

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED PHYSICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283393

PROTOTYPING AN INTEGRATED IOT-BASED REAL-TIME SEWER MONITORING SYSTEM USING LOW-POWER SENSORS (p. 6–23)**Yelbek Utepov**Solid Research Group (LLP), Astana, Republic of Kazakhstan
L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6723-175X>**Alexandr Neftissov**

Astana IT University, C1, Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>**Timoth Mkilima**

Solid Research Group (LLP), Astana, Republic of Kazakhstan

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1170-0494>**Assel Mukhamejanova**Solid Research Group (LLP), Astana, Republic of Kazakhstan
L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5084-2527>**Shyngys Zharassov**Solid Research Group (LLP), Astana, Republic of Kazakhstan
L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of
Kazakhstan, 010008ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0468-8362>**Alizhan Kazkeyev**Solid Research Group (LLP), Astana, Republic of Kazakhstan
L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6591-7440>**Andrii Biloshchytskyi**Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>

Improper monitoring of sewage networks may raise various issues such as overflows, pipe blockages, theft of manhole covers, leading to flooding and pollution, infrastructure damage, vehicles accidents, injury, and even death from falling into open manholes. The key objective of this research was to examine different elements and create a prototype architecture for a real-time sewer monitoring system. Implementation of the architecture involved constructing a data gathering station and experimenting with various wireless sensing devices to assess the precision of the sensors. In addition, the study sought to design a geographic information system that integrates algorithms capable of identifying sewer overflow, blocked pipes, and the presence of manhole covers. The performance of Sharp GP2Y0A41SK0F infrared, TF-Luna Benewake LiDar, TOF400 VL53L1X laser, JSN-SR04T ultrasonic distance sensors was tested in terms of their ability to monitor water level and manhole cover. Tests revealed the most favorable results in TOF400 VL53L1X at distances between 0.2 and 1.0 m (presumed distance to the manhole cover) with a standard deviation of 0.13–0.24, and in TF-Luna Benewake at distances between 1.0 and 5.0 m (presumed distance to the chamber bottom) with a standard deviation of 0.44–1.15.

The deviation analysis has yielded equations that can be utilized to provide rough estimates of the accuracy levels of the aforementioned sensors, based on the measured distance. Additionally, the FC-28 analog and YL-63 infrared sensors were evaluated for detecting pipe blockages, with the YL-63 being more suitable. The outcomes of this study furnish valuable insights that can aid in achieving sustainable resolutions for issues related to sewer monitoring.

Keywords: sewer monitoring, sensors, Internet of Things, Geographic Information System, sewer chamber.

References

- Jia, Y., Zheng, F., Maier, H. R., Ostfeld, A., Creaco, E., Savic, D. et al. (2021). Water quality modeling in sewer networks: Review and future research directions. *Water Research*, 202, 117419. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117419>
- Kolesnikova, O., Vasilyeva, N., Kolesnikov, A., Zolkin, A. (2022). Optimization of raw mix using technogenic waste to produce cement clinker. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 10-1, 103–115. doi: https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_101_0_103
- Kolesnikova, O., Syrlybekkyzy, S., Fediuk, R., Yerzhanov, A., Nadirov, R., Utebayeva, A. et al. (2022). Thermodynamic Simulation of Environmental and Population Protection by Utilization of Technogenic Tailings of Enrichment. *Materials*, 15 (19), 6980. doi: <https://doi.org/10.3390/ma15196980>
- Patil, V., Kadam, A. (2022). Problems and Perspectives of the Urban Sewage System: A Geographical Review. *RESEARCH REVIEW International Journal of Multidisciplinary*, 4, 2815–2819. Available at: https://www.researchgate.net/publication/360388311_Problems_and_Perspectives_of_the_Urban_Sewage_System_A_Geographical_Review
- Sojobi, A. O., Zayed, T. (2022). Impact of sewer overflow on public health: A comprehensive scientometric analysis and systematic review. *Environmental Research*, 203, 111609. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111609>
- Mok, C. M. E., Wong, K., Shea, Y. K. G., Chen, W., Cheng, S. C. L. (2014). Design and algorithm development of an expert system for continuous health monitoring of sewer and storm water pipes. *International Conference on Underground Utility*.
- Patil, R., Ansari, S., Kaur Calay, R., Mustafa, M. (2021). Review of the State-of-the-art Sewer Monitoring and Maintenance Systems Pune Municipal Corporation - A Case Study. *TEM Journal*, 10 (4), 1500–1508. doi: <https://doi.org/10.18421/tem104-02>
- Czimmermann, T., Ciuti, G., Milazzo, M., Chiurazzi, M., Roccella, S., Oddo, C. M., Dario, P. (2020). Visual-Based Defect Detection and Classification Approaches for Industrial Applications—A SURVEY. *Sensors*, 20 (5), 1459. doi: <https://doi.org/10.3390/s20051459>
- Beheshti, M., Sægrov, S. (2019). Detection of extraneous water ingress into the sewer system using tandem methods – a case study in Trondheim city. *Water Science and Technology*, 79 (2), 231–239. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2019.057>
- Tuomari, D. C., Thompson, S. (2004). “Sherlocks of stormwater” effective investigation techniques for illicit connection and discharge detection. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2004 (16), 1252–1259. doi: <https://doi.org/10.2175/193864704784147098>
- Martini, A., Troncosi, M., Rivola, A. (2016). Leak Detection in Water-Filled Small-Diameter Polyethylene Pipes by Means of Acoustic Emission Measurements. *Applied Sciences*, 7 (1), 2. doi: <https://doi.org/10.3390/app7010002>

12. Moradi, S., Zayed, T. (2017). Real-Time Defect Detection in Sewer Closed Circuit Television Inspection Videos. *Pipelines* 2017. doi: <https://doi.org/10.1061/9780784480885.027>
13. Wai-Lok Lai, W., Dérobert, X., Annan, P. (2018). A review of Ground Penetrating Radar application in civil engineering: A 30-year journey from Locating and Testing to Imaging and Diagnosis. *NDT & E International*, 96, 58–78. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2017.04.002>
14. James, C. S. (2019). Flow-Measuring Structures. *Hydraulic Structures*, 243–282. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-34086-5_7
15. Wang, Y., Li, P., Li, J. (2022). The monitoring approaches and non-destructive testing technologies for sewer pipelines. *Water Science and Technology*, 85 (10), 3107–3121. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2022.120>
16. Frehmann, T., Niemann, A., Ustohal, P., Geiger, W. F. (2002). Effects of real time control of sewer systems on treatment plant performance and receiving water quality. *Water Science and Technology*, 45 (3), 229–237. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0083>
17. Rony, J. H., Karim, N., Rouf, MD. A., Islam, Md. M., Uddin, J., Begum, M. (2021). A Cost-Effective IoT Model for a Smart Sewerage Management System Using Sensors. *J*, 4 (3), 356–366. doi: <https://doi.org/10.3390/j4030027>
18. Alshami, A., Elsayed, M., Mohandes, S. R., Kineber, A. F., Zayed, T., Alyanbaawi, A., Hamed, M. M. (2022). Performance Assessment of Sewer Networks under Different Blockage Situations Using Internet-of-Things-Based Technologies. *Sustainability*, 14 (21), 14036. doi: <https://doi.org/10.3390/su142114036>
19. Uteпов, Y., Kazkeyev, A., Aniskin, A. (2021). A multi-criteria analysis of sewer monitoring methods for locating pipe blockages and manhole overflows. *Technobius*, 1 (4), 0006. doi: <https://doi.org/10.54355/tbus/1.4.2021.0006>
20. Duran, O., Althoefer, K., Seneviratne, L. D. (2002). State of the art in sensor technologies for sewer inspection. *IEEE Sensors Journal*, 2 (2), 73–81. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2002.1000245>
21. Pendharkar, A., Chillapalli, J., Dhakate, K., Gogoi, S., Jadhav, Y. (2020). IoT Based Sewage Monitoring System. *SSRN Electronic Journal*. doi: <https://doi.org/10.2139/ssrn.3697395>
22. Chillapalli, J., H. Jadhav, Y. (2020). IoT based Sewage gas Monitoring and Alert System using Raspberry PI. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 6 (4), 567–573. doi: <https://doi.org/10.32628/cseit12064114>
23. Amutha, M., Kamali, S., Sherli, T. (2022). Smart Manhole Managing and Monitoring System using IoT. *Proceedings of The International Conference on Emerging Trends in Artificial Intelligence and Smart Systems, THEETAS 2022*. Jabalpur. doi: <https://doi.org/10.4108/eai.16-4-2022.2318149>
24. Ilamurugan, G., Akiladevi, R. (2017). Integrated detection of open drainage and overflow, current leakage and rbage monitoring in IoT environment. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 5 (4), 2602–2607. Available at: <https://ijcrt.org/papers/IJCRT1704337.pdf>
25. Jan, F., Min-Allah, N., Saeed, S., Iqbal, S. Z., Ahmed, R. (2022). IoT-Based Solutions to Monitor Water Level, Leakage, and Motor Control for Smart Water Tanks. *Water*, 14 (3), 309. doi: <https://doi.org/10.3390/w14030309>
26. Yu, Y., Safari, A., Niu, X., Drinkwater, B., Horoshenkov, K. V. (2021). Acoustic and ultrasonic techniques for defect detection and condition monitoring in water and sewerage pipes: A review. *Applied Acoustics*, 183, 108282. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108282>
27. Bhosale, P., Mithapelli, S., Bollabattin, S., Patel, R., Bhalerao, A., Patil, D. D. (2021). IoT based system for detection of sewage blockages. *Information Technology in Industry*, 9 (1), 961–970. doi: <https://doi.org/10.17762/itii.v9i1.224>
28. Patel, N. (2014). A Sensor Based Web GIS System for Urban Sewage Monitoring. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3 (1), 1933–1936. Available at: <https://www.ijert.org/research/a-sensor-based-web-gis-system-for-urban-sewage-monitoring-IJERTV3IS10805.pdf>
29. Häring, I. (2021). Models for Hardware and Software Development Processes. *Technical Safety, Reliability and Resilience*, 179–192. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-33-4272-9_10
30. Ogura, H. (2005). Analog Output Type Distance Measuring Sensor GP2Y0A41SK0F. Available at: https://www.sharpsde.com/fileadmin/products/Optoelectronics/Sensors/Specs/GP2Y0A41SK0F_25Apr05_Spec_ED05G101.pdf
31. TOF laser ranging sensor module. Available at: <https://download.kamami.pl/p587523-H21c81639dd5346518ca0cabd3a832b4a1.jpg>
32. JSN SR04T DC 5V Ultrasonic Module Distance Measuring Transducer Sensor IO Port Waterproof For Arduino. Available at: https://www.diy-more.cc/collections/sensor-module/products/high-accuracy-jsn-sr04t-dc-5v-ultrasonic-module-distance-measuring-transducer-sensor-io-port-waterproof-for-arduino?_pos=2&_sid=2c5c55d16&_ss=r
33. TF-Luna 8m Low Cost Distance Sensor Modul. Available at: https://en.benewake.com/TFLuna/index_proid_328.html
34. FC-28 Soil Hygrometer (Moisture) Sensor. Available at: <https://www.uruktech.com/product/fc-28-soil-hygrometer-sensor/>
35. YL-63 Infrared & Photoelectric Sensor Modules. Available at: <http://us.100y.com.tw/viewproduct.asp?MNo=95649>
36. Daily Official (market) Foreign Exchange Rates. Available at: <https://nationalbank.kz/en/exchangerates/ezhednevnye-oficialnye-rynchnye-kursy-valyut>
37. ATmega328P. 8-Bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. Available at: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf
38. ESP8266EX Datasheet. Available at: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
39. NodeMCU ESP8266 Detailed Review. Available at: <https://www.make-it.ca/nodemcu-details-specifications/#:~:text=UART>
40. SD Card Module (3.3V/5.0V Arduino-Compatible, MicroSD Reader/Writer). Available at: <https://makersportal.com/shop/arduino-compatible-micro-sd-card-module>
41. Ra-02 LoRa Product Specification V1.1. Available at: https://docs.ai-thinker.com/_media/lorra/docs/c048ps01a1_ra-02_product_specification_v1.1.pdf
42. GSM/GPRS Module. SIM800L. Available at: <https://simcom.ee/documents/SIM800L/SIM800L%20SPEC170914.pdf>
43. ABS Black Plastic Electronics Project Box Enclosure Hobby Case with Screws. Available at: <https://digitalzakka.com/product/abs-black-plastic-electronics-project-box-enclosure-hobby-case-with-screws/>
44. Uteпов, Ye. B. (2021). Effect of the shape and structure of maturity sensor's plastic housing on its physico-mechanical properties. *Eurasian Physical Technical Journal*, 18 (3 (37)), 83–87. doi: <https://doi.org/10.31489/2021no3/83-87>
45. LS 14500. Primary Li-SOCI2 cell. Available at: https://www.saft.com/download_file/6X7JMGAnv3Fm6HdmtEv%252B2gtlbZ1bRVHkjs11M6md92GD2EF7vU%252F3Oybbz3WOIG%252BxR8srpA5iCdJ%252FV3IQzTVHQyiTucngZKEg9KkYCLkowAvgG1huyqyXUIQvO1qUkZjGCfaa8Bj8zATp1fXJjXWOMWYOmKIKGI%252B2HKVzqrqCKI1yMfBQ%253D%253D/Data.Sheet.pdf
46. 15W Single Output Switching Power Supply. Available at: <https://www.meanwell-web.com/content/files/pdfs/productPdfs/MW/RS-15/RS-15-spec.pdf>

47. PCB design made easy for every engineer. Available at: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
48. Arduino IDE 2.1.0. Available at: <https://www.arduino.cc/en/software>
49. MariaDB Server: The open source relational database. Available at: <https://mariadb.org/>
50. Why Spring? Available at: <https://spring.io/why-spring>
51. The library for web and native user interfaces. Available at: <https://react.dev/>
52. A high-performance, feature-packed library for all your mapping needs. Available at: <https://openlayers.org/>
53. Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal. Available at: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds3231.pdf>
54. Gruber, G., Winkler, S., Pressl, A. (2005). Continuous monitoring in sewer networks an approach for quantification of pollution loads from CSOs into surface water bodies. *Water Science and Technology*, 52 (12), 215–223. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0466>
55. Siemers, L., Dodd, J., Day, D., Kerr, D., LaGorga, J., Romano, P. (2011). Low Cost Overflow Monitoring Techniques and Hydraulic Modeling of A Complex Sewer Network. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2011 (5), 571–583. doi: <https://doi.org/10.2175/193864711802837363>
56. Wani, O., Scheidegger, A., Carbajal, J. P., Rieckermann, J., Blumensaat, F. (2017). Parameter estimation of hydrologic models using a likelihood function for censored and binary observations. *Water Research*, 121, 290–301. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.038>
57. Rasmussen, M. R., Thorndahl, S., Schaarup-Jensen, K. (2008). A Low Cost Calibration Method for Urban Drainage Models. 11th International Conference on Urban Drainage: Edinburgh International Conference Centre. Available at: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/14970929/A_Low_Cost_Calibration_Method_for_Urban_Drainage_Models
58. Jeanbourquin, D., Sage, D., Nguyen, L., Schaeli, B., Kayal, S., Barry, D. A., Rossi, L. (2011). Flow measurements in sewers based on image analysis: automatic flow velocity algorithm. *Water Science and Technology*, 64 (5), 1108–1114. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2011.176>
59. Lo, S.-W., Wu, J.-H., Lin, F.-P., Hsu, C.-H. (2015). Visual Sensing for Urban Flood Monitoring. *Sensors*, 15 (8), 20006–20029. doi: <https://doi.org/10.3390/s150820006>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283271

IMPROVING THE ENERGY CHARACTERISTICS OF A FOUR-QUADRANT CONVERTER WITH PULSE-WIDTH MODULATION (p. 24–32)

Yury Dubravin

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9006-5198>

Viktor Tkachenko

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

Maryna Morneva

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2447-1339>

The characteristics of the input energy converter of an electric locomotive with an induction traction electric drive were studied. The efficiency of the 4QS converter has been increased and the level of current harmonic distortions in the power supply system has been reduced. The research resulted in proposals for improving the con-

trol algorithm of the input energy converter to improve the traction-energy indicators of the electric drive and reduce the emission of high-frequency harmonics into the contact network. The results were obtained on the basis of simulation modeling of the “traction transformer – 4QS-converter” system on the example of the alternating current electric locomotive DS3 (Dnipro-Siemens-3).

Modeling of the operation of the 4QS-converter of the electric locomotive was performed for the case of the maximum load of the drive under a traction mode. Two versions of the input converter control algorithm were studied and compared: the basic version of the DS3 electric locomotive and the modified version proposed by us. It was found that in the case of the basic variant of the converter control algorithm, conditions are created at certain time intervals when the capacitor of the constant voltage link on the secondary winding of the traction transformer is discharged under a traction mode. The consequence of this is a decrease in the efficiency factor of the converter and a deterioration of the harmonic distortion factor of the rectified voltage. In the modified algorithm, the discharge time of the capacitor of the constant voltage link on the secondary winding of the traction transformer is significantly reduced and the efficiency of the 4QS converter is increased.

Keywords: 4QS converter, converter control algorithm, pulse width modulation, simulation model, energy characteristics, higher current harmonics.

References

1. Zhemerov, G., Plakhtii, O., Mashura, A. (2020). Efficiency Analysis of Charging Station for Electric Vehicles Using the Active Rectifier in Microgrid System. 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). doi: <https://doi.org/10.1109/ieps51250.2020.9263182>
2. Plakhtii, O., Nerubatskyi, V., Karpenko, N., Hordiienko, D., Butova, O., Khoruzhevskiy, H. (2019). Research into energy characteristics of single-phase active four-quadrant rectifiers with the improved hysteresis modulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (8 (101)), 36–44. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179205>
3. He, L., Xiong, J., Ouyang, H., Zhang, P., Zhang, K. (2014). High-Performance Indirect Current Control Scheme for Railway Traction Four-Quadrant Converters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61 (12), 6645–6654. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2014.2316240>
4. Divan, D., Kandula, R. P., Mauger, M. J. (2021). The Case for Soft Switching in Four-Quadrant Power Converters. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 9 (6), 6545–6560. doi: <https://doi.org/10.1109/jestpe.2021.3112658>
5. Luo, F. L., Hong Ye, Rashid, M. H. (2000). Four quadrant operating Luo-converters. 2000 IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference. Conference Proceedings (Cat. No.00CH37018). doi: <https://doi.org/10.1109/pesc.2000.879957>
6. Nerubatskyi, V., Plakhtii, O., Kotlyarov, V. (2019). Analysis of topologies of active four-quadrant rectifiers for implementing the INDUSTRY 4.0 principles in traffic power supply systems. *International scientific journal «INDUSTRY 4.0»*, 4 (3), 106–109. Available at: <https://stumejournals.com/journals/i4/2019/3/106>
7. Monteiro, V., Sousa, T. J. C., Couto, C., Seplveda, M. J., Fernandes, J. C. A., Afonso, J. L. (2018). A Novel Single-Phase Bidirectional Nine-Level Converter Employing Four Quadrant Switches. 2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). doi: <https://doi.org/10.1109/sest.2018.8495740>
8. Zhang, C., Yu, S., Ge, X. (2019). A Stationary-Frame Current Vector Control Strategy for Single-Phase PWM Rectifier. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68 (3), 2640–2651. doi: <https://doi.org/10.1109/tvt.2019.2895290>

9. Xiao, X., Zhang, Y., Song, X., Yildirim, T., Zhang, F. (2018). Virtual Flux Direct Power Control for PWM Rectifiers Based on an Adaptive Sliding Mode Observer. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54 (5), 5196–5205. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2018.2832122>
10. Lin, F., Wang, X., Yang, Z., Sun, H., Liu, W., Hao, R. et al. (2016). Analysis of electrical characteristics of the four-quadrant converter in high speed train considering pantograph-catenary arcing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 231 (2), 185–197. doi: <https://doi.org/10.1177/0954409715624725>
11. Goolak, S., Tkachenko, V., Saponova, S., Lukoševičius, V., Keršys, R., Makaras, R. et al. (2022). Synthesis of the Current Controller of the Vector Control System for Asynchronous Traction Drive of Electric Locomotives. *Energies*, 15 (7), 2374. doi: <https://doi.org/10.3390/en15072374>
12. Goolak, S., Tkachenko, V., Štastniak, P., Saponova, S., Liubarskyi, B. (2022). Analysis of Control Methods for the Traction Drive of an Alternating Current Electric Locomotive. *Symmetry*, 14 (1), 150. doi: <https://doi.org/10.3390/sym14010150>
13. Shruti, K. K., Valsalan, T., Poorani, S. (2017). Single phase active front end rectifier system employed in three phase variable frequency drive. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 5 (1), 121–129. Available at: <https://ijireeice.com/wp-content/uploads/2017/05/IJIREEICE-nCORETech-16.pdf>
14. Gao, J., Chen, Z., Dai, L., Huang, S., Xu, W. (2022). Research on feed-forward control of four-quadrant converter based on load current observer. *Energy Reports*, 8, 998–1008. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.02.156>
15. Demydov, O., Liubarskyi, B., Domanskyi, V., Glebova, M., Iakunin, D., Tyshchenko, A. (2018). Determination of optimal parameters of the pulse width modulation of the 4qs transducer for electric rolling stock. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (95)), 29–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143789>
16. Goolak, S., Liubarskyi, B., Saponova, S., Tkachenko, V., Riabov, I., Glebova, M. (2021). Improving a model of the induction traction motor operation involving non-symmetric stator windings. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (8 (112)), 45–58. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.236825>
17. Dubravin, Y., Tkachenko, V. (2019). Research of the model of an active four-quadrant transmitter of ac main electric vehicle. *Collection of Scientific Works of the State University of Infrastructure and Technologies Series “Transport Systems and Technologies,”* 34, 155–174. doi: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-34-1-13>

DOI: [10.15587/1729-4061.2023.282444](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.282444)

IMPROVING THE TECHNOLOGY FOR ENSURING THE MAGNETIC CLEANLINESS OF SMALL SPACECRAFT (p. 33–42)

Andriy Getman

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2849-3575>

The object of this study is the technology of ensuring magnetic cleanliness when applied to small spacecraft (SC) with overall dimensions of ~1 m in terms of minimizing the effect of magnetic interference on the on-board magnetometer. As part of solving the general problem of increasing the reliability of spacecraft, the task of improving the technology of magnetic cleanliness is considered. It is shown that the use of the multi-dipole model for the calculation of ~50 nT magnetic interference is limited in the design of small space

vehicles that have an increased installation density. The expediency of using a model of its spherical harmonics instead of a multi-dipole model to represent the magnetic field of satellite components was theoretically justified. For the practical application of the model, the budgeting of the projections of the magnetic induction of hindrance to the onboard magnetometer according to the experimentally determined coefficients of the dipole, quadrupole and octupole spherical harmonics is proposed. An algorithm for calculating the coordinates of the location and projections of the magnetic moment of the dipole source inside the satellite based on the results of measuring the coefficients of spherical harmonics of its components is proposed. The possibility of representing the coefficients of the spherical harmonics of the magnetic field of the entire satellite in the form of the sum of the listed corresponding coefficients obtained during field measurements of the components is theoretically justified. It is proposed to use the difference between the calculated and measured values of the corresponding coefficients as a criterion for the quality of the work to ensure magnetic cleanliness. If the proposed procedure is used in the space industry, the quality of ensuring the magnetic cleanliness of small space vehicles can be increased, thereby improving the reliability of their operation in orbit.

Keywords: magnetic cleanliness technology, spacecraft, spherical harmonics of the magnetic field.

References

1. Eichhorn, W. L. (1972). *Magnetic dipole moment determination by near-field analysis*. Washington, D.C.: National Aeronautics and Space Administration. Available at: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19720020082/downloads/19720020082.pdf>
2. ECSS-E-HB-20-07A (2012). *Space engineering: Electromagnetic compatibility hand-book*. ESA-ESTEC. Noordwijk: Requirements & Standards Division, 228.
3. ECSS-E-HB-20-07C (2012). *Space engineering: Electromagnetic compatibility hand-book*. ESA-ESTEC. Noordwijk: Requirements & Standards Division, 91.
4. Weikert, S., Mehlem, K., Wiegand, A. (2012). *Spacecraft magnetic cleanliness prediction and control*. ESA Workshop on Aerospace EMC. Available at: https://www.researchgate.net/publication/241633435_Spacecraft_magnetic_cleanliness_prediction_and_control
5. Mehlem, K. (2012). *Optimal Magnetic Cleanliness Modeling of Spacecraft*. *Modeling and Optimization in Space Engineering*, 295–341. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4469-5_13
6. Narvaez, P. S. (2018). *DC Magnetic Cleanliness Description for Spaceflight Programs*. *Handbook of Aerospace Electromagnetic Compatibility*, 621–672. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119082880.ch12>
7. Connerney, J. E. P., Benn, M., Bjarno, J. B., Denver, T., Espley, J., Jorgensen, J. L. et al. (2017). *The Juno Magnetic Field Investigation*. *Space Science Reviews*, 213 (1-4), 39–138. doi: <https://doi.org/10.1007/s11214-017-0334-z>
8. Pudney, M. (2014). *Advances in Spacecraft Magnetic Cleanliness Verification and Magnetometer Zero Offset Determination in anticipation of the Solar Orbiter Mission*. London.
9. de Soria-Santacruz, M., Soriano, M., Quintero, O., Wong, F., Hart, S., Kokorowski, M. et al. (2020). *An Approach to Magnetic Cleanliness for the Psyche Mission*. 2020 IEEE Aerospace Conference. doi: <https://doi.org/10.1109/aero47225.2020.9172801>
10. Jéger, C. (2017). *Determination and Compensation Of Magnetic Dipole Moment in Application for a Scientific Nanosatellite Mission*. Stockholm.
11. Chen, X., Liu, S., Sheng, T., Zhao, Y., Yao, W. (2019). *The satellite layout optimization design approach for minimizing the residual magnetic flux density of micro- and nano-satellites*. *Acta*

Astronautica, 163, 299–306. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2018.12.006>

12. Mentges, A., Rawal, B. S. (2022). Magnetic Dipole Moment Estimation from Nearfield Measurements Using Stochastic Gradient Descent AI Model. 2022 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COM-IT-CON). doi: <https://doi.org/10.1109/com-it-con54601.2022.9850855>
13. Kildishev, A. V., Volokhov, S. A., Saltykov, J. D. (1997). Measurement of the spacecraft main magnetic parameters. 1997 IEEE Autotestcon Proceedings AUTOTESTCON '97. IEEE Systems Readiness Technology Conference. Systems Readiness Supporting Global Needs and Awareness in the 21st Century. doi: <https://doi.org/10.1109/autest.1997.643993>
14. Get'man, A. V. (2010). Spatial harmonic analysis of the magnetic field sensor of the neutral component of plasma. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (5 (48)), 35–38. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/3326>
15. Vanderlinde, J. (2005). Classical Electromagnetic Theory. Springer. doi: <https://doi.org/10.1007/1-4020-2700-1>
16. Smythe, W. (1989). Static and Dynamic Electricity. Hemisphere Publishing Corporation, 623.
17. Getman, A. V. (2013). Spatial harmonic analysis of a magnetic field of a sensor plasma of spacecraft. Technical Electrodynamics, 6, 20–23. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/handle/123456789/100751>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282059

DETECTION OF THE MAGNETIC FIELD PARAMETERS INFLUENCE ON DISCHARGE CURRENT FLUCTUATIONS AND OPTIMAL OPERATION MODES OF THE HALL THRUSTER (p. 43–51)

Olexandr Petrenko

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5648-5068>

Viktor Pererva

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8803-5360>

Viktor Maslov

FLIGHT CONTROL LLC, Dnipro, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6281-014X>

The object of research reported in this work is the fluctuations of the discharge current in Hall thrusters. The presence of significant fluctuations in the discharge current in Hall thrusters causes a significant deterioration of the thruster parameters – thrust, specific impulse, and efficiency. The task addressed in the current work relates to determining the main factors that affect the conditions for the occurrence of discharge current fluctuations, finding ways to reduce them, and obtaining optimal values of the parameters of the Hall thruster. The review of literary sources revealed that the specified problem is typical and has not yet been solved. In order to solve this problem, studies of the ST-40M Hall thruster were carried out in order to determine the main factors that have the greatest influence on the occurrence of oscillations and means of reducing the oscillations of the discharge current. The result of the research determined that the fluctuations of the discharge current depend most significantly on the parameters of the magnetic field in the acceleration channel of the thruster. The parameters of the magnetic field are determined by the magnitude of the currents of the thruster electromagnet coils, and the nature of oscillations, amplitude, and frequency may differ significantly with a slight change in the coil currents.

As a result of the study, it was found that for the values of the currents of the coils of the magnetic system of the thruster, for which the level of fluctuations of the discharge current is minimal, the average value of the discharge current of the thruster also takes a minimum value. The research made it possible to determine the optimal operating modes of the Hall thruster, which ensure, at a given level of specific power, the maximum values of thrust, specific impulse, and thruster efficiency. The conclusions from the study could be useful for most developers of electric propulsion systems based on Hall thrusters.

Keywords: Hall thruster, discharge current oscillations, optimal parameters, magnetic system.

References

1. Morozov, A. I., Savelyev, V. V. (2000). Fundamentals of Stationary Plasma Thruster Theory. Reviews of Plasma Physics, 203–391. doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-4309-1_2
2. Kapulkin, A., Behar, E. (2014). Theoretical model of suppression of electron instability in hall thrusters by boundary feedback system. 2014 IEEE 41st International Conference on Plasma Sciences (ICOPS) Held with 2014 IEEE International Conference on High-Power Particle Beams (BEAMS). doi: <https://doi.org/10.1109/plasma.2014.7012761>
3. Hamley, J., Sankovic, J., Petrenko, A., Manzella, D., Cartier, K. (1995). The effect of power supply output characteristics on the operation of the SPT-100 thruster. International Electric Propulsion Conference (IEPC). Available at: <http://electricrocket.org/IEPC/IEPC1995-241.pdf>
4. Yamamoto, N., Komurasaki, K., Arakawa, Y. (2006). Erratum for “Discharge Current Oscillation in Hall Thrusters.” Journal of Propulsion and Power, 22 (2), 478–478. doi: <https://doi.org/10.2514/1.22410>
5. Furukawa, T., Miyasaka, T., Fujiwara, T. (2001). Control of Low-Frequency Oscillation in a Hall Thruster. Transactions of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 44 (145), 164–170. doi: <https://doi.org/10.2322/tjsass.44.164>
6. Leporini, L., Giannetti, V., Saravia, M. M., Califano, F., Camarri, S., Andreussi, T. (2022). On the onset of breathing mode in Hall thrusters and the role of electron mobility fluctuations. Frontiers in Physics, 10. doi: <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.951960>
7. Giannetti, V., Saravia, M. M., Andreussi, T. (2020). Measurement of the breathing mode oscillations in Hall thruster plasmas with a fast-diving triple Langmuir probe. Physics of Plasmas, 27 (12), 123502. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0022928>
8. Lobbia, R. B., Gallimore, A. D. (2010). High-speed dual Langmuir probe. Review of Scientific Instruments, 81 (7), 073503. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3455201>
9. Dale, E. T., Jorns, B. A. (2019). Non-invasive time-resolved measurements of anomalous collision frequency in a Hall thruster. Physics of Plasmas, 26 (1), 013516. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5077008>
10. Lucca Fabris, A., Young, C. V., Cappelli, M. A. (2015). Time-resolved laser-induced fluorescence measurement of ion and neutral dynamics in a Hall thruster during ionization oscillations. Journal of Applied Physics, 118 (23), 233301. doi: <https://doi.org/10.1063/1.4937272>
11. Lafleur, T., Chabert, P., Bourdon, A. (2021). The origin of the breathing mode in Hall thrusters and its stabilization. Journal of Applied Physics, 130 (5), 053305. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0057095>
12. Petrenko, O., Kashaba, A., Maslov, V., Oslavsky, S. (2023). ST-40 hall thruster testing with LaB6 hollow cathode. Journal of Rocket-Space Technology, 30 (4), 15–22. doi: <https://doi.org/10.15421/452203>
13. Voronovsky, D. K., Kulagin, S. N., Maslov, V. V., Petrenko, O. N., Tolok, S. V. (2021). Hall-effect thruster ST-25 with permanent magnet. Journal of Rocket-Space Technology, 28 (4), 37–45. doi: <https://doi.org/10.15421/452005>

14. Chapurin, O., Smolyakov, A. I., Hagelaar, G., Raitses, Y. (2021). On the mechanism of ionization oscillations in Hall thrusters. *Journal of Applied Physics*, 129 (23), 233307. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0049105>
15. Barral, S., Ahedo, E. (2009). Low-frequency model of breathing oscillations in Hall discharges. *Physical Review E*, 79 (4). doi: <https://doi.org/10.1103/physreve.79.046401>
16. Barral, S., Ahedo, E., Hartfuss, H.-J., Dudeck, M., Musielok, J., Sadowski, M. J. (2008). On the Origin of Low Frequency Oscillations in Hall Thrusters. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/1.2909170>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281013
CONSTRUCTING A MODEL OF THE INFLUENCE OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL INHOMOGENEITIES ON ELECTROMAGNETIC ENERGY LOSSES IN CABLES BASED ON A TWISTED PAIR (p. 52–61)

Ganna Bezprozvannykh

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,
 Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9584-3611>

Oleg Pushkar

Research and Production Enterprise LLC SPE ALAY,
 Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8596-6855>

The objects of research reported here were cables based on twisted pairs of various designs. The issue of the emergence of additional losses of electromagnetic energy is related to structural and technological inhomogeneities at the technological stage of cable production. The influence of the working capacitance of the twisted pair on the energy losses in the cables has been substantiated. A methodology was proposed for the numerical calculation of the electric field under the condition of ellipticity of the structural elements of the twisted pair. That has made it possible to determine the distortion of the electric field and the effect of inhomogeneities on the working capacitance of a twisted pair of different designs.

Specifically, it was shown that for shielded structures with continuous polymer insulation, the distortion of the electric field and the growth of the working capacitance are observed to a greater extent. The need to find technological solutions to reduce the effect of screen ellipticity on cable capacitance has been emphasized. The effectiveness of capacitance regulation in the presence of inhomogeneities has been confirmed, by using foamed insulation to reduce the loss of electromagnetic energy in the cable.

The effect of reducing the working capacitance and increasing additional losses under the simultaneous influence of the ellipticity of the electrical insulation and the protective polymer shell has been established, which necessitates the technological process adjustment in the manufacture of twisted pair.

An applied aspect of using the results is the possibility of improving the typical technological process of manufacturing twisted pairs to reduce additional losses of electromagnetic energy at the final technological stage of cable production.

The adequacy of the numerical studies was confirmed by experimental dependences of the attenuation coefficient and additional energy losses of the unshielded cable in the frequency range up to 100 MHz.

Keywords: twisted pair, technological inhomogeneities, electric field, electromagnetic energy, foam insulation.

References

1. Reynders, D., Wright, E. (2003). *Practical TCP/IP and Ethernet Networking for Industry*. Newnes. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-5806-5.X5000-5>
2. Oughton, E. J., Lehr, W. (2022). Surveying 5G Techno-Economic Research to Inform the Evaluation of 6G Wireless Technologies. *IEEE Access*, 10, 25237–25257. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3153046>
3. Maes, J., Nuzman, C. J. (2015). The Past, Present, and Future of Copper Access. *Bell Labs Technical Journal*, 20, 1–10. doi: <https://doi.org/10.15325/bltj.2015.2397851>
4. Lamparter, O., Fang, L., Bischoff, J.-C., Reitmann, M., Schwendener, R., Zasowski, T., Zhang, X. (2019). Multi-Gigabit over Copper Access Networks: Architectural Evolution and Techno-Economic Analysis. *IEEE Communications Magazine*, 57 (8), 22–27. doi: <https://doi.org/10.1109/mcom.2019.1800847>
5. Global Shielded Twisted Pair Market Size, Share, And COVID-19 Impact Analysis, By Frequency (1 Khz-100 Mhz, 100 Mhz-500 Mhz, 500 Mhz-1,000 Mhz), By End-Use Industry (Telecommunication, Power Generation & Others), And By Region (North America, Europe, Asia-Pacific, South America, Middle East And Africa) Analysis And Forecast 2021 – 2030. Available at: <https://www.sphericalinsights.com/reports/shielded-twisted-pair-market>
6. 802.3bp-2016 - IEEE Standard for Ethernet Amendment 4: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 1 Gb/s Operation over a Single Twisted-Pair Copper Cable. doi: <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2016.7564011>
7. Pushkar, O. A. (2022). Shliakhy zabezpechennia koefitsientu zghasannia u mezhakh normovanykh znachen kabeliv na osnovi zdynokoi ekranovanoi kruchenoi pary dlia promyslovykh merezh Ethernet. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Seriya: Enerhetyka: nadiynist ta enerhoefektyvnist, 2 (5), 67–73. Available at: <http://erec.khpi.edu.ua/article/view/268316>
8. Knobloch, A., Garbe, H., Karst, J. P. (1998). Shielded or unshielded twisted-pair for high speed data transmission? 1998 IEEE EMC Symposium. *International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No.98CH36253)*. doi: <https://doi.org/10.1109/isemc.1998.750069>
9. Boiko, A. M., Bezprozvannykh, H. V. (2011). Obgruntuvannia tovshchyny izoliatsiyi vtytykh ekranovanykh par strukturovanykh kabelnykh system. *Visnyk NTU „KhPI”*, 2, 21–35.
10. Poltz, J. (2017). Attenuation of screened twisted pairs. *The 66th IWCS International Cable Connectivity Symposium*, 219–226. Available at: <http://www.optem.com/paper-c23.php>
11. Besprozvannykh, A. V., Ignatenko, A. G. (2004). Optimizatsiya konstruktсии setevykh kabeley po koefitsientu zatukhaniya v zone dopuskov geometricheskikh razmerov parametrov peredachi. *Elektr. trotekhnika i elektromekhanika*, 2, 8–10.
12. Yoho, J. J., Riad, S. M., Muqaibel, A. H. (2021). Measurement and causal modelling of twisted pair copper cables. *IET Science, Measurement & Technology*, 15 (8), 645–652. doi: <https://doi.org/10.1049/smt2.12065>
13. Baltag, O., Rosu, G., Rau, M. C. (2017). Magnetic field of parallel and twisted wire pairs. *2017 10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. doi: <https://doi.org/10.1109/atee.2017.7905020>
14. Cho, Y.-S., Ro, J.-S., Chung, Y.-S., Cheon, C., Jung, H.-K. (2013). Investigation of Electromagnetic Field Coupling with Twisted Conducting Line by Expanded Chain Matrix. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 8 (2), 364–370. doi: <https://doi.org/10.5370/jeet.2013.8.2.364>

15. Besprozvannykh, A. V., Ignatenko, A. G. (2004). Vliyanie skrutki serdechnika na parametry peredachi setevykh kabeley. *Visnyk NTU „KhPI”*, 7, 82–87.
16. Spadacini, G., Pignari, S. A. (2013). Numerical Assessment of Radiated Susceptibility of Twisted-Wire Pairs With Random Nonuniform Twisting. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 55 (5), 956–964. doi: <https://doi.org/10.1109/temc.2012.2235446>
17. Bezprozvannykh, G. V., Pushkar, O. A. (2020). Increasing noise immunity of cables for fire protection systems. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 4, 54–58. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2020.4.07>
18. Hassoun, F., Tarafi, R., Zeddani, A. (2006). Calculation of per-unit-length parameters for shielded and unshielded twisted pair cables. 2006 17th International Zurich Symposium on Electromagnetic Compatibility. doi: <https://doi.org/10.1109/emc-zur.2006.214917>
19. Bezprozvannykh, G. V., Kostiukov, I. A., Pushkar, O. A. (2021). Synthesis of constructive-technological decisions of regulation of working capacitance of cables of industrial networks. *Electrical Engineering & Electromechanics*, 1, 44–49. doi: <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2021.1.07>
20. CAPACITANCE 2000. SIKORA Technology to Perfection. Available at: <https://sikora.net/en/products/capacitance2000/>
21. ZUMBACH. Available at: <https://zumbach.com/>
22. Voloboev, V. P., Klymenko, V. P. (2020). The method of secondary sources in electrical engineering science and ill-conditioned matrices. *Mathematical Machines and Systems*, 4, 82–94. doi: <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2020-4-82-94>
23. Stadnik, I. P., Filippov, D. M. (2007). Metod SLAU rascheta staticheskikh ploskoparalel'nykh poley v kusochno-odnorodnykh sredakh (vtorichnye istochniki: prostoy sloy zaryadov; kusochno-postoyannaya i kusochno-lineynaya approksimatsii). *Tekhnichna elektrodynamika*, 6, 20–27.
24. Eaton, J. W., Bateman, D., Hauberg, S., Wehbring, R. (2016). GNU Octave A high-level interactive language for numerical computations. Boston: MA. Available at: https://www.academia.edu/34640401/GNU_Octave_A_high_level_interactive_language_for_numerical_computations_Edition_4_for_Octave_version_4_2_1_Free_Your_Numbers

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283393

СТВОРЕННЯ ПРОТОТИПУ ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖ У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МАЛОПОТУЖНИХ ДАТЧИКІВ (с. 6–23)

Yelbek Uteпов, Alexandr Neftissov, Timoth Mkilima, Assel Mukhamejanova, Shyngys Zharassov, Alizhan Kazkeyev, Andrii Biloshchytskyi

Неналежний моніторинг каналізаційних мереж може викликати різні проблеми, такі як переповнення, засмічення труб, крадіжка кришок каналізаційних люків, що призводить до підтоплень та забруднення навколишнього середовища, пошкодження інфраструктури, дорожньо-транспортних пригод, травм і навіть смерті внаслідок падіння у відкриті люки. Основною метою дослідження було вивчення різних елементів та створення прототипу архітектури для системи моніторингу каналізаційної мережі в режимі реального часу. Реалізація архітектури включала створення станції збору даних та експерименти з різними бездротовими сенсорними пристроями для оцінки точності датчиків. Крім того, дослідження було спрямоване на розробку геоінформаційної системи, що об'єднує алгоритми, які здатні ідентифікувати переповнення каналізаційних мереж, засмічення труб та наявність кришок люків. Продуктивність інфрачервоних Sharp GP2Y0A41SK0F, лідарних TF-Luna Venewake, лазерних TOF400 VL53L1X, ультразвукових JSN-SR04T датчиків відстані перевіряли з точки зору їхньої здатності контролювати рівень води та кришку люка. Випробування виявили найбільш сприятливі результати у TOF400 VL53L1X на відстанях від 0,2 до 1,0 м (передбачувана відстань до кришки люка) зі стандартним відхиленням 0,13–0,24 і у TF-Luna Venewake на відстанях від 1,0 до 5,0 м (передбачувана відстань до дна камери) зі стандартним відхиленням 0,44–1,15. В результаті аналізу відхилень були отримані рівняння, які можуть бути використані для отримання приблизних оцінок рівнів точності вищезазначених датчиків на основі вимірної відстані. Крім того, оцінені аналогові FC-28 та інфрачервоні YL-63 датчики для виявлення засмічень труб, причому YL-63 виявився більш підходящим. Результати дослідження дають цінну інформацію, яка може допомогти у досягненні стійких рішень питань, пов'язаних з моніторингом каналізаційних мереж.

Ключові слова: моніторинг каналізаційних мереж, датчики, Інтернет речей, геоінформаційна система, каналізаційна камера.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.283271

ПОЛІПШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧОТИРИКВАДРАНТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ (с. 24–32)

Ю. Ф. Дубравін, В. П. Ткаченко, М. О. Морнева

Досліджуються характеристики вхідного перетворювача енергії електричного локомотива з асинхронним тяговим електроприводом. Підвищено коефіцієнт корисної дії 4QS-перетворювача та знижено рівень гармонійних спотворень струму в системі живлення. Результатом досліджень стали пропозиції щодо удосконалення алгоритму керування вхідним перетворювачем енергії для покращення тягово-енергетичних показників електроприводу та зменшення емісії високочастотних гармонік в контактну мережу. Результати отримано на основі імітаційного моделювання системи «тяговий трансформатор – 4QS-перетворювач» на прикладі електровоза змінного струму ДСЗ (Дніпро-Simens-3).

Моделювання роботи 4QS-перетворювача електровоза виконано для випадку максимального навантаження приводу в тяговому режимі. Досліджувались і порівнювались два варіанти алгоритму керування вхідним перетворювачем: базовий варіант електровоза ДСЗ і модифікований варіант – запропонований авторами. З'ясовано, що у випадку базового варіанту алгоритму управління перетворювачем в певні проміжки часу створюються умови, коли в тяговому режимі відбувається розрядка конденсатора ланки постійної напруги на вторинну обмотку тягового трансформатора. Наслідком цього є зниження коефіцієнта ефективності перетворювача та погіршення коефіцієнта гармонійних спотворень випрямленої напруги. В модифікованому алгоритмі час розрядки конденсатора ланки постійної напруги на вторинну обмотку тягового трансформатора значно скорочується та підвищується коефіцієнт корисної дії 4QS-перетворювача.

Ключові слова: 4QS-перетворювач, алгоритм управління перетворювачем, широтно-імпульсна модуляція, імітаційна модель, енергетичні характеристики, вищі гармоніки струму.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282444

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАГНІТНОЇ ЧИСТОТИ МАЛИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ (с. 33–42)

А. В. Гетьман

Об'єктом дослідження є технологія забезпечення магнітної чистоти при її застосуванні до малих космічних апаратів (КА) з габаритними розмірами ~1 м в частині мінімізації впливу магнітної завади бортовому магнітометру. В рамках вирішення загальної проблеми підвищення надійності КА розглядається задача вдосконалення технології магнітної чистоти. Показано, що при розробці малих космічних апаратів, які мають підвищену щільність монтажу, застосування багато дипольної моделі для розрахунку магнітної завади ~50 нТл, є обмеженим. Теоретично обґрунтована доцільність використання замість багато дипольної моделі представлення магнітного поля комплектуючих супутника моделлю його сферичних гармонік. Запропоновано для практичного застосування моделі складання бюджету проєкції магнітної індукції завади бортовому магнітометру за даними експериментально визначених коефіцієн-

тів дипольної, квадрупольної та октупольної сферичних гармонік. Запропоновано алгоритм методики розрахунку координат розташування та проекції магнітного моменту дипольного джерела всередині супутника на основі результатів вимірювання коефіцієнтів сферичних гармонік його комплектуючих. Теоретично обґрунтована можливість представлення коефіцієнтів сферичних гармонік магнітного поля всього супутника у вигляді суми перерахованих відповідних коефіцієнтів, отриманих при вимірюваннях поля комплектуючих. Запропоновано використовувати як критерій якості проведення робіт по забезпеченню магнітної чистоти різницю між розрахованими та вимірними значеннями відповідних коефіцієнтів. В разі використання в космічній галузі запропонованої методики може бути підвищена якість забезпечення магнітної чистоти малих космічних апаратів, тим самим підвищена надійність їх функціонування на орбіті.

Ключові слова: технологія забезпечення магнітної чистоти, космічний апарат, сферична гармоніка магнітного поля.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.282059

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА КОЛИВАННЯ РОЗРЯДНОГО СТРУМУ ТА ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ХОЛЛОВСЬКОГО ДВИГУНА (с. 43–51)

О. М. Петренко, В. О. Перерва, В. В. Маслов

Об'єктом дослідження даної роботи є коливання розрядного струму в холлівських двигунах. Наявність суттєвих коливань розрядного струму в холлівських двигунах викликає істотне погіршення параметрів двигуна – тяги, величини питомого імпульсу та коефіцієнта корисної дії. Проблема, яка вирішувалась в даній роботі, полягає у визначенні основних факторів, які впливають на умови виникнення коливань розрядного струму, пошук шляхів їх зменшення та отримання оптимальних значень параметрів холловського двигуна. Аналіз літературних джерел показав, що зазначена проблема є типовою і досі не вирішена. Для вирішення зазначеної проблеми були проведені дослідження холловського двигуна ST-40M з метою визначення основних факторів, які найбільше впливають на виникнення коливань, та засобів зменшення коливань розрядного струму. В результаті досліджень було визначено, що коливання розрядного струму найбільш суттєво залежать від параметрів магнітного поля в прискорювальному каналі двигуна. Параметри магнітного поля визначаються величиною струмів котушок електромагніту двигуна, причому характер коливань, амплітуда та частота можуть суттєво відрізнятися при незначній зміні струмів котушок. В результаті досліджень було з'ясовано, що для значень струмів котушок магнітної системи двигуна, для яких рівень коливань розрядного струму мінімальний, середнє значення розрядного струму двигуна також приймає мінімальне значення. Дослідження дозволили визначити оптимальні режими роботи холловського двигуна, які забезпечують при заданому рівні питомої потужності максимальні значення тяги, питомого імпульсу та коефіцієнта корисної дії двигуна. Висновки, отримані за результатами досліджень, можуть бути корисними для більшості розробників електричних ракетних двигунних установок на базі холлівських двигунів.

Ключові слова: холловський двигун, коливання розрядного струму, оптимальні параметри, магнітна система.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.281013

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ВПЛИВУ СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕНЕРГІЇ В КАБЕЛЯХ НА ОСНОВІ ВИТОЇ ПАРИ (с. 52–61)

Г. В. Безпрозваних, О. А. Пушкар

Об'єктом проведених досліджень були кабелі на основі витой пари різного конструктивного виконання. Проблема появи додаткових втрат електромагнітної енергії пов'язана зі структурно-технологічними неоднорідностями на технологічній стадії виготовлення кабелів. Обґрунтовано вплив робочої ємності витой пари на втрати енергії у кабелях. Запропоновано методологію чисельного розрахунку електричного поля за умови наявності еліптичності конструктивних елементів витой пари. Це дозволило визначити спотворення електричного поля та вплив неоднорідностей на робочу ємність витой пари різного конструктивного виконання.

Зокрема показано, що для екранованих конструкцій з суцільною полімерною ізоляцією в більшій мірі спостерігається спотворення електричного поля та зростання робочої ємності. Наголошено на необхідності пошуку технологічних рішень щодо зменшення впливу еліптичності екрану на ємність кабелю. Підтверджено ефективність регулювання ємності за умови наявності неоднорідностей шляхом застосування спіненої ізоляції для зменшення втрат електромагнітної енергії в кабелі.

Встановлено ефект зменшення робочої ємності та зростання додаткових втрат при одночасному впливі еліптичності електричної ізоляції та захисної полімерної оболонки, що зумовлює необхідність налаштувань технологічного процесу при виготовленні крученої пари.

Прикладним аспектом використання отриманого результату є можливість вдосконалення типового технологічного процесу виготовлення витих пар для зменшення додаткових втрат електромагнітної енергії на завершальній технологічній стадії виготовлення кабелів.

Адекватність проведених чисельних досліджень підтверджено експериментальними залежностями коефіцієнту згасання та додаткових втрат енергії неекранованого кабелю у діапазоні частоти до 100 МГц.

Ключові слова: вита пара, технологічні неоднорідності, електричне поле, електромагнітна енергія, спінена ізоляція.