

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299031
DEVELOPMENT OF METHOD FOR FREQUENCY REGULATION OF OUTPUT CURRENT IN HIGH-VOLTAGE TRANSFORMERLESS RESONANT CHARGERS OF CAPACITIVE ENERGY STORAGE DEVICES (p. 6–15)

Dmytro Vinnychenko

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8894-860X>

Natalia Nazarova

Institute of Pulse Processes and Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5506-750X>

Iryna Vinnychenko

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3768-1060>

The object of research is high-voltage systems of electric discharge installations for various technological purposes. The work reports solving the problem of enabling the rate of charging of a capacitive energy storage, set by the requirements of a certain high-voltage technology.

The quantitative characteristics of the deviation of the output current of the resonant inverter from the set stabilized value when changing the switching frequency of inverter switches in the range of output voltage change from 0 to 20 kV were determined. Using the Fourier transform of the rectangular input voltage, the frequency regulation possibility of the output current of the charger for capacitive energy storage devices was analyzed. Estimation dependences of the output current of resonant inverter on the load resistance and frequency deviation from resonant frequency were derived. These dependences could be used to implement frequency control over the switching inverter transistors, with the help of which the given effective value of the output current of the resonant inverter is obtained.

A method of frequency regulation of the output current in high-voltage transformerless resonant charging devices of capacitive energy storage devices has been developed. Special feature of this method is that it is based on the frequency dependence of reactive resistances of the inductance and capacitance of the resonant circuit connected in series. Owing to that, it makes it possible to adjust the switching frequency of the inverter's power switches depending on the relative resistance of the load and the specified growth rate of the capacitive energy storage voltage.

The results reported here could be used in the design of benches for testing the electrical strength of high-voltage cables, as well as for the construction of high-voltage transformerless chargers in systems of electric discharge impulse processing of materials.

Keywords: frequency regulation, high-voltage transformerless chargers, capacitive storage devices, resonant inverters.

References

1. Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsiyi elektroustanovok spozhyvachiv (2018). Kharkiv: Industriya, 320.
2. Vinnychenko, D., Nazarova, N., Vinnychenko, I. (2022). Transformerless High-Voltage Resonant Charging Systems for Capacitive Energy Storage Devices for Electro-Discharge Technologies. 2022 IEEE 41st Inter-

national Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). <https://doi.org/10.1109/elnano54667.2022.9927052>

3. Malyushevskaya, A., Koszelnik, P., Yushchishina, A., Mitryasova, O., Mats, A., Gruca-Rokosz, R. (2023). Eco-Friendly Principles on the Extraction of Humic Acids Intensification from Biosubstrates. *Journal of Ecological Engineering*, 24 (2), 317–327. <https://doi.org/10.12911/22998993/156867>
4. Zhekul, V. G., Litvinov, V. V., Mel'her, Yu. I., Smirnov, A. P., Taf-tay, E. I., Hvoshchan, O. V., Shvets, I. S. (2017). Pogruzhnye elektro-razryadnye ustanovki dlya intensivatsii dobychi poleznyh iskopaemyh. *Naftohazova enerhetyka*, 1 (27), 23–31. Available at: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/5249>
5. Mativenga, P. T., Shuaib, N. A., Howarth, J., Pestalozzi, F., Woidasky, J. (2016). High voltage fragmentation and mechanical recycling of glass fibre thermoset composite. *CIRP Annals*, 65 (1), 45–48. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.04.107>
6. Malyushevskaya, A. P., Malyushevskii, P. P., Yushchishina, A. N. (2021). Extraction of Cellulose from Flax Fiber by Electric Discharge Cavitation. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 57 (2), 228–232. <https://doi.org/10.3103/s1068375521020058>
7. Nazarova, N., Vinnychenko, D., Bohuslavskii, L. (2021). Search for the Ways of Implementation of the Hybrid Method for Obtaining Hardening Composite Coating with Onion-like Carbon and Metal Carbides during Electrical Conductors Explosion. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). <https://doi.org/10.1109/ukrcon53503.2021.9575266>
8. Vovchenko, A. I., Boguslavskiy, L. Z., Miroshnichenko, L. N. (2010). Tendentsii rozvitiya moshchnykh vysokovol'tnykh generatorov impul'snykh tokov v IIPT NAN Ukrainy. *Tekhnichna elektrodynamika*, 5, 69–74. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/61909>
9. Suprunovska, N. I., Shcherba, A. A. (2017). Parametric synthesis of reservoir capacitor circuits in the thyristor generator of discharge pulses with the controllable voltage feedback. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). <https://doi.org/10.1109/ukrcon.2017.8100507>
10. Shcherba, A. A., Suprunovska, N. I., Shcherba, M. A., Roziskulov, S. S. (2021). Regulation of output dynamic characteristics of electric discharge installations with reservoir capacitors. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2021 (3), 3–9. <https://doi.org/10.15407/techne2021.03.003>
11. Kozyrev, S. (2022). Control System for High-voltage Electrochemical Explosion. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). <https://doi.org/10.1109/khpiweek57572.2022.9916460>
12. Shcherba, A. A., Ivashchenko, D. S., Suprunovska, N. I. (2013). Development of difference equations method for analysis of transient processes in the circuits of electro-discharge systems at stochastic changing of load resistance. *Tekhnichna elektrodynamika*, 3, 3–11. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/62302/01-Scherba.pdf?sequence=1>
13. Ivashchenko, D. S., Shcherba, A. A., Suprunovska, N. I. (2016). Analyzing probabilistic properties of electrical characteristics in the circuits containing stochastic load. 2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). <https://doi.org/10.1109/ieps.2016.7521887>
14. Milyah, A. N., Volkov, I. V. (1974). *Sistemy neizmennogo toka na osnove induktivno-emkostnykh preobrazovateley*. Kyiv: Naukova Dumka, 216.
15. Pentegov, I. V. (1982). *Osnovy teorii zaryadnykh tsepey emkostnykh nakopiteley energii*. Kyiv: Naukova dumka, 422.
16. Tang, J. L., Shao, S. Q., Sun, T. T. (2017). NON-Microcomputer Ultra Capacitor Charging System. *Proceedings of the 2017 2nd Interna-*

- tional Conference on Civil, Transportation and Environmental Engineering (ICCTE 2017). <https://doi.org/10.2991/iccte-17.2017.106>
17. Volkov, I. V., Podolnyi, S. V. (2017). Controllable resonant type converter development for capacitor charging loads. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2017 (6), 11–17. <https://doi.org/10.15407/techne2017.06.011>
 18. Anh, P. T., Chen, M.-H. (2016). Design and optimization of high-efficiency resonant wireless power transfer system. 2016 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE). <https://doi.org/10.1109/icsse.2016.7551636>
 19. Zhu, Q., Wang, L., Liao, C. (2014). Compensate Capacitor Optimization for Kilowatt-Level Magnetically Resonant Wireless Charging System. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 61 (12), 6758–6768. <https://doi.org/10.1109/tie.2014.2321349>
 20. Pavlov, G. V., Vinnychenko, I. L., Pokrovskiy, M. V. (2018). Adaptive control system of the frequency converter on the basis of resonant inverter with nonlinear control. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2018 (5), 39–43. <https://doi.org/10.15407/techne2018.05.039>
 21. Pavlov, G., Vinnichenko, I., Pokrovskiy, M. (2018). Estimation of Energy Efficiency of the Frequency Converter Based on the Resonant Inverter with Pulse-Density Control. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). <https://doi.org/10.1109/ieps.2018.8559499>
 22. Vinnychenko, D. V., Nazarova, N. S. (2019). Source of the stabilized discharge current in carbon-containing gases with frequency-parametric regulation. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2019 (1), 25–28. <https://doi.org/10.15407/techne2019.01.025>
 23. Shcherba, A. A., Suprunovska, N. I. (2016). Electric energy loss at energy exchange between capacitors as function of their initial voltages and capacitances ratio. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2016 (3), 9–11. <https://doi.org/10.15407/techne2016.03.009>
 24. Volkov, I. V., Zozulev, V. I., Khrysto, O. I. (2019). Increasing of the efficiency of power electronics devices by the control of charging time of the capacitors in their circuits. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2019 (2), 15–18. <https://doi.org/10.15407/techne2019.02.015>
 25. Suprunovska, N. I., Shcherba, A. A. (2015). Processes of energy redistribution between parallel connected capacitors. *Tekhnichna elektrodynamika*, 4, 3–11. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/handle/123456789/134067>
 26. Vinnychnko, D. V., Nazarova, N. S., Vinnychenko, I. L. (2023). Research of characteristics of high voltage transformerless resonant charger of capacitive storage device. *Tekhnichna Elektrodynamika*, 2023 (2), 21–27. <https://doi.org/10.15407/techne2023.02.021>
 27. Boguslavskii, L. Z., Rud', A. D., Kir'yan, I. M., Nazarova, N. S., Vinnichenko, D. V. (2015). Properties of carbon nanomaterials produced from gaseous raw materials using high-frequency electrodischarge processing. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 51 (2), 105–110. <https://doi.org/10.3103/s1068375515020027>
 28. Rud, A. D., Kornienko, N. E., Polunkin, I. V., Boguslavskii, L. Z., Vinnichenko, D. V., Kirian, I. M. et al. (2023). Structure of carbon nanospheres modified with oxygen-containing groups and halogens. *Applied Nanoscience*, 13 (10), 6929–6937. <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02817-2>
 29. Ochinn, P., Gilchuk, A. V., Monastyrsky, G. E., Koval, Y., Shcherba, A. A., Zaharchenko, S. N. (2013). Martensitic Transformation in Spark Plasma Sintered Compacts of Ni-Mn-Ga Powders Prepared by Spark Erosion Method in Cryogenic Liquids. *Materials Science Forum*, 738-739, 451–455. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.738-739.451>
 30. Vinnychenko, D., Nazarova, N. (2019). The High-Voltage Electrical Engineering Systems of Gaseous Hydrocarbons Electro-Discharge Processing Design Principles. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783220>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298513

DEVISING A TECHNIQUE FOR MEASURING TORQUE OF ELECTRIC MOTORS USING MACHINE VISION (p. 16–32)

Volodymyr Kvasnikov

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6525-9721>

Dmytro Kvaschuk

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4591-8881>

Mykhailo Prygara

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0954-4480>

Oleksii Shelukha

Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6088-8262>

Kateryna Molchanova

National Aviation University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9229-9766>

The object of research is the technique for measuring torques of electric motors. The main problem to be solved is the need to expand the range of informative parameters used in transmission torque converters of electric motors. This need arises from the design complications of placing the measuring devices directly on the motor shaft.

As part of the study, a system was designed for determining the torques of electric motors, which combines the procedure for assessing the load on the shaft and software tools for visually determining the quantitative characteristics of such a load using machine vision.

In order to acquire visual characteristics of the twisting of the shaft, a special coupling with an insert containing a liquid was designed. This coupling is able to change its shape in proportion to the load on electric motor shaft. The proposed visual control system, based on video information processing techniques, makes it possible to analyze changes in the shape of the coupling caused by the action of the torque.

Features of the application of the proposed measurement technique are that there is no need to place electronic components of the measuring transducer directly on the shaft. Due to the specified features, the proposed procedure provides a solution to the problems of torque measurement in aggressive environments, which is of crucial importance for the efficiency of some specific production processes.

Analysis of the visual characteristics of torque showed that the proposed approach could be applied in measuring transducers. At the same time, the results of testing the procedure confirmed that it requires the use of high-precision video recording equipment. This paves the way for the design of new, more modern, and reliable measurement systems that could be used in a wide range of industrial solutions.

Keywords: machine vision, rotational torque, measurement technique, electric motor parameters, dynamometric coupling.

References

1. Friswell, M. I., Penny, J. E. T., Garvey, S. D., Lees, A. W. (2010). *Dynamics of Rotating Machines*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511780509>
2. Sue, P., Wilson, D., Farr, L., Kretschmar, A. (2012). High precision torque measurement on a rotating load coupling for power generation operations. 2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings. <https://doi.org/10.1109/i2mtc.2012.6229149>
3. Guy, B. (2015). A1.3 – Measurement and traceability of torque on large mechanical drives. *Proceedings SENSOR 2015*. <https://doi.org/10.5162/sensor2015/a1.3>

4. Zappalá, D., Bezziccheri, M., Crabtree, C. J., Paone, N. (2018). Non-intrusive torque measurement for rotating shafts using optical sensing of zebra-tapes. *Measurement Science and Technology*, 29 (6), 065207. <https://doi.org/10.1088/1361-6501/aab74a>
5. Chen, L., Liang, W., Zhong, S., Zhang, Q., Lin, J., Nsengiyumva, W., Zeng, Q., Yu, Y. (2024). Novel contactless torque sensor based on optical coherence. *Optics and Lasers in Engineering*, 174, 107983. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2023.107983>
6. Rifaq, M. S., Midgley, W., Steffen, T. (2024). A Review of the State of the Art of Torque Ripple Minimization Techniques for Permanent Magnet Synchronous Motors. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20 (1), 1019–1031. <https://doi.org/10.1109/tii.2023.3272689>
7. Chen, W., Lan, C., Li, K., Yuan, F. (2023). Compensation and Control of Sinusoidal Torque Measurement Error. 2023 42nd Chinese Control Conference (CCC). <https://doi.org/10.23919/ccc58697.2023.10240311>
8. Kakaley, D. E., Altieri, R. E., Buckner, G. D. (2020). Non-contacting measurement of torque and axial translation in high-speed rotating shafts. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 138, 106520. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.106520>
9. Veyrat Durbex, A. F., Nachajon Schwartz, Y., Tacca, H. (2021). Solutions for Torque and Speed Measurement on Electric Machine Controllers Test Benches. *Elektron*, 5 (1), 20–31. <https://doi.org/10.37537/rev.elektron.5.1.131.2021>
10. Zhang, C., Li, Z., Chen, J., Qiu, F., Na, S. (2021). Design and research of a novel non-contact vertical inductive torque sensor. *Measurement*, 177, 109252. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109252>
11. Gao, S., Feng, C., Zhang, X., Yu, Z., Yan, T., He, B. (2023). Unsupervised fault diagnosis framework for underwater thruster system using estimated torques and multi-head convolutional autoencoder. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 205, 110814. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2023.110814>
12. Smyrnyi, M. F., Pitinov, D. H. (2019). Pat. No. 139522 UA. Bezkontaktnyi vymiriuvach krutnoho momentu, chastoty obertannia vala ta yoho pryskorennia. No. u201906456; declared: 10.06.2019; published: 10.01.2020. Available at: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=265073>
13. Chen, Z., Ge, S., Jiang, Y., Cheng, W., Zhu, Y. (2023). Refined modeling and experimental verification of a torque motor for an electro-hydraulic servo valve. *Chinese Journal of Aeronautics*, 36 (6), 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2023.01.014>
14. Zhong, S., Chen, L., Liang, W., Nsengiyumva, W., Yu, Y., Li, T., Zhang, Q. et al. (2024). Contactless torque sensors based on optical methods: A review. *Optics and Lasers in Engineering*, 173, 107832. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2023.107832>
15. Nirala, A., Kumar, N., Bandhu Singh, D., Kumar Singh, A., Kumar Sharma, S., Kumar Yadav, J. et al. (2020). Simulation analysis of composite helical spring for compression, torsional and transverse mode. *Materials Today: Proceedings*, 28, 2263–2267. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.558>
16. Childs, P. R. N. (2014). Springs. *Mechanical Design Engineering Handbook*, 625–675. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-097759-1.00015-0>
17. Bahaghighat, M., Abedini, F., Xin, Q., Zanjireh, M. M., Mirjalili, S. (2021). Using machine learning and computer vision to estimate the angular velocity of wind turbines in smart grids remotely. *Energy Reports*, 7, 8561–8576. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.07.077>
18. Oleshko, T., Kvashuk, D., Heiets, I. (2019). Image recognition in unmanned aviation using modern programming languages. *SN Applied Sciences*, 1 (12). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1739-y>
19. Oleshko, T., Kvashuk, D., Heiets, I. (2023). The Use of Machine Vision in the Diagnosis of Ripening Strawberries. *Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110894>
20. Kvasnikov, V. P., Bratchenko, H. D., Kvashuk, D. M. (2023). Estimation of measuring uncertainty of electric motors torques using the theory of fuzzy sets. *Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, 1 (22), 23–34. <https://doi.org/10.32684/2412-5288-2023-1-22-23-34>
21. Herasimov, S., Pavlii, V., Tymoshchuk, O., Yakovlev, M. Yu., Khaustov, D. Ye. et al. (2019). Testing Signals for Electronics: Criteria for Synthesis. *Journal of Electronic Testing*, 35 (3), 349–357. <https://doi.org/10.1007/s10836-019-05798-9>
22. Shalobanov, S. V., Shalobanov, S. S. (2023). Algorithm For Searching For Multiple Structural Defects In Automatic Control Systems Using Sensitivity Functions. 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). <https://doi.org/10.1109/icieam57311.2023.10139270>
23. de Souza, G. F. M., Caminada Netto, A., de Andrade Melani, A. H., de Carvalho Michalski, M. A., da Silva, R. F. (2022). Engineering systems fundamentals. *Reliability Analysis and Asset Management of Engineering Systems*, 55–90. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823521-8.00012-8>
24. Demir, H., Çilingir Süngü, İ., Keles, İ. (2023). Investigating the Laplace Transform Method's Efficiency to a Simple Engineering Problem. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, 15 (2), 326–333. <https://doi.org/10.47000/tjmcs.1378857>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.297619

DETERMINING FEATURES IN THE APPLICATION OF REDUNDANCY FOR THE THERMISTOR CUBIC TRANSFORMATION FUNCTION USING COMPUTER SIMULATION (p. 33–40)

Volodymyr Shcherban'

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4274-4425>

Hanna Korohod

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1670-3125>

Oksana Kolysko

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4043-1238>

Anton Kyrychenko

Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0041-3799>

Yury Shcherban'

State Higher Educational Establishment «Kyiv College of Light Industry», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5024-8387>

Ganna Shchutska

State Higher Educational Establishment «Kyiv College of Light Industry», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7182-8556>

The object of research is the process of temperature measurement with a platinum thermistor. We have conducted studies on the cubic transformation function of the thermistor when using redundancy that yielded the equation of redundant measurements of the desired temperature. Owing to this, it became possible to directly apply the resulting equation without additional measures to linearize the function of the thermistor transformation. In addition, the obtained value of the desired temperature does not depend on the values of the parameters of the cubic transformation function and their deviations from the nominal values. Experimental studies have proven that the value of the normalized temperature T_0 has a greater influence on the result of redundant measurements and the value of the normalized temperature ΔT on the entire range of measured temperatures T_x is almost

unaffected. The best accuracy results (value of relative error $\delta=0.02\%$) were obtained at T_0 values lower than -60°C . When the error of reproduction of normalized temperatures increased from $\pm 0.02^\circ\text{C}$ to $\pm 0.1^\circ\text{C}$, the best accuracy results (value of relative error $\delta=0.06\%$) were obtained at values of normalized temperature T_0 below -130°C . Analysis of results of the absolute error ΔT revealed that with an error of reproduction of normalized temperatures of $\pm 0.02^\circ\text{C}$ and at $T_0=-180^\circ\text{C}$, its value does not exceed 0.02°C , that is, it is within the error of reproduction of normalized temperatures. This allows us to state that it is recommended to use sources of standardized temperatures of high accuracy during measurement control.

Thus, there are reasons to assert the prospect for redundant measurements when directly measuring temperature with a thermistor with a cubic transformation function with high accuracy.

Keywords: redundant methods, instability of transformation function parameters, accuracy improvement, platinum thermistor.

References

- Horbatiy, I. V. (2017). Improving measuring accuracy of inharmonic signal voltage under the additive noise condition. *Tekhnolohiya i konstruiuvannya v elektronnyi aparaturi*, 1-2, 7–15. <https://doi.org/10.15222/teka2017.1-2.07>
- Rishan, O. Y., Matvienko, N. V. (2014). Strukturni metody pidvyshchennia tochnosti vymiriuvan v avtomatychnykh systemakh dozuvannia spykykh materialiv z vykorystanniam mahnitoprzhnykh pervynnykh vymiriuvalnykh peretvoriuvachiv zusyillia. *Naukovo-tekhnicna informatsiya*, 4, 47–51. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/NTI_2014_4_11
- Lappo, I., Chervotoka, O., Herashchenko, M., Prykhodko, S. (2022). Basic principles of improving the accuracy of temperature measurement by non-contact methods. *Scientific works Of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification*, 14 (4), 110–117. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.14.2022.12>
- Dorozinska, H. V. (2020). Evaluation Numerical Methods Effectiveness for Processing of Measurement Results by Improved SPR-Sensor. *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 149 (2), 7–13. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-149-2-7-13>
- Vlovichenko, A., Tuz, J. (2018). Accuracy enhancement of active power measurement with significant reactive load by creation of the shunt middle point. *Measuring Equipment and Metrology*, 79 (1), 76–81. <https://doi.org/10.23939/istcmtm2018.01.076>
- Pan, D., Jiang, Z., Gui, W., Yang, C., Xie, Y., Jiang, K. (2018). A method for improving the accuracy of infrared thermometry under the influence of dust. *IFAC-PapersOnLine*, 51 (21), 246–250. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.426>
- Melnyk, V. G., Borschov, P. I., Beliaev, V. K., Vasylenko, O. D., Lameko, O. L., Slitskiy, O. V. (2020). Basic measuring module for implementation of the high-precision devices for determining the impedance parameters in a wide frequency range. *Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 56, 20–23. <https://doi.org/10.15407/publishing2020.56.020>
- Boyko, O., Barylo, G., Holyaka, R., Hotra, Z., Ilkanych, K. (2018). Development of signal converter of thermal sensors based on combination of thermal and capacity research methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (9 (94)), 36–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.139763>
- Rishan, O. Y., Andriyuk, I. V. (2018). Linearization method of analog signals of primary measuring transducers with sinusoidal or cosine-wave conversion characteristics. *Science, Technologies, Innovations*, 2, 54–60. Available at: https://nti.ukrintei.ua/?page_id=1256
- Koritsoglou, K., Christou, V., Ntritsos, G., Tsoumanis, G., Tsipouras, M. G., Giannakeas, N., Tzallas, A. T. (2020). Improving the Accuracy of Low-Cost Sensor Measurements for Freezer Automation. *Sensors*, 20 (21), 6389. <https://doi.org/10.3390/s20216389>
- Lewis, G., Merken, P., Vandewal, M. (2018). Enhanced Accuracy of CMOS Smart Temperature Sensors by Nonlinear Curvature Correction. *Sensors*, 18 (12), 4087. <https://doi.org/10.3390/s18124087>
- Bedenik, G., Souza, M., Carvalho, E. A. N., Molina, L., Montalvaio, J., Freire, R. (2022). Analysis of Parameters Influence in a MOX Gas Sensor Model. 2022 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). <https://doi.org/10.1109/i2mtc48687.2022.9806695>
- Koestoer, R. A., Saleh, Y. A., Roihan, I., Harinaldi. (2019). A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.5086553>
- Rajesh, R. J., Shtessel, Y., Edwards, C. (2020). Accuracy improvement of dynamic sensors using sliding mode observers with dynamic extension. *Sensors and Actuators A: Physical*, 316, 112396. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2020.112396>
- Kvashuk, D. M., Lipkov, O. Ye. (2023). A new method of automatic correction of systematic errors of voltage converters. *Visnyk of Kherson National Technical University*, 2 (85), 29–36. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2023.2.3>
- Belo, F. A., Soares, M. B., Lima Filho, A. C., Lima, T. L. de V., Adissi, M. O. (2023). Accuracy and Precision Improvement of Temperature Measurement Using Statistical Analysis/Central Limit Theorem. *Sensors*, 23 (6), 3210. <https://doi.org/10.3390/s23063210>
- Kondratov, V. T. (2014). The problems solved by methods of redundant measurements. *Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh – 2014 (VOTTP-14 2014)*. Odesa, 26–30. Available at: <https://docplayer.net/49537211-Materiali-xiii-mizhnarodnoyi-naukovo-tehnichnoyi-konferenciyi.html>
- Shcherban, V., Korogod, G., Chaban, V., Kolysko, O., Shcherban, Y., Shchutska, G. (2019). Computer simulation methods of redundant measurements with the nonlinear transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (98)), 16–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160830>
- Shcherban, V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban, Y., Shchutska, G. (2020). Computer simulation of multiple measurements of logarithmic transformation function by two approaches. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (4 (108)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218517>
- Shcherban, V., Korogod, G., Kolysko, O., Kolysko, M., Shcherban, Y., Shchutska, G. (2021). Computer simulation of logarithmic transformation function to expand the range of high-precision measurements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (110)), 27–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.227984>
- Shcherban, V., Korogod, G., Kolysko, O., Volivach, A., Shcherban, Y., Shchutska, G. (2022). Computer modeling in the study of the effect of normalized quantities on the measurement accuracy of the quadratic transformation function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (116)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.254337>
- Lebedev, V., Laukhina, E., Laukhin, V., Somov, A., Baranov, A. M., Rovira, C., Veciana, J. (2017). Investigation of sensing capabilities of organic bi-layer thermistor in wearable e-textile and wireless sensing devices. *Organic Electronics*, 42, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2016.12.034>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298512

DESIGN OF AMMONIA SENSOR BASED ON ZnO FOR ANALYZING HAZARDS AT CRITICAL INFRASTRUCTURE (p. 41–47)

Natalia Minska

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

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

Oleh Bas

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2401-9457>

Viktor Hvoz

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0818-7810>

Oleksandr Hryhorenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4629-1010>

Alexander Levterov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5926-7146>

Murat Maliarov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4052-7128>

Mykola Matiushenko

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4727-8993>

Serhii Tarasov

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1537-6767>

Roman Chernysh

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of the National University of Civil Defence of Ukraine, Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6245-0707>

Olga Shevchenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-5009>

A gas sensor based on ZnO has been designed, which demonstrates sensitivity to NH₃ under standard conditions (temperature, 25 °C; pressure, 101.3 kPa). The experimental sample was manufactured by magnetron sputtering at direct current. A VUP-5M vacuum unit with an original material-saving magnetron was used to produce ZnO films. To analyze the efficiency of the gas sensor to ammonia (NH₃) under standard conditions, its operating characteristics were studied. The concentration of NH₃ for investigating operating characteristics was chosen at the level of 25 ppm. To determine the resistivity of the contacts of the instrument structure, the current-voltage characteristics of the gas sensor were examined in the voltage range between -100 and +100 V. Based on the results of investigating the current-voltage characteristics, which have a linear character, the resistivity of the contacts was confirmed. To study the sensitivity of the gas sensor to the target gas, the change in resistance of the sensitive layer of the gas sensor under the influence of NH₃ with a concentration of 25 ppm under standard conditions was explored. The study results demonstrated the high sensitivity of the gas sensor to the target gas – at the level of 229 relative units. The investigation of the response and recovery time of the gas sensor showed that the ZnO-based gas sensor has a response and recovery time of 20 and 26 s, respectively. The selectivity of the ZnO-based gas sensor was studied. The selectivity study was carried out by determining the sensitivity of the gas sensor in the presence of vapors of various gases, namely methanol, ethanol, acetone. The study results showed that the reac-

tion to ammonia is selective compared to the reaction to other gases. The results of examining the working characteristics of the ammonia gas sensor demonstrate the high efficiency of its application under standard conditions and a low concentration of the target gas.

Keywords: ZnO, gas sensor, magnetron sputtering, standard temperature, ammonia.

References

1. Sadkovyi, V., Pospelov, B., Andronov, V., Rybka, E., Krainiukov, O., Rud, A. et al. (2020). Construction of a method for detecting arbitrary hazard pollutants in the atmospheric air based on the structural function of the current pollutant concentrations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (108)), 14–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.218714>
2. Kwak, D., Lei, Y., Maric, R. (2019). Ammonia gas sensors: A comprehensive review. *Talanta*, 204, 713–730. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.06.034>
3. Arnone, M., Koppisch, D., Smola, T., Gabriel, S., Verbist, K., Visser, R. (2015). Hazard banding in compliance with the new Globally Harmonised System (GHS) for use in control banding tools. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 73 (1), 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2015.07.014>
4. Corkery, G., Ward, S., Kenny, C., Hemmingway, P. (2013). Monitoring environmental parameters in poultry production facilities. *Computer Aided Process Engineering, CAPE Forum 2013*. Graz University of Technology.
5. Popov, O., Ivaschenko, T., Markina, L., Yatsyshyn, T., Iatsyshyn, A., Lytvynenko, O. (2023). Peculiarities of Specialized Software Tools Used for Consequences Assessment of Accidents at Chemically Hazardous Facilities. *Systems, Decision and Control in Energy V*, 779–798. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_45
6. Pospelov, B., Rybka, E., Meleshchenko, R., Krainiukov, O., Biryukov, I., Butenko, T. et al. (2021). Short-term fire forecast based on air state gain recurrence and zero-order brown model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 27–33. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.233606>
7. Vambol, S., Vambol, V., Kondratenko, O., Suchikova, Y., Hurenko, O. (2017). Assessment of improvement of ecological safety of power plants by arranging the system of pollutant neutralization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (87)), 63–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.102314>
8. Minska, N., Hvoz, V., Shevchenko, O., Slepuzhnikov, Y., Murasov, R., Khrystych, V. et al. (2023). Devising technological solutions for gas sensors based on zinc oxide for use at critical infrastructure facilities. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (124)), 34–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.286546>
9. Miasoiedova, A., Minska, N., Shevchenko, R., Azarenko, O., Lukashenko, V., Kyrychenko, O. et al. (2023). Improving the manufacturing technology of sensing gas sensors based on zinc oxide by using the method of magnetron sputtering on direct current. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (122)), 31–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277428>
10. Vambol, S., Bogdanov, I., Vambol, V., Suchikova, Y., Kondratenko, O., Hurenko, O., Onishchenko, S. (2017). Research into regularities of pore formation on the surface of semiconductors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (5 (87)), 37–44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.104039>
11. Peeters, R., Berden, G., Apituley, A., Meijer, G. (2000). Open-path trace gas detection of ammonia based on cavity-enhanced absorption spectroscopy. *Applied Physics B*, 71 (2), 231–236. <https://doi.org/10.1007/s003400000302>
12. Liu, X., Cheng, S., Liu, H., Hu, S., Zhang, D., Ning, H. (2012). A Survey on Gas Sensing Technology. *Sensors*, 12 (7), 9635–9665. <https://doi.org/10.3390/s120709635>

13. Xiong, L., Compton, R. G. (2014). Amperometric Gas detection: A Review. *International Journal of Electrochemical Science*, 9 (12), 7152–7181. [https://doi.org/10.1016/s1452-3981\(23\)10957-6](https://doi.org/10.1016/s1452-3981(23)10957-6)
14. Huang, J., Wang, J., Gu, C., Yu, K., Meng, F., Liu, J. (2009). A novel highly sensitive gas ionization sensor for ammonia detection. *Sensors and Actuators A: Physical*, 150 (2), 218–223. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2009.01.008>
15. Zhao, Y. M., Zhu, Y. Q. (2009). Room temperature ammonia sensing properties of W18O49 nanowires. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 137 (1), 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.01.004>
16. Wang, G., Ji, Y., Huang, X., Yang, X., Gouma, P.-I., Dudley, M. (2006). Fabrication and Characterization of Polycrystalline WO₃ Nanofibers and Their Application for Ammonia Sensing. *The Journal of Physical Chemistry B*, 110 (47), 23777–23782. <https://doi.org/10.1021/jp0635819>
17. Prasad, A. K., Gouma, P. I., Kubinski, D. J., Visser, J. H., Soltis, R. E., Schmitz, P. J. (2003). Reactively sputtered MoO₃ films for ammonia sensing. *Thin Solid Films*, 436 (1), 46–51. [https://doi.org/10.1016/s0040-6090\(03\)00524-8](https://doi.org/10.1016/s0040-6090(03)00524-8)
18. Tu, Y., Kyle, C., Luo, H., Zhang, D.-W., Das, A., Briscoe, J. et al. (2020). Ammonia Gas Sensor Response of a Vertical Zinc Oxide Nanorod-Gold Junction Diode at Room Temperature. *ACS Sensors*, 5 (11), 3568–3575. <https://doi.org/10.1021/acssensors.0c01769>
19. Seekaew, Y., Pon-On, W., Wongchoosuk, C. (2019). Ultrahigh Selective Room-Temperature Ammonia Gas Sensor Based on Tin-Titanium Dioxide/reduced Graphene/Carbon Nanotube Nanocomposites by the Solvothermal Method. *ACS Omega*, 4 (16), 16916–16924. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02185>
20. Maity, A., Raychaudhuri, A. K., Ghosh, B. (2019). High sensitivity NH₃ gas sensor with electrical readout made on paper with perovskite halide as sensor material. *Scientific Reports*, 9 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43961-6>
21. Husain, A. (2021). Electrical conductivity based ammonia, methanol and acetone vapour sensing studies on newly synthesized polythiophene/molybdenum oxide nanocomposite. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 6 (4), 528–537. <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2021.07.002>
22. Seekaew, Y., Lokavee, S., Phokharatkul, D., Wisitsoraat, A., Kerdcharoen, T., Wongchoosuk, C. (2014). Low-cost and flexible printed graphene-PEDOT:PSS gas sensor for ammonia detection. *Organic Electronics*, 15 (11), 2971–2981. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2014.08.044>
23. Kumar, L., Rawal, I., Kaur, A., Annapoorni, S. (2017). Flexible room temperature ammonia sensor based on polyaniline. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 240, 408–416. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.08.173>
24. Zhao, S., Shen, Y., Yan, X., Zhou, P., Yin, Y., Lu, R. et al. (2019). Complex-surfactant-assisted hydrothermal synthesis of one-dimensional ZnO nanorods for high-performance ethanol gas sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 286, 501–511. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.01.127>
25. Xuan, J., Zhao, G., Sun, M., Jia, F., Wang, X., Zhou, T. et al. (2020). Low-temperature operating ZnO-based NO₂ sensors: a review. *RSC Advances*, 10 (65), 39786–39807. <https://doi.org/10.1039/d0ra07328h>
26. Danchenko, Y., Andronov, V., Barabash, E., Obigenko, T., Rybka, E., Meleshchenko, R., Romin, A. (2017). Research of the intramolecular interactions and structure in epoxyamine composites with dispersed oxides. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (90)), 4–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.118565>
27. Deyneko, N., Kovalev, P., Semkiv, O., Khmyrov, I., Shevchenko, R. (2019). Development of a technique for restoring the efficiency of film ITO/CdS/CdTe/Cu/Au SCs after degradation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (97)), 6–12. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156565>
28. Deyneko, N., Kryvulkin, I., Matiushenko, M., Tarasenko, O., Khmyrov, I., Khmyrova, A., Shevchenko, R. (2019). Investigation of photoelectric converters with a base cadmium telluride layer with a decrease in its thickness for tandem and two-sided sensitive instrument structures. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 73–80. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.001002>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.296667
IMPLEMENTATION OF KALMAN FILTER
ALGORITHM TO OPTIMIZE THE CALCULATION
OF ULTRASONIC SENSOR DISTANCE VALUE IN
HOOKE LAW PROPS SYSTEM (p. 48–60)

Um Pratiwi

Jenderal Soedirman University, Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8605-3790>

Imam Fadli

Associate Professor
 STMIK Al Fatih Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7581-9965>

Wahyu Tri Cahyanto

Jenderal Soedirman University, Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4148-0744>

Hartono

Jenderal Soedirman University, Jawa Tengah, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1108-5627>

The Kalman filter algorithm is very important as a recursive algorithm method to optimize sensor output from physical parameter measurement systems, especially physics practicum demonstration systems. One of the distance parameter measurement demonstration systems used in Hooke's law demonstration system is applied in physics practicum, the system has problems related to fluctuating or unstable sensor output. This research implements the Kalman filter algorithm on the Arduino IDE sketch to reduce noise that appears at the ultrasonic sensor output. The methodology used in this study includes the application of the Kalman filter algorithm to the Arduino IDE sketch with the variable value of the Kalman filter algorithm equation modified with a value of $R=10$, $H=1$, and $Q=1$, and returns the filtered Kalman out value. The Arduino output results are exported to Ms. Excel for further analysis and generate a filtered ultrasonic sensor output signal graph compared without using the Kalman filter. The ultrasonic sensor output noise filtration effectively reduces noise by showing a decrease in the mean squared error (MSE) value and obtaining the best performance of up to 89.23 %. The accuracy of Kalman filter filtration results can be seen from the calculation that the spring constant of filtered metal materials is smaller than the conventional measurement spring constant. Accurate and effective results with the implementation of the Kalman filter algorithm can be developed for the variation values of distance parameters and Kalman filter algorithm variables (R , Q , and H) with other value variations, especially variables that produce filtering curves close to straight lines. It was concluded that the Kalman filter algorithm was able to improve the performance of Hooke's law prop system.

Keywords: Kalman filter algorithm, distance parameters, ultrasonic sensor, Hooke's law.

References

1. Xu, J., Wang, Y., Xu, K., Zhang, T. (2019). Feature Genes Selection Using Fuzzy Rough Uncertainty Metric for Tumor Diagnosis. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2019, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/6705648>

2. Ura, S., Ghosh, A. K. (2021). Time Latency-Centric Signal Processing: A Perspective of Smart Manufacturing. *Sensors*, 21 (21), 7336. <https://doi.org/10.3390/s21217336>
3. Budisusila, E. N., Prasetyowati, S. A. D., Suprpto, B. Y., Nawawi, Z. (2022). Neural network training for serial multisensor of autonomous vehicle system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 12 (5), 5415. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i5.pp5415-5426>
4. Elwakeel, A. E., Mazrouy, Y. S. A., Eissa, A. S., Okasha, A. M., Elmetwalli, A. H., Makhlof, A. H. et al. (2023). Design and Validation of a Variable-Rate Control Metering Mechanism and Smart Monitoring System for a High-Precision Sugarcane Transplanter. *Agriculture*, 13 (12), 2218. <https://doi.org/10.3390/agriculture13122218>
5. Ramahdika Utama, S., Firdausi, A., Hakim, G. P. (2021). Control and Monitoring Automatic Floodgate based on NodeMCU and IOT with Fuzzy Logic Testing. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3 (1), 14–17. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i1.11199>
6. Khan, B., Nizamani, S., Kazi, N. H., Nizamani, S., Nizamani, S. (2022). A Prototype of Obstacle Avoidance for Autonomous Vehicle. *Iraqi Journal of Science*, 63 (5), 2203–2210. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2022.63.5.33>
7. Czaja, Z. (2024). Simple Measurement Method for Resistive Sensors Based on ADCs of Microcontrollers. *IEEE Sensors Journal*, 24 (3), 2996–3003. <https://doi.org/10.1109/jsen.2023.3341214>
8. Price, J., Aaberg, E., Mo, C., Miller, J. (2023). Tracking Sensor Location by Video Analysis in Double-Shell Tank Inspections. *Applied Sciences*, 13 (15), 8708. <https://doi.org/10.3390/app13158708>
9. Jiang, W., Luo, Z., Wang, W., Liu, J., Zhang, L. (2023). Dynamic Sensitivity Evaluation for Force Transducers by Using a Gray-Bootstrap Method. *IEEE Sensors Journal*, 23 (23), 29019–29028. <https://doi.org/10.1109/jsen.2023.3323783>
10. Khaled, K. M., Hegazy, R. S. (2023). Metrological Characterization of Spring Impact Hammer Calibration. *Instrumentation Measure Métrologie*, 22 (5), 215–221. <https://doi.org/10.18280/im.22.5.220505>
11. Barber, J. R. (2022). Eigenstrains and Inclusions. *Elasticity*, 457–474. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15214-6_28
12. Pili, U. B. (2023). Work-based measurement of k with a spring-mass system: a demo of the work done by a variable force. *Physics Education*, 58 (4), 043002. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/acdbb2>
13. Al-Din Tahir, M. S., Hassan, S. S., Chiad, J. S. (2022). The mathematical model for lateral stiffness of variable length conical spring. *Pollack Periodica*, 17 (2), 31–35. <https://doi.org/10.1556/606.2021.00494>
14. Fang, C., Zhang, J., Huang, Y., Liu, X., Dong, X. (2020). Orientation dependence of elastic properties of Mg binary alloys: A first-principles study. *Computational Condensed Matter*, 22, e00447. <https://doi.org/10.1016/j.cocom.2019.e00447>
15. Zhang, J., Zhang, Y., Wang, A., Liang, T., Mao, Z., Su, B. et al. (2023). Insight into the Influence of Alloying Elements on the Elastic Properties and Strengthening of Copper: A High-Throughput First-Principles Calculations. *Metals*, 13 (5), 875. <https://doi.org/10.3390/met13050875>
16. Wei, Y., Chong, Z. (2022). A More Efficient Approach to Demonstrate Hooke's Law. *The Physics Teacher*, 60 (6), 444–444. <https://doi.org/10.1119/5.0043860>
17. Garcia, G. A., Wakumoto, K. M., Brown, J. J. (2021). Large-Deflection Nonlinear Mechanics of Curved Cantilevers Under Contact Point Loading. *Journal of Applied Mechanics*, 88 (12). <https://doi.org/10.1115/1.4052000>
18. Ivchenko, V. (2021). Exploring statically indeterminate: examples allowing a simple resolution. *Physics Education*, 56 (4), 043007. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/abf74a>
19. Bissell, J. J., Ali, A., Postle, B. J. (2022). Illustrating dimensionless scaling with Hooke's law. *Physics Education*, 57 (2), 023008. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ac45c9>
20. Bassichis, W. H. (2019). A Simple Model of Initial Tension in Springs. *The Physics Teacher*, 57 (6), 400–402. <https://doi.org/10.1119/1.5124282>
21. Ahmad, R., Rinner, B., Wazirali, R., Abujayyab, S. K. M., Almajalid, R. (2023). Two-Level Sensor Self-Calibration Based on Interpolation and Autoregression for Low-Cost Wireless Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, 23 (20), 25242–25253. <https://doi.org/10.1109/jsen.2023.3309759>
22. Schönfelder, G. (2022). Signal Processing and Calibration. *Sensors in Science and Technology*, 745–755. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34920-2_15
23. Kanagasabapathi, S., Thushara, M. (2020). Forward and backward static analysis for critical numerical accuracy in floating point programs. *Computer Science*, 21 (2). <https://doi.org/10.7494/csci.2020.21.2.3421>
24. Radosz, J., Pleban, D. (2018). Ultrasonic noise measurements in the work environment. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144 (4), 2532–2538. <https://doi.org/10.1121/1.5063812>
25. Zhang, S., Huang, Y., Li, X., Jeong, H. (2021). Modeling of wave fields generated by ultrasonic transducers using a quasi-Monte Carlo method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 149 (1), 7–15. <https://doi.org/10.1121/10.0002972>
26. Chen, X. (2022). Research on Optimal Control Method of Tennis Racket String Diameter Based on Kalman Filter Algorithm. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2022, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2022/9356608>
27. Lucena, D. C., Freire, R. C. S., Villanueva, J. M. M., Luciano, B. A. (2020). An innovative ultrasonic time of flight method based on extended Kalman filter for wind speed measurement. *Journal of Instrumentation*, 15 (04), P04024–P04024. <https://doi.org/10.1088/1748-0221/15/04/p04024>
28. Fabiano dos Santos, J. C., Pinheiro, P. P., Franca, J. A. de. (2019). Recovering of Corrupted Ultrasonic Waves, for Determination of TOF Using the Zero-Crossing Detection Technique. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 68 (11), 4234–4241. <https://doi.org/10.1109/tim.2018.2890326>
29. Lin, X., Luo, J., Liao, M., Su, Y., Lv, M., Li, Q. et al. (2022). Wearable Sensor-Based Monitoring of Environmental Exposures and the Associated Health Effects: A Review. *Biosensors*, 12 (12), 1131. <https://doi.org/10.3390/bios12121131>
30. Barhoum, A., Altintas, Z. (2023). *Advanced Sensor Technology*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/c2020-0-03502-4>
31. Hering, E., Schönfelder, G. (2022). *Sensors in Science and Technology*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
32. Bi, X. (2020). Infrared Sensors and Ultrasonic Sensors. *Unmanned System Technologies*, 143–168. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8093-2_5
33. Stepanov, O., Motorin, A. (2019). Performance Criteria for the Identification of Inertial Sensor Error Models. *Sensors*, 19 (9), 1997. <https://doi.org/10.3390/s19091997>
34. Jotsov, V., Kochan, O., Jun, S. (2018). Decreasing Influence of the Error Due to Acquired Inhomogeneity of Sensors by the Means of Artificial Intelligence. *Practical Issues of Intelligent Innovations*, 89–130. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78437-3_5
35. Mercorelli, P. (2017). A Fault Detection and Data Reconciliation Algorithm in Technical Processes with the Help of Haar Wavelets Packets. *Algorithms*, 10 (1), 13. <https://doi.org/10.3390/a10010013>
36. Khatri, P., Gupta, K. K., Gupta, R. K. (2020). Drift compensation of commercial water quality sensors using machine learning to extend the calibration lifetime. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12 (2), 3091–3099. <https://doi.org/10.1007/s12652-020-02469-y>
37. Matyakubova, P. M., Ismatullaev, P. R., Avezova, N. I., Makhmudzhonov, M. M. (2023). Block Diagram of APCS of Installations for

- Wet-Heat Processing of Grain Products. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 96 (6), 1652–1657. <https://doi.org/10.1007/s10891-023-02835-5>
38. Toyoda, Y., Ishibashi, Y., Huang, P., Tateiwa, Y., Watanabe, H. (2020). Efficiency of Cooperation between Remote Robot Systems with Force Feedback-Comparison with Cooperation between User and Remote Robot System. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 900–905. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.9.6.900-905>
39. Lacaze, B. (2021). Random propagation times for ultrasonics through polyethylene. *Ultrasonics*, 111, 106313. <https://doi.org/10.1016/j.ultras.2020.106313>
40. Schreppel, C., Pfeiffer, A., Ruggaber, J., Brembeck, J. (2022). Implementation of a C Library of Kalman Filters for Application on Embedded Systems. *Computers*, 11 (11), 165. <https://doi.org/10.3390/computers11110165>
41. Zhang, Z., Zhang, X., Ma, B., Ding, M., Zhu, B., Tong, D. (2022). Measurement of Linear Springs' Stiffness Factor Using Ultrasonic Sensing. *Sensors*, 22 (15), 5878. <https://doi.org/10.3390/s22155878>
42. Lv, M., Wei, H., Fu, X., Wang, W., Zhou, D. (2022). A Loosely Coupled Extended Kalman Filter Algorithm for Agricultural Scene-Based Multi-Sensor Fusion. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.849260>
43. Zha, Y., Liu, X., Ma, F., Liu, C. (2022). Vehicle state estimation based on extended Kalman filter and radial basis function neural networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 18 (6), 155013292211027. <https://doi.org/10.1177/15501329221102730>
44. Li, X., Hao, G. (2023). Event-Triggered Kalman Filter and Its Performance Analysis. *Sensors*, 23 (4), 2202. <https://doi.org/10.3390/s23042202>
45. Ma, H., Yan, L., Xia, Y., Fu, M. (2020). *Kalman Filtering and Information Fusion*. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0806-6>
46. Fronckova, K., Slaby, A. (2020). Kalman Filter Employment in Image Processing. *Lecture Notes in Computer Science*, 833–844. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58799-4_60
47. Li, Q., Li, R., Ji, K., Dai, W. (2015). Kalman Filter and Its Application. 2015 8th International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems (ICINIS). <https://doi.org/10.1109/icinis.2015.35>
48. Shu, J., Hamano, F., Angus, J. (2014). Application of extended Kalman filter for improving the accuracy and smoothness of Kinect skeleton-joint estimates. *Journal of Engineering Mathematics*, 88 (1), 161–175. <https://doi.org/10.1007/s10665-014-9689-2>
49. Roy, R. K., Hazarika, N., Bezboraiah, T. (2023). Ultrasonic Sensor-Based Weight Measurement Using Extension Spring. *IEEE Sensors Letters*, 7 (9), 1–4. <https://doi.org/10.1109/lens.2023.3307113>
50. Masyruhan, M., Pratiwi, U., Al Hakim, Y. (2020). Perancangan alat peraga hukum hooke berbasis mikrokontroler arduino sebagai media pembelajaran fisika. *SPEKTRA: Jurnal Kajian Pendidikan Sains*, 6 (2), 134. <https://doi.org/10.32699/spektra.v6i2.145>

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.299031

РОЗРОБКА МЕТОДУ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВИХІДНОГО СТРУМУ В ВИСОКОВОЛЬТНИХ БЕЗТРАНСФОРМАТОРНИХ РЕЗОНАНСНИХ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЯХ ЄМНІСНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ (с. 6–15)

Д. В. Вінниченко, Н. С. Назарова, І. Л. Вінниченко

Об'єктом дослідження є високовольтні системи електророзрядних установок різного технологічного призначення. Робота присвячена вирішенню проблеми забезпечення темпу зарядки ємнісного накопичувача енергії, заданого вимогами певної високовольтної технології.

Визначено кількісні характеристики відхилення вихідного струму резонансного інвертора від заданого стабілізованого значення при зміні частоти комутації ключів інвертора при діапазоні зміни вихідної напруги від 0 до 20 кВ. За допомогою Фур'є-перетворення прямокутної вхідної напруги проаналізовано можливість частотного регулювання вихідного струму зарядного пристрою для ємнісних накопичувачів енергії. Отримано розрахункові залежності вихідного струму резонансного інвертора від опору навантаження та відхилення частоти від резонансної. Дані залежності можна застосовувати для реалізації частотного керування комутацією ключів інвертора, за допомогою якого отримують задане діюче значення вихідного струму резонансного інвертора.

Розроблено метод частотного регулювання вихідного струму в високовольтних безтрансформаторних резонансних зарядних пристроях ємнісних накопичувачів енергії. Особливістю цього методу є те, що він базується на частотній залежності реактивних опорів послідовно з'єднаних індуктивності та ємності резонансного кола. Завдяки цьому він дозволяє здійснити регулювання частоти комутації силових ключів інвертора в залежності від відносного опору навантаження та заданого темпу зростання напруги ємнісного накопичувача енергії.

Представлені результати можуть бути використані при проектуванні стендів для випробування електричної міцності високовольтних кабелів, а також для створення високовольтних безтрансформаторних зарядних пристроїв в системах електророзрядної імпульсної обробки матеріалів.

Ключові слова: частотне регулювання, високовольтні безтрансформаторні зарядні пристрої, ємнісні накопичувачі, резонансні інвертори.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298513

РОЗРОБКА СПОСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ (с. 16–32)

В. П. Квасніков, Д. М. Квашук, М. П. Пригара, О. О. Шелуха, К. В. Молчанова

Об'єктом дослідження є спосіб вимірювання обертових моментів електродвигунів. Основною проблемою, яка вирішується, є потреба в розширенні спектра інформативних параметрів, застосовуваних у трансмісійних перетворювачах обертового моменту електромоторів. Така потреба випливає з конструктивних ускладнень щодо розміщення вимірювальних приладів безпосередньо на валу двигуна.

В рамках дослідження була розроблена система для визначення обертових моментів електромоторів, що поєднує в собі методику оцінки навантаження на вал та програмні засоби для візуального визначення кількісних характеристик такого навантаження використовуючи засоби машинного зору.

З метою отримання візуальних характеристик скручування валу було розроблено спеціальну муфту з вставкою, яка містить рідину. Ця муфта спроможна змінювати свою форму пропорційно до навантаження на вал електромотора. Запропонована система візуального контролю, що заснована на методиках обробки відеоінформації, дозволяє аналізувати зміни форми муфти спричинені дією обертового моменту.

Особливості застосування запропонованого способу вимірювання полягають у відсутності необхідності розміщення електронних компонентів вимірювального перетворювача безпосередньо на валу. Завдяки вказаним особливостям, запропонована методика забезпечує розв'язання проблем вимірювання обертового моменту в умовах агресивних середовищ, що має вирішальне значення для ефективності деяких специфічних виробничих процесів.

Аналіз візуальних характеристик обертового моменту показав, що запропонований підхід може бути застосований у вимірювальних перетворювачах. Водночас, результати тестування методики підтвердили, що вона потребує використання високоточних засобів відеофіксації. Це відкриває шлях до розробки нових, більш сучасних та надійних систем вимірювання, що можуть знайти застосування у широкому спектрі промислових рішень.

Ключові слова: машинний зір, обертальний момент, спосіб вимірювання, параметри електродвигуна, динамометрична муфта.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.297619

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ НАДЛИШКОВОСТІ ПРИ КУБІЧНІЙ ФУНКЦІЇ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕРМОРЕЗИСТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (с. 33–40)

В. Ю. Щербань, Г. О. Корогод, О. З. Коляско, А. М. Кириченко, Ю. Ю. Щербань, Г. В. Щуцька

Об'єктом дослідження є процес вимірювання температури платиновим терморезистором. Проведеними дослідженнями кубічної функції перетворення терморезистору при застосуванні надлишковості було отримане рівняння надлишкових вимірювань шуканої температури. Завдяки цьому стало можливим безпосереднє застосування отриманого рівняння без додаткових заходів по лінеаризації функції перетворення терморезистору. Крім того, отримане значення шуканої температури не залежить від значень параметрів кубічної функції перетворення та їх відхилень від номінальних значень. Експериментальними дослідженнями доведено, що на результат надлишкових вимірювань найбільший вплив має значення нормованої температури T_0 і майже не впливає величина нормованої температури ΔT на всьому діапазоні вимірюваних температур T_x . Найкращі результати по точності (значення відносної похибки $\delta = 0,02\%$) були отримані при значеннях T_0 нижче за -60°C . При збільшенні похибки відтворення нормованих температур з $\pm 0,02^\circ\text{C}$ до $\pm 0,1^\circ\text{C}$

найкращі результати по точності (значення відносної похибки $\delta=0,06\%$) були отримані при значеннях нормованої температури T_0 нижче за -130°C . Аналіз результатів абсолютної похибки Δ_T показав, що при похибці відтворення нормованих температур $\pm 0,02^\circ\text{C}$ і при $T_0=-180^\circ\text{C}$ її значення не перевищує $0,02^\circ\text{C}$, тобто знаходиться в межах похибки відтворення нормованих температур. Це дозволяє стверджувати, що при вимірювальному контролі рекомендовано використовувати джерела нормованих температур високої точності.

Таким чином, є підстави стверджувати про перспективність надлишкових вимірювань при безпосередньому вимірюванні температури терморезистором з кубічною функцією перетворення з високою точністю.

Ключові слова: надлишкові методи, нестабільність параметрів функції перетворення, підвищення точності, платиновий терморезистор.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.298512

РОЗРОБКА ГАЗОВОГО СЕНСОРУ АМІАКУ НА ОСНОВІ ZnO ДЛЯ АНАЛІЗУ НЕБЕЗПЕК ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ (с. 41–47)

Н. В. Мінська, О. В. Бас, В. М. Гвоздь, О. М. Григоренко, О. А. Левтеров, М. В. Маляров, М. В. Матюшенко, С. С. Тарасов, Р. А. Черниш, О. С. Шевченко

Розроблено газовий сенсор на основі ZnO, який демонструє чутливість до NH_3 при стандартних умовах (температура -25°C , тиск $-101,3$ кПа). Експериментальний зразок отриманий методом магнетронного розпилення при постійному струмі. Для одержання плівок ZnO використовували вакуумну установку ВУП-5М з оригінальним матеріалозберігаючим магнітроном. Для аналізу ефективності газового сенсору до аміаку (NH_3) за стандартних умов, проводили дослідження його робочих характеристик. Концентрації NH_3 для дослідження робочих характеристик була обрана на рівні 25 ppm. Для визначення омичності контактів приладової структури були проведені дослідження вольт-амперних характеристик газового сенсору в діапазоні напруг між -100 і $+100$ В. За результатом дослідження вольт-амперної характеристики, яка має лінійний характер, підтверджена омичність контактів. Для дослідження чутливості газового сенсору до цільового газу проведено дослідження зміни опору чутливого шару газового сенсору під впливом NH_3 з концентрацією 25 ppm за стандартних умов. Отримані результати дослідження продемонстрували високу чутливість газового сенсору до цільового газу – на рівні 229 відн. од. Дослідження часу реакції та відновлення газового сенсору показало, що газовий сенсор на основі ZnO має час реакції та відновлення 20 і 26 с відповідно. Проведено дослідження селективності газового сенсору на основі ZnO. Дослідження селективності здійснювалось визначенням чутливості газового сенсору в присутності парів різних газів, а саме метанолу, етанолу, ацетону. Результати дослідження показали, що реакція на аміак є вибірковою в порівнянні з реакцією на інші гази. Отримані результати дослідження робочих характеристик газового сенсору аміаку демонструють високу ефективність його використання за стандартних умов та низької концентрації цільового газу.

Ключові слова: ZnO, газовий сенсор, магнітронне розпилення, стандартна температура, аміак.

DOI: 10.15587/1729-4061.2024.296667

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ФІЛЬТРУ КАЛМАНА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА В СИСТЕМІ ЗАКОНУ ГУКА (с. 48–60)

Umi Pratiwi, Imam Fadli, Wahyu Tri Cahyanto, Hartono

Алгоритм фільтра Калмана дуже важливий як метод рекурсивного алгоритму для оптимізації виходу датчика від систем вимірювання фізичних параметрів, особливо від систем демонстрації фізичних практикумів. Одна з демонстраційних систем вимірювання параметрів відстані, яка використовується в системі демонстрації закону Гука, використовується в практичних заняттях з фізики, система має проблеми, пов'язані з коливанням або нестабільністю виходу датчика. Це дослідження реалізує алгоритм фільтра Калмана на ескізі Arduino IDE для зменшення шуму, який з'являється на виході ультразвукового датчика. Методологія, використана в цьому дослідженні, включає застосування алгоритму фільтра Калмана до ескізу Arduino IDE із значенням змінної рівняння алгоритму фільтра Калмана, модифікованим на значення $R=10$, $H=1$, і $Q=1$, і повертає відфільтроване вихідне значення Калмана. Результати вихідних даних Arduino експортуються в Ms. Excel для подальшого аналізу та створення відфільтрованого графіка вихідного сигналу ультразвукового датчика в порівнянні без використання фільтра Калмана. Фільтрація вихідного шуму ультразвукового датчика ефективно зменшує шум, показуючи зменшення значення середньоквадратичної помилки і отримуючи найкращу продуктивність до 89,23%. Точність результатів фільтрації за допомогою фільтра Калмана можна побачити з розрахунку того, що постійна пружини відфільтрованих металевих матеріалів менша, ніж постійна пружини традиційного вимірювання. Точні та ефективні результати з реалізацією алгоритму фільтра Калмана можна розробити для змінних значень параметрів відстані та змінних алгоритму фільтра Калмана (R , Q і H) з іншими варіаціями значень, особливо змінними, які створюють криві фільтрації, близькі до прямих. Було зроблено висновок, що алгоритм фільтра Калмана зміг покращити продуктивність системи підтвердження закону Гука.

Ключові слова: алгоритм фільтра Калмана, параметри відстані, ультразвуковий датчик, закон Гука.