізуються в термодинамічно нерівноважних умовах та співвідносяться з нестійкими положеннями рівноваги відповідних механічних аналогів. Отримані форми коливань корелюють з динамікою перевернутого маятника і мають суттєво негармонічний характер. Виявлена автосинхронізація частот та нелінійне змішування таких форм із квазістатичними модами, що наслідують часову форму зовнішнього збудження коливань. Показано, що нелінійність феромагнітних елементів самообмежує висоту резонансних максимумів. А з іншої сторони ця нелінійність сприяє каскадному транспорту енергії спектром збурень, що може мати негативні наслідки при збудженні низькочастотних ферорезонансів в енергетичних електромережах. Ефект динамічного антиферорезонансу має протилежний напрям щодо відомої квазістатичної поведінки системи спінових магнітних моментів у зовнішньому полі та повинен бути врахований при розрахунках і експлуатації електротехнічних систем з нелінійними індуктивностями. Наведені приклади аналогічних за своїми фізичними механізмами колекторних автоколивальних режимів в системах нелінійної контактної трибодинаміки.

Ключові слова: ферорезонанс, коливальний контур, динаміка намагніченості, колекторна система, магнітний момент, контактна трибодинаміка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304804**РОЗРОБЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ У ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТАХ ТА ВУЗЛАХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ ПРИ ЛОКАЛЬНОМУ НАГРІВАННІ З УРАХУВАННЯМ ТЕРМОЧУТЛИВОСТІ (с. 25–35)****В. І. Гавриш, Е. А. Джумеля, С. І. Качан, П. В. Сердюк, В. Ю. Майхер**

Розглянуто процес теплопровідності для ізотропного середовища з локальним зовнішнім та внутрішнім тепловим нагріванням. Потрібно розробити лінійні та нелінійні математичні моделі визначення температурного поля, а в подальшому і аналізу температур-

них режимів в цих теплоактивних середовищах. Для розв'язування лінійних крайових задач і отриманих лінеаризованих крайових задач відносно перетворення Кірхгофа використано метод інтегрального перетворення Генкеля, внаслідок чого отримано аналітичні розв'язки цих задач. Для термочутливого середовища, як приклад, вибрано лінійну залежність коефіцієнта теплопровідності конструкційного матеріалу структури від температури, яку часто використовують у багатьох практичних задачах. У результаті отримано аналітичні співвідношення для визначення розподілу температури у цьому середовищі. Для визначення числових значень температури та аналізу теплообмінних процесів у наведеній конструкції, зумовлених зовнішнім тепловим навантаженням, виконано геометричне зображення розподілу температури залежно від просторових координат. Розроблені лінійні та нелінійні математичні моделі свідчать про їх адекватність реальному фізичному процесу. Вони дають змогу аналізувати теплоактивні середовища щодо їх термостійкості. Як наслідок, стає можливим її підвищити і захистити від перегрівання, яке може спричинити руйнування не тільки окремих вузлів та їх елементів, а й всієї конструкції.

Ключові слова: температурне поле, теплопровідність матеріалу, конвективний теплообмін, тепловий потік, термостійкість конструкцій.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.306711

УДОСКОНАЛЕННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ В МІКРОЕЛЕКТРОННИХ СХЕМАХ (с. 36–44)

Anar Khabay, Murat Baktybayev, Serikbek Ibekeyev, Nurlan Sarsenbayev, Nuridin Junussov, Nurzhan Zhumakhan

Широкий спектр застосувань, таких як охорона здоров'я, забезпечення комфорту людини, сільське господарство, обробка та зберігання продуктів харчування та виробництво електроніки, також вимагає швидкого та точного вимірювання вологості та температури. Датчики на основі оптоволоконна мають ряд переваг перед електронними датчиками, і в останні роки в цій галузі було проведено багато досліджень. Ця стаття описує сучасні тенденції у волоконно-оптичних датчиках температури та вологості. Представлено еволюцію оптичних структур, спрямованих на виявлення вологості, а також нову конструкцію оптичного датчика, який використовується для цієї мети.

Проаналізовано основні методи визначення вологості за допомогою волоконно-оптичного лазерного відбиття на основі оптоволоконного датчика вологості та отримано експериментальні результати. Розглянуто метод визначення температури, заснований на зміні деформації, чутливої до температури, на основі специфічного спектрального ефекту зворотного відбиття волоконних бреггівських решіток. Було проведено експериментальний аналіз відбиття світла чутливою до вологості агарозою за допомогою оптичних волокон на основі інтерферометра Фабрі-Перо. Він демонструє хорошу лінійну реакцію на відносну вологість у діапазоні від 25 % до 95 %. Під час вимірювання температури зміни деформації волокон волоконних бреггівських решіток показали чудові характеристики в діапазоні від -5°C до 70°C .

Досліджуються нові структури, такі як резонатори, щоб покращити роздільну здатність волоконно-оптичних датчиків температури та вологості. Крім того, нещодавні дослідження полімерних оптичних волокон показують, що чутливість цього типу датчика ще не досягнута. Таким чином, матеріали, чутливі до вологості та температури, все ще потребують дослідження для покращення чутливості та роздільної здатності.

Ключові слова: інтерферометр Фабрі-Перо, волоконна бреггівська решітка, відносна вологість, оптичні волокна.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.304597

ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ ТЕПЛООВОГО ПОТОКУ ПРИ НЕРУЙНІВНОМУ КОНТРОЛІ (с. 44–51)

Dana Karabekova, Perizat Kissabekova, Ayanbergen Khassenov, Volodymyr Kucheruk, Arystan Kudussov

Об'єктом дослідження є розробка пристрою, здатного точно та надійно вимірювати густину теплового потоку у різних середовищах. Представлено розробку вимірювача густини теплового потоку, призначеного для неруйнівного аналізу теплових процесів у різних сферах застосування.

Розроблений пристрій призначений для оцінки стану теплоізоляції підземних трубопроводів. Функціональність пристрою вимірювання теплового потоку заснована на порівнянні стандартних значень температури з експериментальними, виміряними на поверхні ґрунту. Для забезпечення точного та надійного вимірювання густини теплового потоку в основі лежить термоелектричний акумуляторний перетворювач, в якому використовується метод допоміжної стінки. Пристрій вимірювання густини теплового потоку виконано у формі обмеженого циліндра, одна основа якого служить робочою поверхнею, а друга забезпечує тепловий контакт з корпусом за температури навколишнього середовища. Вбудовані нагрівачі дозволяють генерувати тепловий потік через термоелектричний датчик у напрямках, перпендикулярних до його основи. Для калібрування пристрою вимірювання теплового потоку проведені експерименти з використанням стандартної калібрувальної таблиці для мідно-константанової термопари. Підвищення температури визначалося за термоелектрорушійною силою, випробування проводилися на існуючій тепломережі. Проведені вимірювання підтверджують принципову можливість використання запропонованого пристрою для реалізації методу теплового неруйнівного контролю на підземних теплотрасах.

Результати експерименту можуть бути використані не тільки для наукових досліджень, але і для контролю та регулювання процесів у різних областях науки і техніки. Розроблений вимірювач теплового потоку зробить значний внесок у розвиток сучасних методів аналізу теплових процесів.

Також визначено розміри термоелектричного акумуляторного перетворювача, коефіцієнт (k_q) повинен знаходитися в межах від 4,0 до 12,0 Вт/(м²·мВ), електричний опір – 12–20 кОм.

Ключові слова: вимірювач теплового потоку, термоелектричний акумуляторний перетворювач, мідно-константанова термопара, неруйнівний метод.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299582

РОЗРОБКА ПРОЦЕСУ РОЗУМНОЇ ЗАРЯДКИ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИМІЗАЦІЇ МУРАШИНОЇ КОЛОНІЇ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗАРЯДНОЇ ЄМНОСТІ СВИНЦЕВО-КИСЛОТНИХ АКУМУЛЯТОРІВ (с. 52–64)

Muslimin Selamat, Nawawi Zainuddin, Suprpto B. Yudho, Dewi Tresna

Уряд Індонезії поставив за мету до 2025 року випустити 2,1 мільйона двоколісних та 2200 чотириколісних електромобілів. Цьому перешкоджають обмежене електропостачання і тривала зарядка електромобілів. Був застосований двонаправлений перетворювач постійного струму з чергуванням декількох пристроїв та оцінений як найбільш підходящий варіант для акумуляторних та гібридних електромобілів з підзарядкою завдяки забезпеченню високої потужності >10 кВт. При потужності менше 10 кВт рекомендується використовувати синусоїдальний імпедансний підвищуючий перетворювач. Система розумної зарядки (SC) застосовуватиметься для електромобілів з мінімальною потужністю зарядки лише близько 169 Вт для чотирьох свинцево-кислотних акумуляторів. У даній роботі розглядається система SC, яка здатна швидко заряджати акумулятор, при цьому зберігаючи його працездатність (SoH). У розробленій SC використовується підвищуючий перетворювач постійного струму для збільшення напруги, що виробляється імпульсним джерелом живлення (SMPS). Розрахунковий час зарядки становить менше 30 хвилин, при цьому варто звертати увагу на SoH акумулятора. При SC також використовуватиметься широтно-імпульсна модуляція (PWM) в якості регулятора робочого циклу. У дослідженні застосовується класифікатор на основі багатозарядного перцептрона (MLP) для нейронної мережі (NN). Результати дослідження показують, що розумна зарядка може заряджати до 600 Вт при розрахунковому часі зарядки близько 11 хвилин. Рівень зарядки перевищує 60 %, а робочий цикл становить 100 %. Результати оцінки потужності, оброблені методом нейронної мережі на основі оптимізації мурашиної колонії (ACO), показують значення середньоквадратичного відхилення 0,010013430 для зарядки чотирьох свинцево-кислотних акумуляторів. Ці результати можуть застосовуватися для вирішення проблеми вимог до ємності та швидкості зарядки акумуляторів для електромобілів з гарним SoH.

Ключові слова: розумна зарядка, оптимізація мурашиної колонії, машинне навчання, свинцево-кислотний акумулятор.