

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED PHYSICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277343

DESIGN OF A FUZZY DISTANCE RELAY TAKING INTO CONSIDERATION THE IMPACT OF USING A UNIFIED POWER FLOW CONTROLLER (p. 6–19)

Ahmed Nasser B. Alsammak

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1248-4538>

Hiba Nadhim A Al-Kaoaz

University of Mosul, Mosul, Iraq

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8453-2295>

The compact design of a fuzzy distance relay, which includes its impact on using a unified power flow controller in a power system, has been adopted as the object of the study. Traditional power system grids have increasingly widely used flexible alternating current transmission system devices in recent years to increase power system stability when faults, unbalance, and sudden changes in load occur. This plays a role in improving power quality, power factor corrections, and power flow control. A unified power flow controller is one of these devices that is most used, popular and meets these benefits, but it simultaneously gives a different change in the apparent impedance of the protection system due to its design. To overcome these issues, the proposed novel design of a fuzzy distance relay is made with the assistance of MATLAB® Simulink and Neuro-Fuzzy Designer. The proposed design work was divided into three parts, the first without fault and the second one including four scenarios without using and using a unified power flow controller in different transmission line locations. The design was carried out in the third part after collecting all input-output data sets. This paper offers an efficient design method, which depends on the input value of the observed apparent impedance, also known as resistance (R), and reactance (X). The output is a trip signal to the circuit breaker when a fault occurs. The advantages of the proposed design are a fast-clearing time of 1.42 ms, and working when utilizing a unified power flow controller in different locations; the results show a fast clearing although the long impedance trajectory for some cases. The fast fault clearing will make the system more stable and overcome the maloperation of the distance relay.

Keywords: Flexible Alternating Current Transmission System, Unified Power Flow Controller, Neuro-Fuzzy Designer, Protection Systems.

References

- Sriram, C., Somlal, J., Goud, B. S., Bajaj, M., Elnaggar, M. F., Kamel, S. (2022). Improved Deep Neural Network (IDNN) with SMO Algorithm for Enhancement of Third Zone Distance Relay under Power Swing Condition. *Mathematics*, 10 (11), 1944. doi: <https://doi.org/10.3390/math10111944>
- C37.113-2015 - IEEE Guide for Protective Relay Applications to Transmission Lines (2016). doi: <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2016.7502047>
- Hingorani, N. G., Gyugyi, L. (2000). *Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems*. Wiley-IEEE Press, 452. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/book/5264253>
- Wei, L., Qi, Y., Qi, H. (2018). Research on design and implementation of relay protection in smart grid. 2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC). doi: <https://doi.org/10.1109/ccdc.2018.8407353>
- Ghorbani, A., Ebrahimi, S. Y., Ghorbani, M. (2017). Active power based distance protection scheme in the presence of series compensators. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 2 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s41601-017-0034-4>
- Ghorbani, A., Mozafari, B., Ranjbar, A. M. (2012). Digital distance protection of transmission lines in the presence of SSSC. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43 (1), 712–719. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.05.035>
- Khoshkbar Sadigh, A., Tarafdar Hagh, M., Sabahi, M. (2010). Unified power flow controller based on two shunt converters and a series capacitor. *Electric Power Systems Research*, 80 (12), 1511–1519. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.06.015>
- Zhou, X., Wang, H., Aggarwal, R. K., Beaumont, P. (2006). Performance Evaluation of a Distance Relay as Applied to a Transmission System With UPFC. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 21 (3), 1137–1147. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2005.861329>
- Ghorbani, A., Khederzadeh, M., Mozafari, B. (2012). Impact of SVC on the protection of transmission lines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42 (1), 702–709. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.04.029>
- Singh, A. R., Dambhare, S. S. (2013). Adaptive distance protection of transmission line in presence of SVC. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 78–84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2013.03.020>
- Raman, S., Gokaraju, R., Jain, A. (2013). An Adaptive Fuzzy Mho Relay for Phase Backup Protection With Infeed From STATCOM. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 28 (1), 120–128. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2012.2226062>
- Abdollahzadeh, H., Mozafari, B., Jazaeri, M. (2015). Realistic insights into impedance seen by distance relays of a SSSC-compensated transmission line incorporating shunt capacitance of line. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 65, 394–407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.10.037>
- Achary, K. S. K., Raja, P. (2017). Adaptive design of distance relay for series compensated transmission line. *Energy Procedia*, 117, 527–534. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.179>
- Lal, D. K., Barisal, A. K. (2017). Comparative performances evaluation of FACTS devices on AGC with diverse sources of energy generation and SMES. *Cogent Engineering*, 4 (1), 1318466. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1318466>
- Debnath, M. K., Jena, T., Mallick, R. K. (2017). Optimal design of PD-Fuzzy-PID cascaded controller for automatic generation control. *Cogent Engineering*, 4 (1), 1416535. doi: <https://doi.org/10.1080/23311916.2017.1416535>
- Khoa, N., Tung, D. (2018). Locating Fault on Transmission Line with Static Var Compensator Based on Phasor Measurement Unit. *Energies*, 11 (9), 2380. doi: <https://doi.org/10.3390/en11092380>
- Kuflo, M., Crossley, P., Osborne, M. (2018). Impact of 'intermediate' sources on distance protection of transmission lines. *The Journal of Engineering*, 2018 (15), 913–917. doi: <https://doi.org/10.1049/joe.2018.0239>
- Yatendra, K., Tripathi, P., Singh, R. (2019). Impact of FACTS Device on Zonal Protection Scheme in Modified Dorsey-Chicago Transmission System. 2019 3rd International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE). doi: <https://doi.org/10.1109/rdcape47089.2019.8979070>
- Georgilakis, P. S., Hatziargyriou, N. D. (2019). Unified power flow controllers in smart power systems: models, methods, and future research. *IET Smart Grid*, 2 (1), 2–10. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-stg.2018.0065>

20. Apostolopoulos, C. A., Korres, G. N. (2010). Real-time implementation of digital relay models using MATLAB/SIMULINK and RTDS. *European Transactions on Electrical Power*, 20 (3), 290–305. doi: <https://doi.org/10.1002/etep.311>
21. Abdollahzadeh, H. (2021). A new approach to eliminate impacts of high-resistance faults by compensation of traditional distance relays' input signals. *Electric Power Systems Research*, 194, 107098. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107098>
22. Rathore, B., Mahela, O. P., Khan, B., Padmanaban, S. (2021). Protection Scheme using Wavelet-Alienation-Neural Technique for UPFC Compensated Transmission Line. *IEEE Access*, 9, 13737–13753. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3052315>
23. Zamora-Mendez, A., Sotelo-Castañón, J., Arrieta Paternina, M. R., Buendía, P., Torres, C., Toledo-Santos, C. et al. (2021). Two effective methods for impedance estimation in distance relays based on the DC offset removal. *Electric Power Systems Research*, 194, 107102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107102>
24. Sorrentino, E., Melián, J., De Andrade, V. (2023). A novel method to obtain the offset mho characteristic of memory-polarized and cross-polarized distance functions of protective relays from experimental measurements. *Electric Power Systems Research*, 216, 108897. doi: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108897>
25. Kumar Kavuturu, K. V., Sai Tejaswi, K. N. V., Janamala, V. (2022). Performance and security enhancement using generalized optimal unified power flow controller under contingency conditions and renewable energy penetrations. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1186/s43067-022-00057-y>
26. Nasser, A., Arkan, S. (2019). Enhancement Effects of the STATCOM on the Distance Relay Protection. *International Journal of Computer Applications*, 182 (40), 10–14. doi: <https://doi.org/10.5120/ijca2019918461>
27. Bonetti, A., Yalla, M. V. V. S., Holst, S. (2016). The IEC 60255-121:2014 standard and its impact on performance specification, testing and evaluation of distance protection relays. 2016 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D). doi: <https://doi.org/10.1109/tdc.2016.7520031>
28. Ma, J., Xiang, X., Li, P., Deng, Z., Thorp, J. S. (2017). Adaptive distance protection scheme with quadrilateral characteristic for extremely high-voltage/ultra-high-voltage transmission line. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 11 (7), 1624–1633. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-gtd.2016.0373>
29. Thakare, S., Janaki, M., Thirumalaivasan, R. (2019). Improvement in Power Flow Control and Voltage Regulation using UPFC. 2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT). doi: <https://doi.org/10.1109/i-pact44901.2019.8960151>
30. Alnaib, I. I., Alsammak, A. N. B., Sabry, S. (2022). Protection Relay Performance Comparison for Faults Detection and Classification Based on ANN and ANFIS. *Control, Instrumentation and Mechatronics: Theory and Practice*, 545–555. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3923-5_47

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276588
DETERMINATION OF THE SPEED OF A MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION DEVICE OF OPEN ARCHITECTURE WITH A REED SWITCH AND THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS (p. 20–30)

Alexandr Neftissov

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4079-2025>

Assiya Sarinova

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4254-376X>

Ilyas Kazambayev

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0850-7490>

Lalita Kirichenko

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7069-5395>

Oleksandr Kuchanskyi

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1277-8031>

Adil Faizullin

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5644-9841>

The paper presents the development of a microprocessor-based relay protection device on open architecture. Currently, there is a problem with modern microprocessor relay protection: the impossibility to replace the damaged element with alternatives from other manufacturers. The solution to this problem is the use of devices with open architecture. The study developed a structural model of a microprocessor-based relay protection device based on an open architecture with the industrial Internet of things application. Open architecture is achieved through open protocols and the principle of modularity. The industrial Internet of things technology transfers the control action of triggering blocking. A microprocessor-based relay protection device prototype based on an open architecture was developed. The simulation of the developed device was conducted. The appearance of higher harmonics and aperiodic components in the short-circuit current was not considered during modeling. Due to the study's limitations in the form of lack of load, current and voltage sensors, such as Hall sensors, and inductance coils, the subject of this study is only the speed of operation. A high multiplicity current generation setup was assembled for experimental testing. The developed relay protection device on an open architecture trips faster than the traditional solution. The application of the Internet of Things allowed it to ensure the blocking of non-selective tripping. The obtained results are provided by structural simplification compared to traditional solutions and speed of information transfer with the application of the Internet of things. The developed open architecture device with the industrial Internet of things technology application gives new possibilities for relay protection systems, including flexibility to meet the requirements in connection with the introduction of distributed power.

Keywords: protective relay, actuation speed, reed switch, magnetic field, open source, industrial internet of things, electric experimental installation.

References

1. Rahmati, A., Dimassi, M. A., Adhami, R., Bumblauskas, D. (2015). An Overcurrent Protection Relay Based on Local Measurements. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51 (3), 2081–2085. doi: <https://doi.org/10.1109/TIA.2014.2385933>
2. Jahn, I., Hohn, F., Chaffey, G., Norrga, S. (2020). An Open-Source Protection IED for Research and Education in Multiterminal HVDC Grids. *IEEE Transactions on Power Systems*, 35 (4), 2949–2958. doi: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.2970477>
3. Energy goes digital. SIEMENS. Available at: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/energy-automation-and-smart-grid/energy-is-going-digital.html>
4. Isaiev, V., Velychko, O., Anokhin, Y. (2019). Comparator effect on equivalence of results of calibrating current transformers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (101)), 6–15. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177415>
5. Kaczmarek, M., Stano, E. (2020). Nonlinearity of Magnetic Core in Evaluation of Current and Phase Errors of Transformation of Higher

Harmonics of Distorted Current by Inductive Current Transformers. *IEEE Access*, 8, 118885–118898. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3005331>

6. Naseri, F., Kazemi, Z., Farjah, E., Ghanbari, T. (2019). Fast Detection and Compensation of Current Transformer Saturation Using Extended Kalman Filter. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 34 (3), 1087–1097. doi: <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2019.2895802>
7. Kletsel, M., Kabdualiyev, N., Mashrapov, B., Neftissov, A. (2014). Protection of busbar based on reed switches. *Przeglad Elektrotechniczny*, 90 (1), 88–89. doi: <https://doi.org/10.12915/pe.2014.01.21>
8. Kletsel, M., Kaltayev, A., Mashrapov, B. (2017). Resource-saving protection of powerful electric motors. *Przeglad Elektrotechniczny*, 93 (5), 40–43. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2017.05.09>
9. Kletsel, M., Borodenco, V., Barukin, A., Kaltayev, A., Mashrapova, R. (2019). Constructive features of resource-saving reed relay protection and measurement devices. *Rev. Roum. Sci. Techn. - Électrotechn. et Énerg.* 64 (4), 309–315. Available at: http://revue.elth.pub.ro/upload/97922702_MKletsel_RRST_4_2019_pp_309-315.pdf
10. Li, Z., Zhang, S., Wu, Z., Abu-Siada, A., Tao, Y. (2018). Study of Current Measurement Method Based on Circular Magnetic Field Sensing Array. *Sensors*, 18 (5), 1439. doi: <https://doi.org/10.3390/s18051439>
11. Muşuroi, C., Volmer, M., Oproiu, M., Neamtu, J., Helerea, E. (2022). Designing a Spintronic Based Magnetoresistive Bridge Sensor for Current Measurement and Low Field Sensing. *Electronics*, 11 (23), 3888. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics11233888>
12. Neftissov, A., Biloshchyt'skyi, A., Talipov, O., Andreyeva, O. (2021). Determination of the magnitude of short-circuit surge current for the construction of relay protection on reed switches and microprocessors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (114)), 41–48. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.245644>
13. Blackburn, J., Domin, T. (2006). *Protective Relaying: Principles and Applications*. CRC Press, 664. doi: <https://doi.org/10.1201/9781420017847>
14. Phadke, A., Thorp, J. S. (2009). *Computer relaying for power systems*. John Wiley & Sons. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470749722>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277428

IMPROVING THE MANUFACTURING TECHNOLOGY OF SENSING GAS SENSORS BASED ON ZINC OXIDE BY USING THE METHOD OF MAGNETRON SPUTTERING ON DIRECT CURRENT (p. 31–37)

Alona Miasoiedova

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes,
Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6499-9058>

Natalia Minska

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8438-0618>

Roman Shevchenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9634-6943>

Olena Azarenko

BRAND TRADE, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2927-5545>

Viktoriia Lukashenko

National Aviation University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0458-2590>

Oksana Kyrychenko

Cherkasy Institute of Fire Safety name after Chernobyl Heroes,
Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0240-1807>

Oleh Zemlianskyi

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes,
Cherkasy, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2728-6972>

Larisa Trefilova

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9061-4206>

Gennady Kamyshentsev

The National Defence University of Ukraine named after
Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5780-3539>

Roman Melezhyk

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6425-4147>

A gas sensor based on zinc oxide obtained by magnetron spraying at direct current was investigated. There are methods of deposition of zinc oxide nanostructures such as thermal evaporation, chemical vapor deposition, organometallic chemical vapor deposition, magnetron sputtering, pulsed laser deposition, and hydrothermal process. The least investigated is magnetron sputtering. To obtain films, a vacuum unit VUP-5M with an original material-saving magnetron was used. Studies into the sensitivity and speed of the gas sensor based on ZnO with respect to the target gas – ethanol of different concentrations – were carried out. The resulting experimental dependences of the sensitivity of the gas sensor on the concentration of the target gas demonstrate that with increasing concentration of the target gas, the resistance decreased while the sensitivity of the sample increased. It was established that the change in the resistance of the test sample is proportional to the change in the concentration of the target gas. After the sensor surface becomes saturated with adsorbed molecules, the resistance no longer decreases, even if the gas concentration continues to increase. The reaction of the gas sensor to the target gas – ethanol – at concentrations above 150 ppm was almost absent. The time required to achieve the maximum response value should be lower at higher target gas concentrations. Sensitivity reaction repeatability studies were conducted to measure the resistance of a gas sensor based on ZnO in a target gas atmosphere with a concentration of 150 ppm. It was found that the gas sensor demonstrates excellent stability and consistent sensitivity reaction when re-exposed to the target gas – ethanol. It was established that the reaction time of a gas sensor based on ZnO to the target gas at each repeated exposure does not exceed 10 s. This repeatability index allows us to assert the stability of the ZnO-based gas sensor in an ethanol atmosphere under standard conditions.

Keywords: zinc oxide, gas sensor, magnetron sputtering, sensitivity reaction, target gas.

References

1. Vambol, S., Vambol, V., Sychikova, Y., Deyneko, N. (2017). Analysis of the ways to provide ecological safety for the products of nanotechnologies throughout their life cycle. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (85)), 27–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.85847>
2. Semko, A., Rusanova, O., Kazak, O., Beskrovnaya, M., Vinogradov, S., Gricina, I. (2015). The use of pulsed high-speed liquid jet for putting out gas blow-out. *The International Journal of Multiphysics*, 9 (1), 9–20. doi: <https://doi.org/10.1260/1750-9548.9.1.9>
3. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyina, V. et al. (2018). Conceptual Approaches for Development of Informational and Analytical Expert System for Assessing the NPP impact on the Environment. *Nuclear and Radiation Safety*, 3 (79), 56–65. doi: [https://doi.org/10.32918/nrs.2018.3\(79\).09](https://doi.org/10.32918/nrs.2018.3(79).09)

4. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (10 (90)), 11–16. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>
5. Popov, O., Iatsyshyn, A., Kovach, V., Artemchuk, V., Taraduda, D., Sobyna, V. et al. (2019). Physical Features of Pollutants Spread in the Air During the Emergency at NPPs. *Nuclear and Radiation Safety*, 4 (84), 88–98. doi: [https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4\(84\).11](https://doi.org/10.32918/nrs.2019.4(84).11)
6. Kondratenko, O., Vambol, S., Stokov, O., Avramenko, A. (2015). Mathematical model of the efficiency of diesel particulate matter filter. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 55–61.
7. Deyneko, N., Yerenenko, S., Kamyshentsev, G., Kryvulkin, I., Matiushenko, M., Myroshnyk, O. et al. (2021). Development of a method for obtaining a CdS/CdTe/Cu/Au module on a flexible substrate designed for backup supplying systems prevention of emergency situations. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (109)), 31–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.225694>
8. Neshpor, O., Deyneko, N., Ponomarenko, R., Maiboroda, A., Krohpyva, M., Blyashenko, O. et al. (2022). Optimization of the technology for designing sensitive gas sensors based on zinc oxide using a sol-gel method. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (5 (118)), 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263686>
9. Wales, D. J., Grand, J., Ting, V. P., Burke, R. D., Edler, K. J., Bowen, C. R. et al. (2015). Gas sensing using porous materials for automotive applications. *Chemical Society Reviews*, 44 (13), 4290–4321. doi: <https://doi.org/10.1039/c5cs00040h>
10. Wetchakun, K., Samerjai, T., Tamaekong, N., Liewhiran, C., Siritwong, C., Kruefu, V. et al. (2011). Semiconducting metal oxides as sensors for environmentally hazardous gases. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 160 (1), 580–591. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2011.08.032>
11. Zhang, Y., Li, D., Qin, L., Zhao, P., Liu, F., Chuai, X. et al. (2018). Preparation and gas sensing properties of hierarchical leaf-like SnO₂ materials. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255, 2944–2951. doi: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2017.09.115>
12. Nunes, D., Pimentel, A., Santos, L., Barquinha, P., Pereira, L., Fortunato, E., Martins, R. (2019). Synthesis, design, and morphology of metal oxide nanostructures. *Metal Oxide Nanostructures*, 21–57. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811512-1.00002-3>
13. Saboor, A., Shah, S. M., Hussain, H. (2019). Band gap tuning and applications of ZnO nanorods in hybrid solar cell: Ag-doped versus Nd-doped ZnO nanorods. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 93, 215–225. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.01.009>
14. Shaikh, S. K., Ganbavale, V. V., Mohite, S. V., Patil, U. M., Rajpure, K. Y. (2018). ZnO nanorod based highly selective visible blind ultra-violet photodetector and highly sensitive NO₂ gas sensor. *Superlattices and Microstructures*, 120, 170–186. doi: <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2018.05.021>
15. Kumar, M., Singh Bhati, V., Ranwa, S., Singh, J., kumar, M. (2017). Pd/ZnO nanorods based sensor for highly selective detection of extremely low concentration hydrogen. *Scientific Reports*, 7 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00362-x>
16. Jing, Z., Zhan, J. (2008). Fabrication and Gas-Sensing Properties of Porous ZnO Nanoplates. *Advanced Materials*, 20 (23), 4547–4551. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.200800243>
17. Jabeen, M., Iqbal, A., Kumar, R. V., Ahmed, M. (2019). Pd-doped zinc oxide nanostructures for liquefied petroleum gas detection at low temperature. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 25, 100293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2019.100293>
18. Patial, P., Deshwal, M. (2022). A platinum-doped ZnO-based LPG sensor with high sensitivity. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1201–1204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.08.245>
19. Deng, X., Sang, S., Li, P., Li, G., Gao, F., Sun, Y. et al. (2013). Preparation, Characterization, and Mechanistic Understanding of Pd-Decorated ZnO Nanowires for Ethanol Sensing. *Journal of Nanomaterials*, 2013, 1–8. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/297676>
20. Roy, S., Banerjee, N., Sarkar, C. K., Bhattacharyya, P. (2013). Development of an ethanol sensor based on CBD grown ZnO nanorods. *Solid-State Electronics*, 87, 43–50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.sse.2013.05.003>
21. Aldosary, A. F., Shar, M. A., AlQahtani, H. R. (2022). High-sensitivity detection of ethane and ethylene using gamma-irradiated ZnO chemiresistors. *Measurement: Sensors*, 24, 100600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100600>
22. Choooun, S., Hongsith, N., Mangkorntong, P., Mangkorntong, N. (2007). Zinc oxide nanobelts by RF sputtering for ethanol sensor. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 39 (1), 53–56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.physe.2006.12.053>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.

REFINEMENT OF THREE-LAYER MODEL OF A DAMAGED HUMAN BODY FOR THE CASE OF CHANGING THE MOISTURE OF THE BANDING MATERIAL (p. 38–45)

Maksym Ievlanov

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6703-5166>

Ihor Cherepnov

State Biotechnological University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2421-6503>

Serhii Chumachenko

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8894-4262>

Oleksandr Fursenko

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5211-8949>

Volodymyr Kyselov

V. I. Vernadsky Taurida National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3437-2825>

Oleksandr Guida

V. I. Vernadsky Taurida National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2019-2615>

Sergii Furtat

V. I. Vernadsky Taurida National University, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5534-9769>

The object of study is a three-layer model of a damaged human body.

In the course of the study, it was found that the generally accepted three-layer model of a damaged human body is built, in particular, on the assumption that the characteristics of dressings remain unchanged over time. Therefore, the vast majority of modern research in the field of passive radiometry requires the removal of such materials from the human body during the measurement or considers their characteristics to be unchanged and insignificant. Questions of a possible change in the results of measuring the radiation of the human body due to the use of plaster casts of varying degrees of humidity remain almost unexplored.

As a result of the study, the mathematical three-layer model of the damaged human body was refined. An element was introduced into the model that describes the dependence of the attenuation of radio wave energy on the relative humidity of the plaster cast. The

refined model makes it possible to increase the accuracy of measuring the temperature of the human body, taking into account the time of applying a plaster cast to it. Unlike the existing ones, the proposed model is based on an experimental study that simulates the measurement of the radiation of a human body with a plaster cast of different degrees of humidity. To refine the model, the obtained experimental data were processed by regression analysis methods.

The results of processing the experimental data made it possible to establish the specific type and value of the coefficients of the desired dependence.

The use of the obtained results of the study proves the possibility of remote non-invasive express diagnostics of the state of the human body in the presence of plaster-gauze bandages.

Providing such an opportunity allows disaster medicine workers to increase the ability to fulfill the so-called “golden hour rule”, as well as to clarify the requirements for a medical radiothermal mapping system.

Keywords: non-invasive diagnostics, plaster cast, radiothermal mapping, regression analysis, quality indicators.

References

1. WHO reveals leading causes of death and disability worldwide: 2000–2019. World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/news/item/09-12-2020-who-reveals-leading-causes-of-death-and-disability-worldwide-2000-2019>
2. Chang, F.-R., Huang, H.-L., Schwebel, D. C., Chan, A. H. S., Hu, G.-Q. (2020). Global road traffic injury statistics: Challenges, mechanisms and solutions. *Chinese Journal of Traumatology*, 23 (4), 216–218. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2020.06.001>
3. Vambol, S. A., Cherepnov, I. A., Dubnitskiy, V. Yu., Vambol, V. V., Kiriienko, M. M. (2021). The importance of higher professional education to reduce the risk of occupational injury. *Engineering of nature management*, 1 (19), 120–132. doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6904067>
4. Ievlanov, M., Serdiuk, N., Feshchenko, A., Duiunova, T., Kiriienko, M., Cherepnov, I. et al. (2020). Improving the mathematical model of change in the body state of an employee. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10 (103)), 32–42. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.195755>
5. Hadetska, S. V., Dubnytskiy, V. Yu., Kushneruk, Yu. I., Khodyriev, O. I., Cherepnov, I. A. (2022). Calculation of probit function tables for non-gaussian distributions and their arguments. *Systemy obrobky informatsii*, 1 (168), 16–28. doi: <https://doi.org/10.30748/soi.2022.168.02>
6. Early cancer diagnosis saves lives, cuts treatment costs (2017). World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/news/item/03-02-2017-early-cancer-diagnosis-saves-lives-cuts-treatment-costs>
7. Cherepnev, I., Lupikov, V., Liashenko, G. (2011). Osnovnye trebovaniia k diagnosticheskoi apparature na osnove izmereniia sobstvennykh elektromagnitnykh izlucheniia biologicheskikh obektov. *Sistemy upravlinnia navigatsii ta zv'iazku*, 4 (20), 124–131.
8. Vasko, L. (2018). Innovative method of digital x-ray visualization: low-dose tomosynthesis. *Visnyk VDNZU «Ukrainska medychna stomatolohichna akademiia»*, 18 (1 (61)), 292–296. Available at: http://repository.pdmu.edu.ua/bitstream/123456789/11506/1/Innovative_method_ofdigital_x-ray-visualization.pdf
9. Radiation: effects and sources (2016). United Nations Environment Programme. Available at: https://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/89_News/Oeff.-Arbeit/Radiation_Effects_and_sources-2016.pdf
10. Green, B. B., Taplin, S. H. (2003). Breast Cancer Screening Controversies. *The Journal of the American Board of Family Medicine*, 16 (3), 233–241. doi: <https://doi.org/10.3122/jabfm.16.3.233>
11. Bosmans, H., Marshall, N. (2013). Radiation Doses and Risks Associated with Mammographic Screening. *Current Radiology Reports*, 1 (1), 30–38. doi: <https://doi.org/10.1007/s40134-013-0008-x>
12. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh pravyl i norm «Hihienichni vymohy do vlashtuvannia ta ekspluatatsii renthenivskykh kabinetiv i provedennia renthenolohichnykh protsedur» (2017). Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy No. 294. 04.06.2017. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1256-07#Text>
13. Foster, K. R., Cheever, E. A. (1992). Microwave radiometry in biomedicine: A reappraisal. *Bioelectromagnetics*, 13 (6), 567–579. doi: <https://doi.org/10.1002/bem.2250130611>
14. Ricard, T. A. (2008). Active and Passive Microwave Radiometry for Transcutaneous Measurements of Temperature and Oxygen Saturation. University of South Florida. Available at: <https://scholarcommons.usf.edu/etd/474>
15. Afyf, A., Bellarbi, L., Riouch, F., Errachid, A., Sennouni, M.A. (2016). Flexible Antenna Array for Early Breast Cancer Detection Using Radiometric Technique. *International journal of biology and biomedical engineering*, 10, 10–17. Available at: <http://ijdri.com/ijbbe/2016/a042005-258.pdf>
16. Kuchin, L. F. et al. (2002). Eksperimentalnoe obosnovanie mediko-tekhnicheskikh trebovaniia k apparature radioteplovogo kartirovaniia biologicheskikh obektov. *Zbirnik naukovikh prac KhVU*, 1 (39), 126–130.
17. Sedankin, M., Leushin, V., Gudkov, A., Sidorov, I., Chizhikov, S., Mershin, L., Vesnin, S. (2020). Development and optimization of an ultra wideband miniature medical antenna for radiometric multi-channel multi-frequency thermal monitoring. *EUREKA: Physics and Engineering*, 6, 71–81. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2020.001517>
18. Sun, G., Liu, J., Ma, J., Zhang, K., Sun, Z., Wu, Q. et al. (2021). Design and Implementation of Multiband Noncontact Temperature-Measuring Microwave Radiometer. *Micromachines*, 12 (10), 1202. doi: <https://doi.org/10.3390/mi12101202>
19. Goryanin, I., Karbainov, S., Shevelev, O., Tarakanov, A., Redpath, K., Vesnin, S., Ivanov, Y. (2020). Passive microwave radiometry in biomedical studies. *Drug Discovery Today*, 25 (4), 757–763. doi: <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.01.016>
20. Tisdale, K., Bringer, A., Kiourti, A. (2022). Development of a Coherent Model for Radiometric Core Body Temperature Sensing. *IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology*, 6 (3), 355–363. doi: <https://doi.org/10.1109/jerm.2021.3137962>
21. Tisdale, K., Bringer, A., Kiourti, A. (2022). A Core Body Temperature Retrieval Method for Microwave Radiometry When Tissue Permittivity is Unknown. *IEEE Journal of Electromagnetics, RF and Microwaves in Medicine and Biology*, 6 (4), 470–476. doi: <https://doi.org/10.1109/jerm.2022.3171092>
22. Bardati, F., Brown, V. J., Ross, M. P., Tognolatti, P. (1992). Microwave radiometry for medical thermal imaging: theory and experiment. 1992 IEEE Microwave Symposium Digest MTT-S. Albuquerque. doi: <https://doi.org/10.1109/mwsym.1992.188237>
23. Harmer, S. W., Shylo, S., Shah, M., Bowring, N. J., Owda, A. Y. (2016). On the feasibility of assessing burn wound healing without removal of dressings using radiometric millimetre-wave sensing. *Progress In Electromagnetics Research M*, 45, 173–183. doi: <https://doi.org/10.2528/pierm15110503>
24. Owda, A. Y., Salmon, N., Shylo, S., Owda, M. (2019). Assessment of Bandaged Burn Wounds Using Porcine Skin and Millimetric Radiometry. *Sensors*, 19 (13), 2950. doi: <https://doi.org/10.3390/s19132950>
25. Luk'ianenko, I., Krasnikova, L. (1998). *Ekonometryka*. Kyiv: Tovarystvo «Znannia», 493. Available at: <http://ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/9083>
26. Gaidyshev, I. (2015). Modelirovanie stokhasticheskikh i determinirovannykh sistem: Rukovodstvo polzovatel'ia programmy AtteStat. Kurgan. Available at: http://биостатистика.рф/files/AtteStat_Manual_15.pdf

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277343

РОЗРОБКА НЕЧІТКОГО ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄДНАНОГО РЕГУЛЯТОРА ПОТОКІВ ПОТУЖНОСТІ (с. 6–19)

Ahmed Nasser B. Alsammak, Hiba Nadhim A Al-Kaoaz

В якості об'єкта дослідження прийнята компактна конструкція нечіткого дистанційного захисту, включаючи його вплив на використання об'єднаного регулятора потоків потужності в енергосистемі. В останні роки у традиційних енергосистемах все ширше використовують пристрої гнучкої системи передачі змінного струму для підвищення стійкості енергосистеми при виникненні несправностей, дисбалансу та раптових змін навантаження. Це відіграє важливу роль у покращенні якості електроенергії, коефіцієнта потужності та управління потоків потужності. Об'єднаний регулятор потоків потужності є одним з таких пристроїв, яке є найбільш використовуваним, популярним і відповідає даним перевагам, але одночасно дає різну зміну уявного імпедансу системи захисту за рахунок своєї конструкції. Для вирішення цих завдань, за допомогою MATLAB® Simulink та Neuro-Fuzzy Designer була розроблена нова конструкція нечіткого дистанційного захисту. Запропонована проектна робота була розділена на три частини, перша без несправностей, друга включала чотири сценарії без використання та з використанням об'єднаного регулятора потоків потужності у різних місцях ліній електропередачі. Проектування виконано у третій частині після збору всіх вхідних-вихідних даних. У роботі пропонується ефективний метод проектування, який залежить від вхідного значення спостережуваного уявного імпедансу, також відомого як опір (R) та реактивний опір (X). Вихідний сигнал являє собою сигнал відключення автоматичного вимикача при виникненні несправності. Перевагами запропонованої конструкції є швидкий час усунення несправності, що становить 1,42 мс, та робота при використанні об'єднаного регулятора потоків потужності у різних місцях; результати показують швидке усунення несправностей, незважаючи на довгу траєкторію імпедансу в деяких випадках. Швидке усунення несправностей дозволить зробити систему більш стійкою та усунути несправності у роботі дистанційного захисту.

Ключові слова: гнучка система передачі змінного струму, об'єднаний регулятор потоків потужності, Neuro-Fuzzy Designer (Нейро-нечіткий конструктор), системи захисту.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.276588

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОДІЇ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ПРИСТРОЮ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА ОСНОВІ ВІДКРИТОЇ АРХІТЕКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕРКОНУ ТА ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (с. 20–30)

Alexandr Neftissov, Assiya Sarinova, Ilyas Kazambayev, Lalita Kirichenko, Oleksandr Kuchanskyi, Adil Faizullin

У роботі представлена розробка мікропроцесорного пристрою релейного захисту на основі відкритої архітектури. В даний час із сучасним мікропроцесорним релейним захистом існує проблема неможливості заміни пошкодженого елемента аналогами інших виробників. Вирішенням цієї проблеми є використання пристроїв з відкритою архітектурою. В ході дослідження розроблена структурна модель мікропроцесорного пристрою релейного захисту на основі відкритої архітектури із застосуванням промислового Інтернету речей. Відкрита архітектура досягається за рахунок відкритих протоколів та принципу модульності. Технологія промислового Інтернету речей передає керуючу дію із запуску блокування. Розроблено прототип мікропроцесорного пристрою релейного захисту на основі відкритої архітектури. Проведено моделювання розробленого пристрою. При моделюванні не враховувалася поява вищих гармонік та аперіодичних складових у струмі короткого замикання. Через обмеження дослідження у вигляді відсутності датчиків навантаження, струму та напруги, таких як датчики Холла, і котушок індуктивності, предметом даного дослідження є тільки швидкодія. Для експериментальних випробувань була зібрана установка генерації струму високої кратності. Розроблений пристрій релейного захисту на основі відкритої архітектури спрацьовує швидше, ніж традиційне рішення. Застосування Інтернету речей дозволило забезпечити блокування невибіркового відключення. Отримані результати забезпечуються структурним спрощенням у порівнянні з традиційними рішеннями та швидкістю передачі інформації із застосуванням Інтернету речей. Розроблений пристрій на основі відкритої архітектури із застосуванням технології промислового Інтернету речей дає нові можливості для систем релейного захисту, включаючи гнучкість для задоволення вимог у зв'язку з впровадженням розподіленого електроживлення.

Ключові слова: реле захисту, швидкість спрацьовування, геркон, магнітне поле, відкритий вихідний код, промисловий Інтернет речей, експериментальна електрична установка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277428

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ СТВОРЕННЯ ЧУТЛИВИХ ГАЗОВИХ СЕНСОРІВ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ЦИНКУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДУ МАГНІТРОННОГО РОЗПИЛЕННЯ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ (с. 31–37)

A. B. М'ясоєдова, Н. В. Мінська, Р. І. Шевченко, О. В. Азаренко, В. В. Лукашенко, О. В. Кириченко, О. М. Землянський, Л. М. Трефілова, Г. В. Камішенцев, Р. С. Мележик

Досліджено газовий сенсор на основі оксиду цинку отриманий методом магнетронного розпилення на постійному струмі. Відомі методи осадження наноструктур оксиду цинку, такі як термічне випаровування, хімічне осадження з парової фази, металоорганічне хімічне осадження з парової фази, магнетронне розпилення, імпульсне лазерне осадження та гідротермальний процес. Найменш дослідженим є магнетронне розпилення. Для одержання плівок використовували вакуумну установку ВУП-5М з оригінальним ма-

теріалозберігаючим магнітроном. Проведені дослідження чутливості та швидкодії газового сенсору на основі ZnO до цільового газу – етанолу різних концентрацій. Отримані експериментальні залежності чутливості газового сенсору від концентрації цільового газу демонструють, що зі збільшенням концентрації цільового газу опір зменшувався, а чутливість зразка збільшувалася. Встановлено, що зміна опору досліджуваного зразка пропорційна зміні концентрації цільового газу. Після того, як поверхня сенсору стає насиченою адсорбованими молекулами, опір більше не зменшується, навіть якщо концентрація газу продовжує зростати. Реакція газового сенсору на цільовий газ – етанол при концентрації вище 150 ppm була майже відсутня. Час, необхідний для досягнення максимального значення відгуку, має бути нижчим при вищих цільових концентраціях газу. Дослідження повторюваності реакції чутливості були проведені вимірювання опору газового сенсору на основі ZnO в атмосфері цільового газу з концентрацією 150 ppm. Встановлено, що газовий сенсор демонструє чудову стабільність і послідовну реакцію чутливості при повторному впливі цільового газу – етанолу. Встановлено, що час реакції газового сенсору на основі ZnO на цільовий газ при кожному повторному впливі не перевищує 10 с. Такий показник повторюваності дозволяє стверджувати про стабільність роботи газового сенсору на основі ZnO в атмосфері етанолу за стандартних умов.

Ключові слова: оксид цинку, газовий сенсор, магнітронне розпилення, реакція чутливості, цільовий газ.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.277946

УТОЧНЕННЯ ТРИШАРОВОЇ МОДЕЛІ УШКОДЖЕНОГО ЛЮДСЬКОГО ТІЛА ДЛЯ ВИПАДКУ ЗМІНИ ВОЛОГОСТІ ПЕРЕВ'ЯЗОЧНОГО МАТЕРІАЛУ (с. 38–45)

М. В. Євланов, І. А. Черепньов, С. М. Чумаченко, О. М. Фурсенко, В. Б. Кисельов, О. Г. Гуйда, С. О. Фуртат

Об'єкт дослідження – тришарова модель ушкодженого тіла людини.

Під час дослідження встановлено, що загальноприйнята тришарова модель ушкодженого тіла людини побудована, зокрема, на припущенні про незмінність характеристик перев'язочних матеріалів у часі. Тому значна кількість сучасних досліджень в галузі пасивної радіометрії вимагає видалення таких матеріалів з тіла людини під час вимірювання або вважає їх характеристики незмінними і незначними. Питання можливого викривлення результатів вимірювання випромінювання організму людини внаслідок використання гіпсових пов'язок різного ступеня вологості залишаються майже недослідженими.

В результаті дослідження уточнено математичну тришарову модель ушкодженого тіла людини. В модель введено елемент, який описує залежність затухання енергії радіохвиль від відносної вологості гіпсової пов'язки. Уточнена модель дозволяє підвищити точність вимірювання температури тіла людини з врахуванням часу накладення на неї гіпсової пов'язки. На відміну від існуючих, запропонована модель побудована на основі експериментального дослідження, яке імітувало вимірювання випромінювання тіла людини з гіпсовою пов'язкою різних ступенів вологості. Для уточнення моделі отримані експериментальні дані були оброблені методами регресійного аналізу.

Результати обробки експериментальних даних дозволили встановити конкретний вигляд та значення коефіцієнтів пошукуваної залежності.

Використання отриманих результатів дослідження доказує можливість здійснення дистанційної неінвазивної експрес-діагностики стану організму людини при наявності на ньому гіпсово-марлевих пов'язок.

Надання подібної можливості дозволяє працівникам медицини катастроф підвищити можливість виконання так званого «правила золоті години» та уточнити вимоги до медичної системи радіотеплового картування.

Ключові слова: неінвазивна діагностика, гіпсова пов'язка, радіотеплове картування, регресійний аналіз, показники якості.