

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED PHYSICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241694

ANALYSIS OF THE EFFECT OF ULTRASONIC VIBRATION ON NANOFLUID AS COOLANT IN ENGINE RADIATOR (p. 6–13)

Sudarmadji Sudarmadji

State Polytechnic of Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3572-2711>

Santoso

State Polytechnic of Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4461-5432>

Sugeng Hadi Susilo

State Polytechnic of Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-2039>

The paper discusses the combined methods of increasing heat transfer, effects of adding nanofluids and ultrasonic vibration in the radiator using radiator coolant (RC) as a base fluid. The aim of the study is to determine the effect of nanoparticles in fluids (nanofluid) and ultrasonic vibration on the overall heat transfer coefficient in the radiator. Aluminum oxide nanoparticles of 20–50 nm in size produced by Zhejiang Ultrafine powder & Chemical Co, Ltd China were used, and the volume concentration of the nanoparticles varied from 0.25 %, 0.30 % and 0.35 %. By adjusting the fluid flow temperature of the radiator from 60 °C to 80 °C, the fluid flow rate varies from 7 to 11 lpm. The results showed that the addition of nanoparticles and ultrasonic vibration to the radiator coolant increases the overall heat transfer coefficient by 62.7 % at a flow rate of 10 liter per minute and temperature of 80 °C for 0.30 % particles volume concentration compared to pure RC without vibration. The effect of ultrasonic vibration on pure radiator coolant without vibration increases the overall heat transfer coefficient by 9.8 % from 385.3 W/m²·°C to 423.3 W/m²·°C at a flow rate of 9 liter per minute at a temperature of 70 °C. The presence of particles in the cooling fluid improves the overall heat transfer coefficient due to the effect of ultrasonic vibrations, nanofluids with a volume concentration of 0.25 % and 0.30 % increased about 10.1 % and 15.7 %, respectively, compared to no vibration. While, the effect of nanoparticles on pure radiator coolant at 70 °C enhanced the overall heat transfer coefficient by about 39.6 % at a particle volume concentration of 0.35 % compared to RC, which is 390.4 W/m²·°C to 545.1 W/m²·°C at 70 °C at a flow rate of 10 liter per minute.

Keywords: nanofluid, aluminum oxide, radiator coolant, ultrasonic vibration, overall heat transfer coefficient.

References

- Peyghambarzadeh, S. M., Hashemabadi, S. H., Hoseini, S. M., Seifi Jamnani, M. (2011). Experimental study of heat transfer enhancement using water/ethylene glycol based nanofluids as a new coolant for car radiators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38 (9), 1283–1290. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.07.001>
- Afifah, A. N., Syahrullail, S., Che Sidik, N. A. (2015). Natural convection of alumina-distilled water nanofluid in cylindrical enclosure: an experimental study. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 12 (1), 1–10. Available at: <https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/arfmts/article/view/2047/1023>
- Khan, J. A., Mustafa, M., Hayat, T., Alsaedi, A. (2015). Three-dimensional flow of nanofluid over a non-linearly stretching sheet: An application to solar energy. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 86, 158–164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.02.078>
- Khattak, M. A., Mukhtar, A., Afaq, S. K. (2020). Application of Nano-Fluids as Coolant in Heat Exchangers: A Review. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, 66 (1), 8–18. doi: <https://doi.org/10.37934/arms.66.1.818>
- Sinz, C. K., Woei, H. E., Khalis, M. N., Ali Abbas, S. I. (2016). Numerical study on turbulent force convective heat transfer of hybrid nanofluid, Ag/HEG in a circular channel with constant heat flux. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 24 (1), 1–11. Available at: <https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/arfmts/article/view/2075/1049>
- Subhedar, D. G., Ramani, B. M., Gupta, A. (2018). Experimental Investigation of Heat Transfer Potential of Al₂O₃/Water-Mono Ethylene Glycol Nanofluids as a Car Radiator Coolant. *Case Studies in Thermal Engineering*, 11, 26–34. doi: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.11.009>
- Tijani, A. S., Sudirman, A. S. bin (2018). Thermos-physical properties and heat transfer characteristics of water/anti-freezing and Al₂O₃/CuO based nanofluid as a coolant for car radiator. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 118, 48–57. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.10.083>
- Selvam, C., Solaimalai Raja, R., Mohan Lal, D., Harish, S. (2017). Overall heat transfer coefficient improvement of an automobile radiator with graphene based suspensions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 115, 580–588. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.08.071>
- Gondrexon, N., Cheze, L., Jin, Y., Legay, M., Tissot, Q., Hengl, N. et al. (2015). Intensification of heat and mass transfer by ultrasound: Application to heat exchangers and membrane separation processes. *Ultrasonics Sonochemistry*, 25, 40–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2014.08.010>
- Legay, M., Simony, B., Boldo, P., Gondrexon, N., Le Person, S., Bontemps, A. (2012). Improvement of heat transfer by means of ultrasound: Application to a double-tube heat exchanger. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19 (6), 1194–1200. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultrsonch.2012.04.001>
- Legay, M., Le Person, S., Gondrexon, N., Boldo, P., Bontemps, A. (2012). Performances of two heat exchangers assisted by ultrasound. *Applied Thermal Engineering*, 37, 60–66. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.12.051>
- Yasui, K. (2015). Dynamics of Acoustic Bubbles. *Sonochemistry and the Acoustic Bubble*, 41–83. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-801530-8.00003-7>
- Crum, L. A. (1994). Sonoluminescence. *Physics Today*, 47 (9), 22–29. doi: <https://doi.org/10.1063/1.881402>
- Kumar, A., Hassan, M. A., Chand, P. (2020). Heat transport in nanofluid coolant car radiator with louvered fins. *Powder Technology*, 376, 631–642. doi: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.08.047>
- Kumar, A., Subudhi, S. (2019). Preparation, characterization and heat transfer analysis of nanofluids used for engine cooling. *Applied Thermal Engineering*, 160, 114092. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114092>
- Sergis, A., Hardalupas, Y. (2011). Anomalous heat transfer modes of nanofluids: a review based on statistical analysis. *Nanoscale Research Letters*, 6 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/1556-276x-6-391>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240262
ANALYSIS OF FAULT DIAGNOSIS OF DC
MOTORS BY POWER CONSUMPTION PATTERN
RECOGNITION (p. 14–20)

Hasan Shakir Majdi

Al-Mustaqbal University College, Hillah, Babil, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6752-4835>

Sameera Sadey Shijer

University of Technology, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9435-3891>

Abduljabbar Owaid Hanfesh

University of Technology, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5345-1794>

Laith Jafer Habeeb

University of Technology, Baghdad, Iraq
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2808-4432>

Ahmad H. Sabry

Universiti Tenaga Nasional, Kajang, Selangor, Malaysia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2736-5582>

Early detection of faults in DC motors extends their life and lowers their power usage. There are a variety of traditional and soft computing techniques for detecting faults in DC motors. Many diagnostic techniques have been developed in the past to detect such fault-related patterns. These methods for detecting the aforementioned potential failures of motors can be utilized in a variety of scientific and technological domains. Motor Power Pattern Analysis (MPPA) is a technology that analyzes the current and voltage provided to an electric motor using particular patterns and protocols to assess the operational status of the motors without disrupting production. Engineers and researchers, particularly in industries, face a difficult challenge in monitoring spinning types of equipment. In this work, we are going to explain how to use the motor power pattern/signature analysis (MPPA) of a power signal driving a servo to find mechanical defects in a gear train. A hardware setup is used to simplify the demonstration of obtaining spectral metrics from the power consumption signals. A DC motor, a set of metal or nylon drive gears, and a control circuit are employed. The speed control circuit was eliminated to allow direct monitoring of the DC motor's current profiles. Infrared (IR) photo-interrupters with a 35 mm diameter, eight-holed, standard servo wheel were employed to gather the tachometer signal at the servo's output. The mean value of the measurements was 318 V for the healthy profile, while it was 330 V for the faulty gears power data. The proposed power consumption profile analysis approach succeeds to recognize the mechanical faults in the gear-box of a DC servomotor via examining the mean level of the power consumption pattern as well as the extraction of the Power Spectral Density (PSD) through comparing faulty and healthy profiles.

Keywords: monitoring, DC servomotor, power consumption, pattern recognition, power profile, mechanical faults.

References

- Gayatri Sarman, K. V. S. H., Madhu, T., Mallikharjuna Prasad, A. (2020). Prognosis of Inter-turn and Hall Sensor Faults of Brushless DC Motor Using ANFIS with Particle Swarm Optimization. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 12 (SP3), 1281–1292. doi: <https://doi.org/10.5373/jardcs/v12sp3/20201377>
- Kudelina, K., Asad, B., Vaimann, T., Belahcen, A., Rassölkina, A., Kallaste, A., Lukichev, D. V. (2020). Bearing Fault Analysis of BLDC Motor for Electric Scooter Application. *Designs*, 4 (4), 42. doi: <https://doi.org/10.3390/designs4040042>
- Munikoti, S., Das, L., Natarajan, B., Srinivasan, B. (2019). Data-Driven Approaches for Diagnosis of Incipient Faults in DC Motors. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15 (9), 5299–5308. doi: <https://doi.org/10.1109/tii.2019.2895132>
- Nandi, S., Toliyat, H. A., Li, X. (2005). Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors – A Review. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20 (4), 719–729. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2005.847955>
- Shifat, T. A., Hur, J. W. (2020). An Effective Stator Fault Diagnosis Framework of BLDC Motor Based on Vibration and Current Signals. *IEEE Access*, 8, 106968–106981. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3000856>
- Shifat, T. A., Hur, J.-W. (2020). EEMD assisted supervised learning for the fault diagnosis of BLDC motor using vibration signal. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34 (10), 3981–3990. doi: <https://doi.org/10.1007/s12206-020-2208-7>
- Hur, J.-W., Shifat, T. A. (2020). Motor vibration analysis for the fault diagnosis in non-stationary operating conditions. *International Journal of Integrated Engineering*, 12 (3), 151–160. Available at: <https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/ijie/article/view/5342/3400>
- Sabry, A. H., Nordin, F. H., Sabry, A. H., Abidin Ab Kadir, M. Z. (2020). Fault Detection and Diagnosis of Industrial Robot Based on Power Consumption Modeling. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67 (9), 7929–7940. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2019.2931511>
- Zhang, J., Zhan, W., Ehsani, M. (2018). On-line diagnosis of interturn short circuit fault for DC brushed motor. *ISA Transactions*, 77, 179–187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2018.03.029>
- Lü, D. G., Li, S. (2020). Fault diagnosis and fault tolerant control technology of brushless DC motor. *Dianji Yu Kongzhi Xuebao/Electric Mach Control*, 24 (8), 58–66. doi: <https://doi.org/10.15938/j.emc.2020.08.008>
- He, X., Ju, Y., Liu, Y., Zhang, B. (2017). Cloud-Based Fault Tolerant Control for a DC Motor System. *Journal of Control Science and Engineering*, 2017, 1–10. doi: <https://doi.org/10.1155/2017/5670849>
- Wahab, A. A., Abdullah, N. F., Rasid, M. A. H. (2019). Commutator fault detection of brushed DC motor using thermal assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 469, 012057. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/469/1/012057>
- Winston, D. P., Saravanan, M. (2013). Single Parameter Fault Identification Technique for DC Motor through Wavelet Analysis and Fuzzy Logic. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 8 (5), 1049–1055. doi: <https://doi.org/10.5370/jeet.2013.8.5.1049>
- Sabry, A. H., W. Hasan, W. Z., Ab. Kadir, M. Z. A., Radzi, M. A. M., Shafie, S. (2018). Field data-based mathematical modeling by Bode equations and vector fitting algorithm for renewable energy applications. *PLOS ONE*, 13 (1), e0191478. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0191478>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239509

DETERMINING AN ADDITIONAL DIAGNOSTIC
PARAMETER FOR IMPROVING THE ACCURACY
OF ASSESSMENT OF THE CONDITION OF STATOR
WINDINGS IN AN INDUCTION MOTOR (p. 21–29)

Oleg Gubarevych

Danube Institute of Water Transport of State University of Infrastructure and Technologies, Izmail, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7864-0831>

Sergey Goolak

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2294-5676>

Olena Daki

Danube Institute of Water Transport of State University of Infrastructure and Technologies, Izmail, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3932-462X>

Yuriy Yakusevych

Danube Institute of Water Transport of State University of Infrastructure and Technologies, Izmail, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5933-5417>

This paper has proposed and substantiated the application of an additional diagnostic parameter for assessing the state of stator windings of induction motors during operation. The dependences of the values of phase shifts between phase currents and phase voltages have been obtained. These dependences showed that when an inter-turn short circuit occurs in the stator windings, the phase shifts are the same for all phases of the motor. That has made it possible to obtain the dependence of the change in phase shift on the change in the engine shaft rotation frequency.

This study's result has established the dependence of the rates of change of the phase angle on the engine shaft rotation frequency for both one and two damaged phases with varying degrees of damage. When analyzing these dependences, it was found that with an increase in the number of damaged phases of the electric motor, the linear section of the dependences decreases. In addition, with an increase in the degree of phase damage, the angle of inclination of the linear sections of the characteristics decreases. That has made it possible to determine an additional parameter for diagnosing the place and degree of an inter-turn short circuit of the windings in an induction motor with a squirrel-cage rotor. The values of the additional parameter, termed by this paper's authors as a "phase criterion" can be used to assess the condition and degree of damage to the stator winding of induction motors. The values of the phase criteria for various types of damage were: when phase A is damaged by 90 %, $\xi=0.634, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$; when phase A is damaged by 80 %, $\xi=0.393, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$; when phase A is damaged by 80 % and phase B is damaged by 90 %, $\xi=0.25, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$; when phase A is damaged by 80 % and phase B is damaged by 90 %, $\xi=0.173, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$.

The results of this research could be used to select an effective method for diagnosing an inter-turn short circuit in the stator winding when building a diagnostic system for induction motors as part of drives of transport equipment.

Keywords: transport infrastructure, induction motor, inter-turn short circuit, phase currents, diagnostic parameters.

References

- Babiyak, M., Keršys, R., Neduzha, L. (2020). Improving the Dependability Evaluation Technique of a Transport Vehicle. Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Pt. II. Kaunas, 646–651. Available at: <http://eadnurt.diit.edu.ua/bitstream/123456789/12287/1/Babiyak.pdf>
- Goolak, S., Sapronova, S., Tkachenko, V., Riabov, I., Batrak, Y. (2020). Improvement of the model of power losses in the pulsed current traction motor in an electric locomotive. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (5 (108)), 38–46. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218542>
- Eldeeb, H. H., Zhao, H., Mohammed, O. A. (2020). Power Losses and Magnetic Flux Analysis of Vector Controlled Induction Motor with Stator Turn-to-Turn Fault. 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). doi: <https://doi.org/10.1109/apec39645.2020.9124396>
- Goolak, S., Gerlici, J., Gubarevych, O., Lack, T., Pustovetov, M. (2021). Imitation Modeling of an Inter-Turn Short Circuit of an Asynchronous Motor Stator Winding for Diagnostics of Auxiliary Electric Drives of Transport Infrastructure. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 23 (2), C65–C74. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2021.2.c65-c74>
- Gubarevych, O., Goolak, S., Daki, E., Tryshyn, V. (2021). Investigation of Turn-To-Turn Closures of Stator Windings to Improve the Diagnostics System for Induction Motors. Problems of the Regional Energetics, 2 (50). doi: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.2-50.02>
- Vostrukhin, A. V., Vakhtina, E. A., Bondar, S. N., Burlak, I. I. (2020). Diagnostics of Turn-to-Turn Insulation of an Asynchronous Motor with the Use of the a Self-Induction EMF. Russian Electrical Engineering, 91 (10), 638–643. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068371220100120>
- Zamudio-Ramírez, I., Osornio-Ríos, R. A., Antonino-Daviu, J. A., Quijano-Lopez, A. (2020). Smart-Sensor for the Automatic Detection of Electromechanical Faults in Induction Motors Based on the Transient Stray Flux Analysis. Sensors, 20 (5), 1477. doi: <https://doi.org/10.3390/s20051477>
- Gyftakis, K. N., Spyropoulos, D. V., Arvanitakis, I., Panagiotou, P. A., Mitronikas, E. D. (2020). Induction Motors Torque Analysis via Frequency Extraction for Reliable Broken Rotor Bar Detection. 2020 International Conference on Electrical Machines (ICEM). doi: <https://doi.org/10.1109/icem49940.2020.9270825>
- Kuric, I., Gorobchenko, O., Litikova, O., Gritsuk, I., Mateichyk, V., Bulgakov, M., Klackova, I. (2020). Research of vehicle control informative functioning capacity. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 776, 012036. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/776/1/012036>
- Prainetr, S., Tunyasrirut, S., Wangnipparnto, S. (2021). Testing and Analysis Fault of Induction Motor for Case Study Misalignment Installation Using Current Signal with Energy Coefficient. World Electric Vehicle Journal, 12 (1), 37. doi: <https://doi.org/10.3390/wevj12010037>
- Costa, C. F. da, Rocha, M. A., Souza, W. G. de, Justino, P. T., Andreoli, A. L. (2018). Implementation of an Induction Motor Mathematical Model for Stator Winding Fault Analysis. 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON). doi: <https://doi.org/10.1109/induscon.2018.8627194>
- Tsyppkin, M. (2017). Induction motor condition monitoring: Vibration analysis technique – diagnosis of electromagnetic anomalies. 2017 IEEE AUTOTESTCON. doi: <https://doi.org/10.1109/autest.2017.8080483>
- Bento, E., Adouni, A., Muxiri, A. C. P., Fonseca, D. S. B., Marques Cardoso, A. J. (2020). On the risk of failure to prevent induction motors permanent damage, due to the short available time-to-diagnosis of inter-turn short-circuit faults. IET Electric Power Applications, 15 (1), 51–62. doi: <https://doi.org/10.1049/elp2.12008>
- Adouni, A., J. Marques Cardoso, A. (2021). Thermal Analysis of Low-Power Three-Phase Induction Motors Operating under Voltage Unbalance and Inter-Turn Short Circuit Faults. Machines, 9 (1), 2. doi: <https://doi.org/10.3390/machines9010002>
- Kumar, P. S., Xie, L., Halick, M. S. M., Vaiyapuri, V. (2021). Stator End-Winding Thermal and Magnetic Sensor Arrays for Online Stator Inter-Turn Fault Detection. IEEE Sensors Journal, 21 (4), 5312–5321. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2020.3029041>
- Lousdad, A., Mokhtari, N., Missoum Benziane, Y. (2018). Detection of inter-turn short-circuit fault in induction motor operating under varying load conditions by using the angular domain order tracking technique. Journal of Electrical Engineering, 18 (1). Available at: <http://193.226.10.140/index.php/jee/article/view/WE1481834460W5852ffdc45a6a/1854>

17. Eldeeb, H. H., Zhao, H., Mohammed, O. (2019). Wavelet Transformation-Based Diagnosis of Turn-to-Turn Faults in Vector Control Drive system. 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). doi: <https://doi.org/10.1109/ecce.2019.8912295>
18. Amanuel, T., Ghirmay, A., Ghebremeskel, H., Ghebrehiwet, R., Bahlibi, W. (2021). Design of Vibration Frequency Method with Fine-Tuned Factor for Fault Detection of Three Phase Induction Motor. March 2021, 3 (1), 52–65. doi: <https://doi.org/10.36548/jiip.2021.1.005>
19. Miniyarov, A., Podguzov, A. (2020). Methods of current diagnostics of asynchronous motors with combined stator winding. 2020 International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). doi: <https://doi.org/10.1109/icoecs50468.2020.9278443>
20. Chen, P., Xie, Y., Hu, S. (2021). Electromagnetic Performance and Diagnosis of Induction Motors With Stator Interturn Fault. IEEE Transactions on Industry Applications, 57 (2), 1354–1364. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2020.3043214>
21. Khechekhouche, A., Cherif, H., Benakcha, A., Menacer, A., Chehaidia, S. E., Panchal, H. (2020). Experimental diagnosis of inter-turns stator fault and unbalanced voltage supply in induction motor using MCSA and DWER. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 8 (3), 1202–1216. Available at: <http://pen.ius.edu.ba/index.php/pen/article/view/1058/607>
22. Husari, F., Seshadrinath, J. (2020). Inter-Turn Fault Diagnosis of Induction Motor Fed by PCC-VSI Using Park Vector Approach. 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES). doi: <https://doi.org/10.1109/peDES49360.2020.9379388>
23. Wei, S., Zhang, X., Xu, Y., Fu, Y., Ren, Z., Li, F. (2020). Extended Park's vector method in early inter-turn short circuit fault detection for the stator windings of offshore wind doubly-fed induction generators. IET Generation, Transmission & Distribution, 14 (18), 3905–3912. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2020.0127>
24. Goolak, S., Gubarevych, O., Yermolenko, E., Slobodyanyuk, M., Gorobchenko, O. (2020). Mathematical modeling of an induction motor for vehicles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (2 (104)), 25–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.199559>
25. Goolak, S., Gerlici, J., Tkachenko, V., Saponova, S., Lack, T., Kravchenko, K. (2019). Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 21 (2), 24–31. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.2.24-31>

DOI: [10.15587/1729-4061.2021.238984](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238984)

DESIGN AND SIMULATION OF A HIGH-POWER DOUBLE-OUTPUT ISOLATED CUK CONVERTER (p. 30–38)

Yasir M.Y. Ameen

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2878-8165>

Harith Al-Badrani

Ninevah University, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6478-2417>

Mohamed N. Abdul Kadi

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9971-801X>

Among the transformer-less DC-DC converters, the superiority of the conventional Cuk converter is obvious in its good prop-

erties. However, the output power is limited for all transformer-less converter types including the conventional Cuk converter. In order to get more supplied power from this converter, some changes in its design were necessary. One of these modifications is to add a transformer to transfer more power and to separate the output side from the input side. Supply of some applications such as the DC link of modular multilevel inverters, e. g. cascaded H-bridge (CHB) topologies required more than one output. Hence, this paper is concerned with the design, analysis and simulation of an isolated dual-output modified Cuk converter. The proposed converter is designed to deliver a total output power of 2,000 W using only one modulating switch. A complete design and detailed analysis of the high-frequency transformer with the ANSYS Maxwell platform is presented in this paper. The modeling and simulation results of the high-frequency transformer are validated by the experimental implementation results and good agreement was obtained with a small percentage of errors less than 4 %. A set of analytical equations has been derived and presented in this paper to represent a mathematical model of the converter. In addition, the entire converter circuit was simulated and analyzed with MATLAB/Simulink. The simulation results were checked and compared to the findings of the mathematical model, yielding an excellent match with a percentage error of less than 2.15 %. Finally, when the presented converter was tested under various loads, including unbalanced load situations, a reasonable output voltage regulation was achieved, with the two output voltages being nearly identical with a deviation of less than 0.25 % under a severe unbalanced load condition of 150 %.

Keywords: isolated Cuk converter, DC-DC converter, double-output high-power converter, high-frequency transformer.

References

1. Sarrazin, B., Rouger, N., Ferrieux, J. P., Avenas, Y. (2011). Benefits of cascaded inverters for electrical vehicles' drive-trains. 2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. doi: <https://doi.org/10.1109/ecce.2011.6063950>
2. Maarooof, H. S., Al-Badrani, H., Younis, A. T. (2021). Design and simulation of cascaded H-bridge 5-level inverter for grid connection system based on multi-carrier PWM technique. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1152 (1), 012034. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1152/1/012034>
3. Marjani, J., Imani, A., Hekmati, A., Afjei, E. (2016). A new dual output DC-DC converter based on SEPIC and Cuk converters. 2016 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM). doi: <https://doi.org/10.1109/speedam.2016.7525949>
4. Guler, N., Irmak, E. (2016). Design and application of a novel single input – Multi output DC/DC converter. 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). doi: <https://doi.org/10.1109/icrera.2016.7884492>
5. Ranjana, M. S. B., Reddy, N. S., Kumar, R. K. P. (2014). A novel sepic based dual output DC-DC converter for solar applications. 2014 POWER AND ENERGY SYSTEMS: TOWARDS SUSTAINABLE ENERGY. doi: <https://doi.org/10.1109/pestse.2014.6805309>
6. Boora, A. A., Zare, F., Ghosh, A. (2011). Multi-output buck-boost converter with enhanced dynamic response to load and input voltage changes. IET Power Electronics, 4 (2), 194. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2009.0269>
7. Aden, İ. A., Kahveci, H., Şahin, M. E. (2017). Single Input, Multiple Output DC-DC Buck Converter for Electric Vehicles. Turkish Journal of Electromechanics & Energy, 2 (2), 7–13.

8. Sabbarapu, B. K., Nezamuddin, O., McGinnis, A., dos Santos, E. (2016). Single-input multiple-output synchronous DC-DC buck converter. 2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). doi: <https://doi.org/10.1109/ecce.2016.7855438>
9. Akhil Raj, P., Arya, S. R. (2020). Solar supplied two-output DC-DC converters in the application of low power. *Automatika*, 62 (2), 172–186. doi: <https://doi.org/10.1080/00051144.2020.1805859>
10. Surya, S., Patil, V. (2019). Cuk Converter as an Efficient Driver for LED. 2019 4th International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer Technologies and Optimization Techniques (ICECCOT). doi: <https://doi.org/10.1109/iceccot46775.2019.9114648>
11. Bist, V., Singh, B. (2015). A Unity Power Factor Bridgeless Isolated Cuk Converter-Fed Brushless DC Motor Drive. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62 (7), 4118–4129. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2014.2384001>
12. Anand, A., Singh, B. (2019). Modified Dual Output Cuk Converter-Fed Switched Reluctance Motor Drive With Power Factor Correction. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34 (1), 624–635. doi: <https://doi.org/10.1109/tpe.2018.2827048>
13. Anand, A., Singh, B., Chandra, A., Al-Haddad, K. (2018). Isolated Cuk Converter with Two Symmetrical Output voltages For SRM Drive. 2018 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC). doi: <https://doi.org/10.1109/wpt.2018.8639257>
14. Surya, S., Williamson, S. (2021). Generalized Circuit Averaging Technique for Two-Switch PWM DC-DC Converters in CCM. *Electronics*, 10 (4), 392. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics10040392>
15. Gavrish, M., Cornea, O., Muntean, N. (2011). Multiple input DC-DC topologies in renewable energy systems - A general review. 2011 IEEE 3rd International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources (EXPRES). doi: <https://doi.org/10.1109/expres.2011.5741805>
16. Dahale, S., Das, A., Pindoriya, N. M., Rajendran, S. (2017). An overview of DC-DC converter topologies and controls in DC microgrid. 2017 7th International Conference on Power Systems (ICPS). doi: <https://doi.org/10.1109/icps.2017.8387329>
17. Chinchero, H. F., Alonso, J. M. (2020). Review on DC-DC SIMO Converters with Parallel Configuration for LED Lighting Control. 2020 IEEE ANDESCON. doi: <https://doi.org/10.1109/andescon50619.2020.9272083>
18. Li, C., Herrera, L., Jia, J., Fu, L., Isurin, A., Cook, A. et al. (2014). Design and Implementation of a Bidirectional Isolated Ćuk Converter for Low-Voltage and High-Current Automotive DC Source Applications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63 (6), 2567–2577. doi: <https://doi.org/10.1109/tvt.2013.2294599>
19. Singh, S., Bhuvaneswari, G., Singh, B. (2010). Multiple output SMPS with improved input power quality. 2010 5th International Conference on Industrial and Information Systems. doi: <https://doi.org/10.1109/iciinf.2010.5578673>
20. Barath J. G. N., Soundarrajan, A., Stepenko, S., Bondarenko, O., Padmanaban, S., Prystupa, A. (2020). Hybrid Multiport Converter for High Step-Up Renewable Energy Applications. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek51551.2020.9250178>
21. Bryant, B., Kazimierzuk, M. K. (2003). Derivation of the Cuk PWM DC-DC converter circuit topology. Proceedings of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems, 2003. ISCAS '03. doi: <https://doi.org/10.1109/iscas.2003.1205013>
22. Data Sheet. ETD49/25/16. ETD cores and accessories (2008). Ferroxcube. Available at: <http://ferroxcube.home.pl/prod/assets/etd49.pdf>

DOI: [10.15587/1729-4061.2021.241769](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.241769)

EXPERIMENTAL DEPENDENCES OF MEASUREMENT DATA ON THE VOLUME OF INHALED AIR IN MULTI-FREQUENCY ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY (p. 39–50)

Grayr Aleksanyan

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),
Novocherkassk, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9611-6275>

This paper proposes an approach to modeling the process of artificial ventilation of human lungs by their controlled filling with a fixed volume of air, using an incentive spirometer Coach 2. This makes it possible to simulate the ventilation process for a healthy person and to link the assigned respiratory volume to measurement data. The results of experimental studies of the developed system of multifrequency electric impedance tomography are presented. The tests were performed for the frequency range from 50 kHz to 400 kHz (with a pitch of 50 kHz) at assigned respiratory volumes from 500 ml to 4,000 ml (with a pitch of 500 ml) for five inhalation/exhalation cycles. The scheme of research: active inhalation – passive exhalation, the number of tested volunteers – 3 people from the developers of the system. As a result, the dependences of the measured values of changes in potentials on the frequency of injected current for different respiratory volumes in three test participants without pathologies of the respiratory function and the external respiration function were obtained. The obtained results of the experimental studies show that there is a dependence of the value of the measurement data both on the volume of inhaled air and on the frequency of the injected current. This feature can be used to develop a number of medical devices for personalized monitoring of human lung function. It was also revealed that there are frequencies at which the maximum spread of measurement data according to the results of a series of repeated experiments is observed. At the same time, the nature of the change in the measurement data of the EIT at an increase in the volume of inhaled air is the same for all test participants. It is assumed that this feature can also be used to increase the EIT personalization degree.

Keywords: electric impedance tomography, multifrequency, measurement data, respiratory volumes, experimental studies, conductivity.

References

1. Pekker, Ya. S., Brazovskiy, K. S., Usov, V. N. (2004). Electrical impedance tomography. Toms: NTL, 192.
2. Bachmann, M. C., Morais, C., Bugedo, G., Bruhn, A., Morales, A., Borges, J. B. et al. (2018). Electrical impedance tomography in acute respiratory distress syndrome. *Critical Care*, 22 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13054-018-2195-6>
3. Brabant, O., Crivellari, B., Hosgood, G., Raisis, A., Waldmann, A. D., Auer, U. et al. (2021). Effects of PEEP on the relationship between tidal volume and total impedance change measured via electrical impedance tomography (EIT). *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. doi: <https://doi.org/10.1007/s10877-021-00651-x>
4. Lobo, B., Hermosa, C., Abella, A., Gordo, F. (2018). Electrical impedance tomography. *Annals of Translational Medicine*, 6 (2), 26. doi: <https://doi.org/10.21037/atm.2017.12.06>
5. Frerichs, I., Amato, M. B. P., van Kaam, A. H., Tingay, D. G., Zhao, Z. et al. (2016). Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus

statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group. *Thorax*, 72 (1), 83–93. doi: <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2016-208357>

6. Crivellari, B., Raisis, A., Hosgood, G., Waldmann, A. D., Murphy, D., Mosing, M. (2021). Use of Electrical Impedance Tomography (EIT) to Estimate Tidal Volume in Anaesthetized Horses Undergoing Elective Surgery. *Animals*, 11 (5), 1350. doi: <https://doi.org/10.3390/ani11051350>
7. Lee, M. H., Jang, G. Y., Kim, Y. E., Yoo, P. J., Wi, H., Oh, T. I., Woo, E. J. (2018). Portable multi-parameter electrical impedance tomography for sleep apnea and hypoventilation monitoring: feasibility study. *Physiological Measurement*, 39 (12), 124004. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6579/aaaf271>
8. Tomicic, V., Cornejo, R. (2019). Lung monitoring with electrical impedance tomography: technical considerations and clinical applications. *Journal of Thoracic Disease*, 11 (7), 3122–3135. doi: <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.06.27>
9. Longhini, F., Maugeri, J., Andreoni, C., Ronco, C., Bruni, A., Garofalo, E. et. al. (2019). Electrical impedance tomography during spontaneous breathing trials and after extubation in critically ill patients at high risk for extubation failure: a multicenter observational study. *Annals of Intensive Care*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s13613-019-0565-0>
10. Aleksanyan, G. K., Shcherbakov, I. D., Kucher, A. I. (2017). Feature research of using current source in 2-dimensional and 3-dimensional multifrequency electrical impedance tomography devices. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (3), 587–592. Available at: <http://docsdrive.com/pdfs/medwelljournals/jeasci/2017/587-592.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243097

CONSTRUCTING AND ANALYZING MATHEMATICAL MODEL OF PLASMA CHARACTERISTICS IN THE ACTIVE REGION OF INTEGRATED P-I-N-STRUCTURES BY THE METHODS OF PERTURBATION THEORY AND CONFORMAL MAPPINGS (p. 51–61)

Andrii Bomba

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5528-4192>

Igor Moroz

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6381-2266>

Mykhailo Boichura

National University of Water and Environmental Engineering,
Rivne, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9073-4037>

The results of mathematical modeling of stationary physical processes in the electron-hole plasma of the active region (i-region) of integral p-i-n-structures are presented. The mathematical model is written in the framework of the hydrodynamic thermal approximation, taking into account the phenomenological data on the effect on the dynamic characteristics of charge carriers of heating of the electron-hole plasma as a result of the release of Joule heat in the volume of the i-th region and the release of recombination energy. The model is based on a nonlinear boundary value problem on a given spatial domain with curvilinear sections of the boundary for the system of equations for the continuity of the current of charge carriers, Poisson, and thermal conductivity. The statement of the problem contains a naturally formed small parameter, which

made it possible to use asymptotic methods for its analytical-numerical solution. A model nonlinear boundary value problem with a small parameter is reduced to a sequence of linear boundary value problems by the methods of perturbation theory, and the physical domain of the problem with curvilinear sections of the boundary is reduced to the canonical form by the method of conformal mappings. Stationary distributions of charge carrier concentrations and the corresponding temperature field in the active region of p-i-n-structures are obtained in the form of asymptotic series in powers of a small parameter. The process of refining solutions is iterative, with the alternate fixation of unknown tasks at different stages of the iterative process. The asymptotic series describing the behavior of the plasma concentration and potential in the region under study, in contrast to the classical ones, contain boundary layer corrections. It was found that boundary functions play a key role in describing the electrostatic plasma field. The proposed approach to solving the corresponding nonlinear problem can significantly save computing resources.

Keywords: asymptotic series, boundary layer correction, conformal mappings, singularity, electron-hole plasma, p-i-n-structure.

References

1. Sze, S. M., Ng, K. K. (2006). *Physics of Semiconductor Devices*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/0470068329>
2. Kwok, K. (2002). *Complete Guide to Semiconductor Devices*. Wiley-IEEE Press, 768. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/book/5271197>
3. Koshevaya, S. V., Kishenko, Ya. I., Smoilovskii, M. I., Trapezon, V. A. (1989). Fast wideband modulators on p-i-n structures. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Radioelektron.*, 32 (10), 14–23.
4. Adirovich, E. I., Karageorgiy-Alkalaev, P. M., Leyderman, A. Yu. (1978). Toki dvoynoy inzhetskii v poluprovodnikah. Moscow: Sovetskoe radio, 320.
5. Polsky, B. S., Rimshans, J. S. (1981). Numerical simulation of transient processes in 2-D bipolar transistors. *Solid-State Electronics*, 24 (12), 1081–1085. doi: [https://doi.org/10.1016/0038-1101\(81\)90173-8](https://doi.org/10.1016/0038-1101(81)90173-8)
6. Nikolaeva, V. A., Ryzhii, V. I., Chetverushkin, B. N. (1988). A numerical method for the simulation of two-dimensional semiconductor structures using quasi-hydrodynamic approach. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 298 (6), 1367–1370. Available at: http://www.mathnet.ru/link_s/8f8a384d7d564f46bf7f5a3a2d8ef274/dan48205.pdf
7. Bonch-Bruevich, V. L., Kalashnikov, S. G. (1982). *Physics of Semiconductors*. Berlin: VEB.
8. Bushyager, N., McGarvey, B., Tentzeris, M. M. (1997). Adaptive numerical modeling of RF structures requiring the coupling of Maxwell's, mechanical and solid-state equations. *IEEE Symposium on microwave theory and techniques*, 337–343.
9. Samarskii, A. A. (2001). *The Theory of Difference Schemes*. CRC Press, 786. doi: <https://doi.org/10.1201/9780203908518>
10. Bomba, A. Ya., Moroz, I. P. (2021). The diffusion-drift process with account heating and recombination in the p-i-n diodes active region mathematical modeling by the perturbation theory methods. *Zhurnal obchysliuvainoi ta prykladnoi matematyky*, 1 (135), 29–35. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/jopm_2021_1_5
11. Belyanin, M. P. (1986). On the asymptotic solution of a model of a (p-n) junction. *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 26 (1), 188–192. doi: [https://doi.org/10.1016/0041-5553\(86\)90206-5](https://doi.org/10.1016/0041-5553(86)90206-5)
12. Vasil'eva, A. B., Stel'makh, V. G. (1977). Singularly disturbed systems of the theory of semiconductor devices. *USSR Computational Mathematics and Mathematical Physics*, 17 (2), 48–58. doi: [https://doi.org/10.1016/0041-5553\(77\)90035-0](https://doi.org/10.1016/0041-5553(77)90035-0)

13. Birjukova, L. Yu., Nikolaeva, V. A., Ryzhii, V. I., Chetverushkin, B. N. (1989). Quasihydrodynamical algorithms for the calculation of processes in electron plasma in submicron semiconductor structures. *Matematicheskoe modelirovanie*, 1 (5), 11–22. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/669ffd8d3f706879f9701e2e77a0a0b2/mm2551.pdf>
14. Prokopyev, A. I., Mesheryakov, S. A. (1999). Static characteristics of high-barrier Schottky diode under high injection level. *Solid-State Electronics*, 43 (9), 1747–1753. doi: [https://doi.org/10.1016/s0038-1101\(99\)00138-0](https://doi.org/10.1016/s0038-1101(99)00138-0)
15. Ou, H.-H., Tang, T.-W. (1987). Numerical modeling of hot carriers in submicrometer silicon BJTs. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 34 (7), 1533–1539. doi: <https://doi.org/10.1109/t-ed.1987.23116>
16. Ellison, G. (2011). *Thermal computations for electronics. Conductive, radiative, and convective air cooling*. CRC Press, 416. doi: <https://doi.org/10.1201/b12772>
17. Alex, V., Finkbeiner, S., Weber, J. (1996). Temperature dependence of the indirect energy gap in crystalline silicon. *Journal of Applied Physics*, 79 (9), 6943–6946. doi: <https://doi.org/10.1063/1.362447>
18. Gurtov, V. A., Osaulenko, R. N. (2012). *Fizika tverdogo tela dlya inzhenerov*. Moscow: Tekhnosfera, 560.
19. Grimalsky, V. V., Kishenko, Ya. I., Koshevaya, S. V., Moroz, I. P. (1994). The Interaction of Powerful Electromagnetic Waves With Integrated p-i-n-structures. Doc. of Int. Symp. «Physics and Engineering of Mm and Submm Waves». Kharkiv, 238–239.
20. Tikhonov, A. N. (1952). Systems of differential equations containing small parameters in the derivatives. *Matematicheskii Sbornik*, 31 (73), 575–586. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/96c944da15809bf846a704e541c81fad/sm5548.pdf>
21. Vishik, M. I., Lyusternik, L. A. (1957). Regular degeneration and boundary layer for linear differential equations with small parameter. *Uspekhi Matematicheskikh Nauk*, 12 (5), 3–122. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/36cd641901b4ac6e4953efbd88f0a953/rm7705.pdf>
22. Vasil'eva, A. B., Butuzov, V. F., Kalachev, L. V. (1995). *The Boundary Function Method for Singular Perturbation Problems*. SIAM. doi: <https://doi.org/10.1137/1.9781611970784>
23. Bomba, A. Ya., Prysiazhniuk, I. M., Prysiazhniuk, O. V. (2017). Metody teorii zburen prohnozuvannya protsesiv teplomasoperenennia v porystykh ta mikroporystykh seredovyshchakh. Rivne: O.Zen, 291.
24. Bomba, A. Ya. (1982). Pro asymptotychnyi metod nablyzhenoho rozv'iazannia odniei zadachi masoperenosu pry filtratsiyi v porystomu seredovyshchi. *Ukrainskyi matematychnyi zhurnal*, 34 (4), 37–40.
25. Smith, D. R. (1985). *Singular-Perturbation Theory. An Introduction with Applications*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 520. URL: <https://books.google.com.ua/books?id=cEszbdam0zwC&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>
26. Sveshnikov, A. G., Tikhonov, A. H. (1982). *The Theory Of Functions Of A Complex Variable*. Moscow: Mir Publisher, 344.
27. Fuchs, B. A., Shabat, B. V. (1964). *Functions of a complex variable and some of their applications*. Pergamon. doi: <https://doi.org/10.1016/C2013-0-01663-5>
28. Bomba, A. Y., Moroz, I. P., Boichura, M. V. (2021). The optimization of the shape and size of the injection contacts of the integrated p-i-n-structures on the base of using the conformal mapping method. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 1 (1), 14–28. doi: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-1-2>
29. Bomba, A., Boichura, M., Sydorchuk, B. (2020). Generalization of numerical quasiconformal mapping methods for geological problems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (107)), 45–54. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215045>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243161

APPLICATION OF PARTIAL AREAS METHOD IN THE PROBLEM OF SOUND RADIATION BY A SPHERE IN A WAVEGUIDE WITH SOFT ACOUSTICALLY BOUNDARIES (p. 62–78)

Oleksii Korzhyk

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2979-0854>

Sergey Naida

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5060-2929>

Tetiana Zheliaskova

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3073-7073>

Oleksander Chaika

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2501-595X>

Nikita Naida

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1709-9716>

The paper considers the features of the formation of an acoustic field by a spherical source with complicated properties in a regular plane-parallel waveguide, which is of practical importance in marine instrumentation and oceanographic research. The calculation algorithm is based on the use of the Helmholtz equation and the Fourier method for each partial region and the conjugation conditions on their boundaries. The presented calculation allows one to get rid of the idealized boundary conditions on the source surface, with the subsequent determination of the excitation coefficients of the waveguide modes within the framework of the Sturm-Liouville problem. In this case, the attraction of the boundary conditions on the surface and the bottom of the sea, as well as the Sommerfeld conditions, makes it possible to obtain the real distribution of the field in the vertical sections of the waveguide.

The obtained frequency dependences of the pressure and vibrational velocity components show their amplitude-phase differences, which reach 90 degrees, which partially explains the appearance of singular points in the intensity field in a regular waveguide. It has been determined that multiple reflections of sound waves from the boundaries of the working space and the space of the waveguide cause oscillations of the pressure components with a change in the amplitude level up to 6 dB. It was found that with an increase in the size of the source, a kind of resonance is formed in the working space, the frequency of which depends on the depth of the sea and corresponds to the region $kr=x=5.8$. It was found that when the acoustic field is formed in the working space, the frequency response of the impedance components is represented as a multiresonant dependence formed on the basis of the frequency characteristics of the lower modes and their combinations. Experimental studies have shown that the results of calculations of the mode composition of the acoustic field of the emitter, obtained in the conditions of the pool, correspond to the spatial characteristics of the mode components of the acoustic field with an error of up to 3 dB.

Keywords: acoustic field, acoustic plane-parallel waveguide, spherical source, partial regions.

References

- Brillouin, L. (1960). *Wave Propagation and Group Velocity*. Academic Press, 166. Available at: <https://www.elsevier.com/books/wave-propagation-and-group-velocity/brillouin/978-1-4832-3068-9>
- Brekhovskikh, L. (1976). *Waves in Layered Media*. Academic Press, 520. Available at: <https://www.elsevier.com/books/waves-in-layered-media/brekhovskikh/978-0-12-130560-4>
- Mann, J. A., Tichy, J., Romano, A. J. (1987). Instantaneous and time-averaged energy transfer in acoustic fields. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 82 (1), 17–30. doi: <http://doi.org/10.1121/1.395562>
- Mobarakeh, P. S., Grinchenko, V. T., Popov, V. V., Soltannia, B., Zrazhevsky, G. M. (2020). Contemporary Methods for the Numerical-Analytic Solution of Boundary-Value Problems in Noncanonical Domains. *Journal of Mathematical Sciences*, 247 (1), 88–107. doi: <http://doi.org/10.1007/s10958-020-04791-4>
- Korzhyk, O., Naida, S., Kurdiuk, S., Nizhynska, V., Korzhyk, M., Naida, A. (2021). Use of the pass-through method to solve sound radiation problems of a spherical electro-elastic source of zero order. *EU-REKA: Physics and Engineering*, 5, 133–146. doi: <http://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.001292>
- Mobarakeh, P. S., Grinchenko, V. T. (2015). Construction Method of Analytical Solutions to the Mathematical Physics Boundary Problems for Non-Canonical Domains. *Reports on Mathematical Physics*, 75 (3), 417–434. doi: [http://doi.org/10.1016/s0034-4877\(15\)30014-8](http://doi.org/10.1016/s0034-4877(15)30014-8)
- Kazak, M. S., Petrov, P. S. (2020). On Adiabatic Sound Propagation in a Shallow Sea with a Circular Underwater Canyon. *Acoustical Physics*, 66 (6), 616–623. doi: <http://doi.org/10.1134/s1063771020060044>
- Diubchenko, M. E. (1984). Vliyanye osesymmetrychnikh mod kolebaniy na chuvstvytelnost y kharakterystyky napravlenosti pezokeyramycheskoi sferi. *Akusticheskiy zhurnal*, 30 (4), 477–481. Available at: http://www.akzh.ru/pdf/1984_4_477-481.pdf
- Leiko, O., Derepa, A., Pozdniakova, O., Starovoit, Y. (2018). Acoustic fields of circular cylindrical hydroacoustic systems with a screen formed from cylindrical piezoceramic radiators. *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 15 (1), 41–46. Available at: <http://rjav.sra.ro/index.php/rjav/article/view/49>
- Aronov, B. (2009). Coupled vibration analysis of the thin-walled cylindrical piezoelectric ceramic transducers. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125 (2), 803–818. doi: <http://doi.org/10.1121/1.3056560>
- Filipova, N. Y., Korzhik, O. V., Chayka, A. S., Naida, S. A., Korzhik, M. O. (2020). Dynamics of Receiving Electroelastic Spherical Shell with a Filler. *Journal of Nano- and Electronic Physics*, 12 (4), 04034–1–04034–7. doi: [http://doi.org/10.21272/jnep.12\(4\).04034](http://doi.org/10.21272/jnep.12(4).04034)
- Volidicheva, M. I., Lopukhov, K. V. (1994). Vliianie sferichnosti akusticheskoi volny na koeffitsient ee otrazheniia ot ploskoi granitsy razdela dvukh zhidkikh sred. *Akusticheskii zhurnal*, 40 (5), 768–772. Available at: http://www.akzh.ru/htm/1994_5.htm
- Kuperman, W., Roux, P.; Rossing, T. (Ed.) (2007). *Underwater Acoustics*. Marine Physical laboratory. Springer Handbook of Acoustics. New York: Springer, 149–209. doi: http://doi.org/10.1007/978-0-387-30425-0_5
- Saheban, H., Kordrostami, Z. (2021). Hydrophones, fundamental features, design considerations, and various structures: A review. *Sensors and Actuators A: Physical*, 329, 112790. doi: <http://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112790>
- Leiko, O., Derepa, A., Pozdniakova, O., Maiboroda, O. (2020). On the Peculiarities of Matching an Electric Generators with an Electromechanical Energy Transducers. *IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology*, 842–847. doi: <http://doi.org/10.1109/elnano50318.2020.9088812>
- Hrynchenko, V. T., Vovk, I. V., Matsypura, V. T. (2007). *Osnovy akustyky*. Kyiv: Naukova dumka, 640. Available at: <http://hydro-mech.org.ua/ru/books>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242995

MULTIFUNCTIONAL FIBER-OPTIC SENSORS FOR SPACE INFRASTRUCTURE (p. 80–89)

Petr Mikhailov

Penza State Technological University, Penza, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8483-2271>

Zhomart Ualiyev

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5021-2154>

Assem Kabdoldina

Al-Farabi Kazakh National University,

Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6416-1979>

Nurzhit Smailov

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7264-2390>

Askar Khikmetov

International Information Technology University,

Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3045-7592>

Feruza Malikova

Almaty Technological University, Almaty, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0527-322X>

Sensors used in rocket and space technology are subject to extreme external influences in terms of temperature, vibration, and shock. Therefore, the choice of the type of sensors is justified precisely by the resistance to such factors, as well as the ability to ensure the temporal and parametric stability of measurements. A new type of sensors – fiber-optic ones – meets these conditions. The basis for the selection and further improvement of such sensors were such requirements as minimum power consumption, high accuracy and stability of measurements, the ability to combine several measurements in one sensor. It is noted that for space infrastructure the factor of the possibility of simultaneous measurement of several parameters with one sensor is one of the important quality indicators. This is due to the possibility of reducing the number of sensors themselves, which reduces the mass and size parameters of space technology. This applies, first of all, to measurements of pressure and temperature, since they, in aggregate, account for at least 40% of all measurements in space products. The path of choosing the types of methods and sensor designs led to the combination of the amplitude conversion method and optical communication in one sensor. In this case, amplitude modulation of pressure and temperature is carried out by a microelectromechanical unit (module), and the modulated optical signal is transmitted by an optical module. Such a modular composition of the sensor makes it possible to dispense with optical analyzers (interrogators) and carry out further processing based on standard interfaces. A limitation of the proposed methods and designs is the need for microelectromechanical structures that measure certain physical quantities. Such structures for fiber-optic sensors are not mass-produced; therefore, their

manufacture can be established at instrument-making enterprises with microelectronic equipment.

Keywords: fiber-optic sensor, photodiode, laser light-emitting diode, Bragg grating, combined.

References

- Dasgupta, S., Hayes, J. R., Richardson, D. J. (2014). Leakage channel fibers with microstructured cladding elements: A unique LMA platform. *Optics Express*, 22 (7), 8574. doi: <https://doi.org/10.1364/oe.22.008574>
- Udd, E. (Ed.) (2008). *Volokonno-opticheskie datchiki. Vvodniy kurs dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov*. Moscow: Tehnosfera, 520.
- Balogun, O., Regez, B., Krishnaswamy, S. (2009). Dynamic demodulation of spectral shifts in fiber-Bragg-grating sensors. *SPIE Newsroom*. doi: <https://doi.org/10.1117/2.1200911.1857>
- Kelleher, P., Nikogosyan, D. N. (2010). Inscription of narrow-band fibre Bragg gratings with 264nm femtosecond pulses. *Optical Fiber Technology*, 16 (4), 212–216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2010.04.002>
- Tenderenda, T., Murawski, M., Szymanski, M., Becker, M., Rothardt, M., Bartelt, H. et. al. (2012). Fibre Bragg gratings written in highly birefringent microstructured fiber as very sensitive strain sensors. *Microstructured and Specialty Optical Fibres*. doi: <https://doi.org/10.1117/12.922556>
- Cipullo, A., Gruca, G., Heeck, K., De Filippis, F., Iannuzzi, D., Minardo, A., Zeni, L. (2012). Numerical study of a ferrule-top cantilever optical fiber sensor for wind-tunnel applications and comparison with experimental results. *Sensors and Actuators A: Physical*, 178, 17–25. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2012.01.044>
- Fang, X., He, X. Y., Liao, C. R., Yang, M., Wang, D. N., Wang, Y. (2010). A new method for sampled fiber Bragg grating fabrication by use of both femtosecond laser and CO₂ laser. *Optics Express*, 18 (3), 2646. doi: <https://doi.org/10.1364/oe.18.002646>
- Shilova, I. V., Belskaya, O. A., Sotsky, A. B. (2013). Electrodynamic model of the bending fiber-optic sensor. *Problems of Physics, Mathematics and Technics*, 1 (14), 43–47. Available at: <http://www.mathnet.ru/links/04f7404cdf9fec2edad4b08c79e9200/pfmt220.pdf>
- Mikhailov, P., Ualiyev, Z. (2020). Sensor stability assurance problems and their relationship with the overall problems of providing system performance quality. *MATEC Web of Conferences*, 329, 03032. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/202032903032>
- Roriz, P., Frazão, O., Lobo-Ribeiro, A. B., Santos, J. L., Simões, J. A. (2013). Review of fiber-optic pressure sensors for biomedical and biomechanical applications. *Journal of Biomedical Optics*, 18 (5), 050903. doi: <https://doi.org/10.1117/1.jbo.18.5.050903>
- Kotiuk, A.F. (2006). *Datchiki v sovremennykh izmereniakh*. Moscow: Radio i sviaz Telekom, 96.
- Varzhel', S. V. (2015). *Volokonnye breggovskie reshetki*. Sankt-Peterburg: Universitet ITMO, 65. Available at: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1762.pdf>
- Belikin, M. N. (2016). *Bystrodeistviushee malogabaritnoe ustroystvo registratsii spektralnogo otklika dlia volokonnoopticheskikh datchikov na breggovskikh reshetkakh*. Saint Petersburg, 14.
- Shachneva, E. A. (2021). *Volokonno-opticheskie informacionno-izmeritel'nye sistemy parametrov zhidkostnykh potokov*. Penza, 222. Available at: https://dissov.pnzgu.ru/files/dissov.pnzgu.ru/2021/shachneva/dissertaciya_shachnevoy_e_a_.pdf
- Shroeder, R. Dzh., Udd, E. (1997). Pat. No. 2205374 RU. Fiber-optic pressure transducers and pressure measurement system including them. No. 2000102711/28; declared: 02.07.1998; published: 27.05.2003. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/cf/4c/10/87b1c0c1c2daca/RU2205374C2.pdf>
- Tsaplin, A. I., Repin, V. N., Repin, M. V., Aksenov, R. A., Ermakov, N. A. (2004). Pat. No. 2269755 RU. Fiber-optic pressure sensor. No. 2004120829/28; declared: 07.07.2004; published: 10.02.2006. Available at: <http://www.freepatent.ru/images/patents/200/2269755/patent-2269755.pdf>
- Stoesh, K. U., Boyd, K. D. (2011). Pat. No. 2473874 RU. Distributed optical pressure and temperature sensors. No. 2011103240/28; declared: 29.06.2009; published: 27.01.2013. Available at: <https://patentimages.storage.googleapis.com/32/d3/52/3979afb77d322a/RU2473874C2.pdf>
- Pat. No. 230588 RU. *Volokonno-opticheskiy datchik davleniya*.
- Gulyaev, Yu. V., Nikitov, S. A., Potapov, V. T., Chamorovskiy, Yu. K. (2005). *Volokonno-opticheskie tehnologii, ustroystva, datchiki i sistemy*. *Foton-Ekspres*, 6, 114–127.
- Murashkina, T. I., Motin, A. V., Chukareva, M. M., Torgashin, S. I. (2018). Technology of fabrication of sensitive element of the differential fiber-optic acceleration sensor. *Measuring. Monitoring. Management. Control*, 1 (23), 38–44. doi: <http://doi.org/10.21685/2307-5538-2018-1-6>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241694**АНАЛІЗ ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ НА НАНОРІДИНУ В ЯКОСТІ ХОЛОДОАГЕНТУ РАДІАТОРА ДВИГУНА (с. 6–13)****Sudarmadji Sudarmadji, Santoso Santoso, Sugeng Hadi Susilo**

У статті розглядаються комбіновані методи збільшення теплопередачі, вплив додавання нанорідин і ультразвукових коливань в радіаторі з використанням холодоагенту радіатора (ХР) в якості основної рідини. Метою дослідження було визначити вплив наночастинок в рідинах (нанорідині) і ультразвукових коливань на загальний коефіцієнт теплопередачі в радіаторі. Використовувалися наночастинок оксиду алюмінію розміром 20-50 нм виробництва Zhejiang Ultrafine powder & Chemical Co, Ltd, Китай з об'ємною концентрацією 0,25 %, 0,30 % і 0,35 %. Регулюючи температуру потоку рідини в радіаторі від 60 °С до 80 °С, швидкість потоку рідини варіюється від 7 до 11 л/хв. Результати показали, що додавання наночастинок і ультразвукових коливань на холодоагент радіатора збільшує загальний коефіцієнт теплопередачі на 62,7 % при швидкості потоку 10 літрів за хвилину і температурі 80 °С для об'ємної концентрації частинок 0,30 % в порівнянні з чистим ХР без вібрації. Вплив ультразвукових коливань на чистий холодоагент радіатора без вібрації збільшує загальний коефіцієнт теплопередачі на 9,8 % з 385,3 Вт/м²·°С до 423,3 Вт/м²·°С при швидкості потоку 9 літрів за хвилину при температурі 70 °С. Присутність частинок в охолоджуючій рідині підвищує загальний коефіцієнт теплопередачі за рахунок впливу ультразвукових коливань, нанорідин з об'ємною концентрацією 0,25 % і 0,30 % приблизно на 10,1 % і 15,7 % відповідно порівняно з відсутністю вібрації. У той час як вплив наночастинок на чистий холодоагент радіатора при 70 °С збільшив загальний коефіцієнт теплопередачі приблизно на 39,6 % при об'ємній концентрації частинок 0,35 % в порівнянні з ХР, який становить 390,4 Вт/м²·°С до 545,1 Вт/м²·°С при 70 °С при швидкості потоку 10 літрів за хвилину.

Ключові слова: нанорідина, оксид алюмінію, холодоагент радіатора, ультразвукові коливання, загальний коефіцієнт теплопередачі.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.240262**АНАЛІЗ ДІАГНОСТИКИ НЕСПРАВНОСТЕЙ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ СПОЖИВАНОЇ ПОТУЖНОСТІ (с. 14–20)****Hasan Shakir Majdi, Sameera Sadey Shijer, Abduljabbar Owaid Hanfesh, Laith Jaafer Habeeb, Ahmad H. Sabry**

Раннє виявлення несправностей в двигунах постійного струму продовжує термін їхньої служби і знижує енергоспоживання. Існує безліч традиційних і методів м'яких обчислень для виявлення несправностей в двигунах постійного струму. Раніше було розроблено велику кількість методів діагностики для виявлення образів, пов'язаних з несправностями. Ці методи виявлення вищезгаданих потенційних відмов двигунів можуть використовуватися в різних галузях науки і техніки. Аналіз структури потужності двигуна (АСПД) – це технологія, яка аналізує струм і напругу, що подаються на електродвигун, з використанням певних схем і протоколів для оцінки робочого стану двигунів без переривання виробництва. Інженери та дослідники, особливо в промисловості, стикаються зі складним завданням моніторингу обертових типів обладнання. У даній роботі ми збираємося пояснити, як використовувати аналіз структури/характеристик потужності двигуна (АСПД) сигналу потужності, що приводить в дію сервопривід, для пошуку механічних дефектів в зубчастій передачі. Для спрощення демонстрації отримання спектральних показників сигналів споживаної потужності використовується апаратна установка. Використовується двигун постійного струму, набір металевих або нейлонових приводних механізмів і ланцюг управління. Ланцюг регулювання швидкості було виключено для забезпечення можливості прямого управління профілями струму двигуна постійного струму. Для отримання сигналу тахометра на виході сервоприводу використовувалися інфрачервоні (ІЧ) фотопереривачі діаметром 35 мм зі стандартним серво-колом з вісьмома отворами. Середнє значення вимірювань склало 318 В для справного профілю, в той час як за даними потужності несправних передач воно становило 330 В. Запропонований метод аналізу профілю споживаної потужності дозволяє виявити механічні несправності в коробці передач серводвигуна постійного струму шляхом вивчення середнього рівня структури споживаної потужності, а також вилучення спектральної щільності потужності (СЩП) шляхом порівняння несправних і справних профілів.

Ключові слова: моніторинг, серводвигун постійного струму, споживана потужність, розпізнавання образів, профіль потужності, механічні несправності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239509**ВИЗНАЧЕННЯ ДОДАТКОВОГО ДІАГНОСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОЦІНОВАННЯ СТАНУ ОБМОТОК СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА (с. 21–29)****О. В. Губаревич, С. О. Гулак, О. А. Дакі, Ю. Г. Якусевич**

Запропоновано і обґрунтовано використання додаткового діагностичного параметру для оцінки стану обмоток статора асинхронних двигунів в період експлуатації. Були отримані залежності значень фазових зсувів між фазними струмами та фазними напругами.

Ці залежності показали, що при виникненні міжвиткового замикання в обмотках статора фазні зсуви однакові для всіх фаз двигуна. Це дозволило отримати залежності зміни фазового зсуву від зміни частоти обертання валу двигуна.

В результаті досліджень отримано залежності швидкостей зміни фазового кута від частоти обертання валу двигуна як для однієї, так і для двох пошкоджених фаз з різним ступенем пошкодження. При аналізі цих залежностей встановлено, що зі збільшенням числа пошкоджених фаз електродвигуна зменшується лінійна ділянка залежностей. Крім того, зі збільшенням ступеня пошкодження фаз зменшується кут нахилу лінійних ділянок характеристик. Це дозволило визначити додатковий параметр для діагностики місця і ступеня міжвиткового замикання обмоток асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Значення додаткового параметра, названого авторами «фазовий критерій» можуть бути використані для оцінки стану і ступеня пошкодження обмотки статора асинхронних двигунів. Значення фазових критеріїв для різних видів ушкоджень склали: при пошкодженні фази А на 90 %, $\xi=0,634, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$; при пошкодженні фази А на 80 % $\xi=0,393, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$; при пошкодженні фази А на 80 % і фази В на 90 % $\xi=0,25, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$; при пошкодженні фази А на 80 % і фази В на 80 % $\xi=0,173, (\text{deg})^2/(\text{rpm})^2$.

Результати проведених досліджень можуть бути використані для вибору ефективного методу діагностики міжвиткового замикання в обмотці статора при побудові системи діагностики асинхронних двигунів в складі приводів транспортного устаткування.

Ключові слова: транспортна інфраструктура, асинхронний двигун, міжвиткове замикання, фазні струми, діагностичні параметри.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.238984

ПРОЕКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ВИСОКОПОТУЖНОГО ДВОХВИХІДНОГО ІЗОЛЬОВАНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧУКА (с. 30–38)

Yasir M.Y. Ameen, Harith Al-Badrani, Mohamed N. Abdul Kadir

Серед безтрансформаторних перетворювачів постійного струму очевидна перевага звичайного перетворювача Чука завдяки його гарним властивостям. Однак вихідна потужність обмежена для всіх типів безтрансформаторних перетворювачів, включаючи звичайний перетворювач Чука. Для отримання більшої потужності від цього перетворювача, потрібні були деякі зміни в його конструкції. Одна з них полягає в додаванні трансформатора для передачі більшої потужності і відділення вторинної обмотки від первинної. Для живлення деяких компонентів, таких як ланка постійного струму модульних багаторівневих інверторів, наприклад каскадний Н-мостовий (КНМ), потрібно більше одного виходу. Тому, дана робота присвячена проектуванню, аналізу та моделюванню ізольованого модифікованого двовихідного перетворювача Чука. Запропонований перетворювач розрахований на загальну вихідну потужність 2000 Вт з використанням тільки одного модулюючого перемикача. За допомогою платформи ANSYS Maxwell представлена повна конструкція і детальний аналіз високочастотного трансформатора. Результати моделювання високочастотного трансформатора підтверджуються результатами експериментальної реалізації, було отримано хороше узгодження з невеликим відсотком помилок менше 4 %. Для представлення математичної моделі перетворювача був виведений і представлений набір аналітичних рівнянь. Крім того, за допомогою MATLAB/Simulink була змодельована і проаналізована вся схема перетворювача. Результати моделювання були перевірені і зіставлені з результатами математичної моделі, що дало відмінний збіг з процентною похибкою менше 2,15 %. Нарешті, при випробуванні представленого перетворювача при різних навантаженнях, включаючи незбалансовані, було досягнуто розумне регулювання вихідної напруги, причому дві вихідні напруги були майже ідентичні з відхиленням менше 0,25 % в умовах серйозного незбалансованого навантаження 150 %.

Ключові слова: ізольований перетворювач Чука, перетворювач постійного струму, двовихідний високопотужний перетворювач, високочастотний трансформатор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.241769

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ДАНИХ ВІД ОБСЯГІВ ВДИХУВАНОВОГО ПОВІТРЯ ПРИ БАГАТОЧАСТОТНОЇ ЕЛЕКТРОІМПЕДАНСНОЇ ТОМОГРАФІЇ (с. 39–50)

Г. К. Алексанян

У роботі запропоновано підхід до моделювання процесу штучної вентиляції легенів людини шляхом їх керованого наповнення фіксованим об'ємом повітря, за допомогою навантажувальним спірометра Coach 2. Це дозволяє змодельовати процес вентиляції для здорової людини і прив'язати задається дихальний обсяг до вимірювальних даних. Наведено результати експериментальних досліджень розробленої системи багаточастотної електроімпедансної томографії. Випробування виконувалися для діапазону частот від 50 кГц до 400 кГц (з кроком 50 кГц) при задаються дихальних обсягів від 500 мл до 4000 мл (з кроком 500 мл) для п'яти циклів вдиху/видиху. Схема виконання досліджень: Активний вдих – пасивний видих, кількість випробовуваних добровольців – 3 людини з числа розробників системи. В результаті отримані залежності вимірних значень змін потенціалів від частоти ін'єктуємого струму для різних дихальних обсягів у трьох випробовуваних без патологій респіраторної функції і функції зовнішнього дихання. Отримані результати експериментальних досліджень показують, що існує залежність величини вимірювальних даних як від обсягу вдихуваного повітря, так і від частоти ін'єктуємого струму. Дана особливість може бути використана для розробки ряду медичних пристроїв персоналізованого моніторингу функції легенів людини. Також виявлено, що існують частоти, на яких спостерігається максимальний розкид вимірювальних даних за результатами серії повторних дослідів. При цьому характер зміни вимірювальних даних ЕІТ при збільшенні обсягів вдихуваного повітря однаковий для всіх випробовуваних. Передбачається, що дана особливість також може бути використана для підвищення ступеня персоналізації ЕІТ.

Ключові слова: електроімпедансна томографія, багаточастотність, вимірювальні дані, дихальні обсяги, експериментальні дослідження, провідність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243097

РОЗРОБЛЕННЯ ТА АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАЗМИ В АКТИВНІЙ ОБЛАСТІ ІНТЕГРАЛЬНИХ P-I-N-СТРУКТУР МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ ЗБУРЕНЬ ТА КОНФОРМНИХ ВІДОБРАЖЕНЬ (с. 51–61)

А. Я. Бомба, І. П. Мороз, М. В. Бойчура

Приведені результати математичного моделювання стаціонарних фізичних процесів в електронно-дірковій плазмі активної області (і-області) інтегральних p-i-n-структур. Математична модель записана в рамках гідродинамічного теплового наближення з врахуванням феноменологічних даних про вплив на динамічні характеристики носіїв заряду розігріву електронно-діркової плазми внаслідок виділення в об'ємі і-області Джоулевого тепла та вивільнення енергії рекомбінації. Основу моделі складає нелінійна крайова задача на заданій просторовій області з криволінійними ділянками границі для системи рівнянь неперервності струму носіїв заряду, Пуассона та теплопровідності. Постановка задачі містить природним чином сформований малий параметр, що забезпечує можливість залучити асимптотичні методи для її аналітико-числового розв'язання. Модельна нелінійна крайова задача з малим параметром приведена до послідовності лінійних крайових задач методами теорії збурень, а фізична область задачі з криволінійними ділянками межі до канонічного виду – методом конформних відображень. Отримано стаціонарні розподіли концентрацій носіїв заряду і відповідне температурне поле в активній області p-i-n-структур у вигляді асимптотичних рядів за степенями малого параметра. Процес уточнення розв'язків ітеративний, з почерговою фіксацією невідомих задач на різних етапах ітераційного процесу. Асимптотичні ряди, які описують поведінку концентрації плазми і потенціалу у досліджуваній області, на відміну від класичних, містять примежові поправки. Встановлено, що примежові функції відіграють ключову роль в описі електростатичного поля плазми. Запропонований підхід до розв'язання відповідної нелінійної задачі забезпечує можливість суттєвої економії обчислювальних ресурсів.

Ключові слова: асимптотичний ряд, примежова поправка, конформні відображення, сингулярність, електронно-діркова плазма, p-i-n-структура.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.243161

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ЧАСТКОВИХ ОБЛАСТЕЙ В ЗАДАЧІ ВИПРОМІНЕННЯ ЗВУКУ СФЕРОЮ В ХВИЛЕВОДІ З АКУСТИЧНО М'ЯКИМИ ГРАНИЦЯМИ (с. 62–78)

О. В. Коржик, О. С. Чайка, С. А. Найда, Т. М. Желяскова, М. С. Найда

В роботі розглянуті особливості формування акустичного поля сферичним джерелом з ускладненими властивостями в регулярному плоскопаралельному хвилеводі, що має практичне значення в морському приладобудуванні та океанографічних дослідженнях. Алгоритм розв'язку будується на основі використання рівняння Гельмгольца і методу Фур'є для кожної часткової області та умов спряження на їх границях. Представлений розрахунок дозволяє позбутися ідеалізованих граничних умов на поверхні джерела, з подальшим визначенням коефіцієнтів збудження мод хвилеводу в рамках задачі Штурма-Ліувіля. При цьому залучення граничних умов на поверхні та дні моря, а також умови Зоммерфельда, надає можливість отримати реальний розподіл поля в вертикальних перетинах хвилеводу.

Отримані частотні залежності складових тиску та коливальної швидкості показують їх амплітудно-фазові відмінності, які досягають 90 градусів, що частково пояснює виникнення особливих точок в полі інтенсивності в регулярному хвилеводі. Визначено, що багатократність відбиття звукових хвиль від границь робочого простору і простору хвилеводу викликають осциляції складових тисків зі змінням рівня амплітуди до 6 дБ. З'ясовано, що зі зростанням розмірів джерела в робочому просторі утворюється своєрідний резонанс, частота якого залежить від глибини моря і відповідає області $kr=x=5.8$. Встановлено, що під час формування акустичного поля в робочому просторі частотна характеристика складових імпедансу подається як багаторезонансна залежність, утворена на основі частотних характеристик нижніх мод та їх комбінацій. Експериментальні дослідження показали відповідність результатів розрахунків модового складу акустичного поля випромінювача, отриманим в умовах басейну, просторовим характеристикам модових складових акустичного поля з похибкою до 3 дБ.

Ключові слова: акустичне поле, акустичний плоскопаралельний хвилевод, сферичне джерело, часткові області.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.242995

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ ДЛЯ КОСМІЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ (с. 80–89)

Petr Mikhailov, Zhomart Ualiyev, Assem Kabdoldina, Nurzhigit Smailov, Askar Khikmetov, Feruza Malikova

Датчики, що використовуються в ракетно-космічній техніці, схильні до впливу екстремальних зовнішніх впливів за температурою, вібраціями, ударами. Тому вибір типу датчиків обґрунтований саме стійкістю до таких факторів, а також можливістю забезпечувати тимчасову та параметричну стабільність вимірів. Таким умовам відповідає новий тип датчиків – оптоволоконні. Основою вибору та подальшого вдосконалення таких датчиків були такі вимоги, як мінімальне енергоспоживання, висока точність та стабільність вимірювань, можливість суміщення в одному датчику кількох вимірювань. Відзначено, що для космічної інфраструктури фактор можливості одночасного вимірювання кількох параметрів одним датчиком є одним із важливих показників якості. Це з можливістю зниження кількості самих датчиків, що знижує масогабаритні параметри космічної техніки. Це стосується, насамперед, вимірювань тиску та температури, оскільки вони, разом, становлять щонайменше 40 % всіх вимірів

у космічних виробках. Шлях вибору типів методів та конструкцій датчиків призвів до поєднання амплітудного методу перетворення та оптичної комунікації в одному датчику. При цьому амплітудна модуляція тиску та температури здійснюється мікроелектромеханічним блоком (модулем), а промодульований оптичний сигнал передається оптичним модулем. Така модульна композиція датчика дозволяє відмовитися від оптичних аналізаторів (інтерогаторів) та здійснювати подальшу обробку на основі стандартних інтерфейсів. Обмеженнями запропонованих методів та конструкцій є необхідність у мікроелектромеханічних структурах, що вимірюють певні фізичні величини. Такі структури для волоконно-оптичних датчиків не виробляються серійно, тому їх виготовлення може бути налагоджено на підприємствах приладів, що мають мікроелектронне обладнання.

Ключові слова: волоконно-оптичний датчик, фотодіод, лазерний світлодіод, ґратки Бреґґа, суміщений.