

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247720

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR PRODUCING EFFECTIVE CdS/CdTe/Cu/Au SOLAR ELEMENTS ON A FLEXIBLE SUBSTRATE DESIGNED FOR BACKUP SUPPLYING SYSTEMS PREVENTION OF EMERGENCY SITUATIONS (p. 6–11)

Iryna Borysenko

Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7198-7541>

Olexandr Burmenko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5014-2678>

Natalya Deyneko

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

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

Oleksandr Zobenko

Chornobyl Heroes of National University of Civil Protection of
Ukraine, Cherkasy, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9641-2779>

Yurii Yivzhenko

State Scientific Institution «Institute of Education Content
Modernization», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5879-0226>

Gennady Kamyshentsev

Administration of the State Border Guard Service of Ukraine,
Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5780-3539>

Volodymyr Muraviov

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3682-7435>

Yuliia Mykhailovska

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1090-5033>

Valerii Khrystych

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5900-7042>

Svitlana Kryvonis

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
Kharkiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1938-293X>

The technology of forming film solar cells based on CdS / CdTe configuration of the “superstrat” type on a flexible substrate has been improved. To increase the efficiency of the developed solar cells on a flexible substrate, a chemical etching procedure in a nitrogen-phosphorus mixture was added to the traditional “chemical treatment”. The conducted studies of the output parameters of the developed device structures showed that the highest values are observed in the case of chemical etching, both before the “chloride treatment” and after it. In the course of the study, it was found that a mandatory procedure in the formation of effective device structures is chemical etching in a nitrogen-phosphorus mixture both before the “chloride treatment” and after it. Carrying out the described procedures made it possible to obtain solar cells on a flexible substrate with an efficiency of 13.1 %. The increase in the efficiency of solar cells with

two-stage chemical etching can be explained by the formation of excess tellurium on the surface, which leads to a decrease in resistance and, therefore, to a more efficient penetration of chlorine during the subsequent chloride treatment. Analysis of the transverse cleavage of the investigated device structures demonstrates significant grain growth and surface smoothness of the base layer, which ensures good adhesion with back contact. A study of the degradation resistance of the developed device structures during operation has been carried out. It was found that the obtained solar cells based on CdTe on a flexible substrate have a high degradation resistance and after 10 bending cycles there is no decrease in the output parameters. Thus, it has been established that chemical etching in a nitrogen-phosphorus mixture is a mandatory procedure for the formation of efficient solar cells on a flexible substrate.

Keywords: film photocell, flexible substrate, micromodule, solar cell, cadmium telluride, current-voltage characteristic.

References

- Bonnet, D., Rabenhorst, H. (1972). New results on the development of a thin film p-CdTe–n-CdS heterojunction solar cell. In *Proceedings of the 9th Photovoltaic Specialists Conference*, 129–131.
- Yang, D., Yin, H. (2011). Energy Conversion Efficiency of a Novel Hybrid Solar System for Photovoltaic, Thermoelectric, and Heat Utilization. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26 (2), 662–670. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2011.2112363>
- Leading Solar PV Manufacturers Based on Module Shipments in 2018 and 2019. Available at: <https://www.statista.com/statistics/858456/global-companies-for-pv-cell-and-module-shipments/>
- Rühle, S. (2016). Tabulated values of the Shockley–Queisser limit for single junction solar cells. *Solar Energy*, 130, 139–147. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.015>
- Bolbas, O., Deyneko, N., Yerenenko, S., Kyryllova, O., Myrgorod, O., Soshinsky, O. et. al. (2019). Degradation of CdTe SC during operation: modeling and experiment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (102)), 46–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185628>
- 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. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156565>
- First Solar sets world record for CdTe solar cell efficiency. Available at: <https://investor.firstsolar.com/news/press-release-details/2014/First-Solar-Sets-World-Record-for-CdTe-Solar-Cell-Efficiency/default.aspx>
- Wu, X., Dhere, R. G., Albin, D. S., Gessert, T. A., DeHart, C., Kane, J. C. et. al. (2001). High-Efficiency CTO/ZTO/CdS/CdTe Polycrystalline Thin-Film Solar Cells. To be presented at the NCPV Program Review Meeting Lakewood, Colorado. Available at: <https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/31025.pdf>
- First Solar: Record 21.5 Percent Conversion Efficiency Research Cell Validates Technology Roadmap. Available at: <https://www.sonnenseite.com/en/energy/first-solar-record-21-5-percent-conversion-efficiency-research-cell-validates-technology-roadmap/>
- Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., Hao, X. (2020). Solar cell efficiency tables (version 56). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 28 (7), 629–638. doi: <https://doi.org/10.1002/pip.3303>
- Van de Kaa, G., Rezaei, J., Kamp, L., de Winter, A. (2014). Photovoltaic technology selection: A fuzzy MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 662–670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.044>

12. Guanggen, Z., Jingquan, Z., Xulin, H., Bing, L., Lili, W., Lianghuan, F. (2013). The effect of irradiation on the mechanism of charge transport of CdTe solar cell. 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). doi: <https://doi.org/10.1109/pvsc.2013.6745054>
13. Deyneko, N., Yermenko, 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>
14. Mathew, X., Enriquez, J. P., Romeo, A., Tiwari, A. N. (2004). CdTe/CdS solar cells on flexible substrates. Solar Energy, 77 (6), 831–838. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.06.020>
15. Tiwari, A. N., Romeo, A., Baetzner, D., Zogg, H. (2001). Flexible CdTe solar cells on polymer films. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 9 (3), 211–215. doi: <https://doi.org/10.1002/pip.374>
16. Deyneko, N. (2020). Study of Methods for Producing Flexible Solar Cells for Energy Supply of Emergency Source Control. Materials Science Forum, 1006, 267–272. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.267>
17. Burmenko, A., Deyneko, N., Hrebtsova, I., Kryvulkin, I., Prokopenko, O., Shevchenko, R., Tarasenko, O. (2020). Investigating an alternative electricity supply system for preventing emergencies under conditions of limited capacity. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (12 (105)), 56–61. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206395>
18. Major, J. D., Treharne, R. E., Phillips, L. J., Durose, K. (2014). A low-cost non-toxic post-growth activation step for CdTe solar cells. Nature, 511 (7509), 334–337. doi: <https://doi.org/10.1038/nature13435>
19. Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E. D. (2015). Solar cell efficiency tables (version 46). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 23 (7), 805–812. doi: <https://doi.org/10.1002/pip.2637>
20. Kestner, J. M., McElvain, S., Kelly, S., Ohno, T. R., Woods, L. M., Wolden, C. A. (2004). An experimental and modeling analysis of vapor transport deposition of cadmium telluride. Solar Energy Materials and Solar Cells, 83 (1), 55–65. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2004.02.013>
21. Deyneko, N., Semkiv, O., Khmyrov, I., Khrypynskyy, A. (2018). Investigation of the combination of ITO/CdS/CdTe/Cu/Au solar cells in microassembly for electrical supply of field cables. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (12 (91)), 18–23. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.124575>
22. 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. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.001002>
23. Lewis, J. (2006). Material challenge for flexible organic devices. Materials Today, 9 (4), 38–45. doi: [https://doi.org/10.1016/s1369-7021\(06\)71446-8](https://doi.org/10.1016/s1369-7021(06)71446-8)

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244897
DESIGN OF AN INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR MONITORING DEFORMATION AND DISPLACEMENT OF ROCK MASSIF LAYERS BASED ON FIBER-OPTIC SENSORS (p. 12–27)

Vyacheslav Yugay

Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7249-2345>

Ali Mekhtiyev

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2633-3976>

Yelena Neshina

Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8973-2958>

Bakhytkul Aubakirova

M. Kozybaev North-Kazakhstan University, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7205-6455>

Raushan Aimagambetova

Republic State Enterprise «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology» of the Committee of Technical Regulation and Metrology of the Ministry of Trade and Integration of the Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4429-953X>

Aigul Kozhas

Karaganda Buketov University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5039-9529>

Aliya Alkina

Karaganda Technical University, Karaganda, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4879-0593>

Madiyar Musagazhinov

S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4521-8172>

Alexandr Kovtun

Military Engineering Institute of Radio Electronics and Communications, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3013-1944>

This paper reports a study into designing an information-measuring system that could be used in coal mines that are dangerous in terms of the explosion of coal dust and methane gas. The results of reviewing technical advancements in the field of fiber-optic system development are given. To solve the set task, prototypes of a fiber-optic sensor of a new type and a hardware-software complex were constructed. The research aims to improve the safety of workers at coal enterprises. The result of the theoretical research has established that additional losses related to a micro bending should be taken into consideration while accounting for the effect of photoelasticity. The fundamental difference between the idea reported here and existing analogs is the development of a hardware-software complex capable of working with a single-mode optical fiber of great length with a significant noise level. The data processing unit is equipped with a television matrix and can analyze changes in the pixels of a light spot. The proposed system is quasi-distributed; it controls individual points within a rock massif. The designed hardware-software system provides high noise immunity of measuring channels when the external temperature changes. The research results helped develop an information-measuring system for monitoring the deformation and displacement of rock massif layers based on fiber-optic sensors, capable of operating in an explosive environment. The system makes it possible to control several layers located in the roof of the workings, while the fiber-optic sensor may contain two or three sensitive elements that are connected to different channels. With a sharp fluctuation in pressure and an increase in the displacement parameter, the system triggers a warning signal about the danger.

Keywords: optical fiber, rock displacement, roofing, mining workings, fiber-optic sensors.

References

1. Liu, X., Wang, C., Liu, T., Wei, Y., Lv, J. (2009). Fiber Grating Water pressure sensor and system for mine. *ACTA Photonica Sinica*, 38, 112–114. Available at: https://www.researchgate.net/publication/292872640_Fiber_grating_water_pressure_sensor_and_system_for_mine
2. Kumar, A., Kumar, D., Singh, U. K., Gupta, P. S., Shankar, G. (2011). Optimizing fibre optics for coal mine automation. *International Journal of Control and Automation*, 4 (3), 19–30. Available at: http://article.nadiapub.com/IJCA/vol4_no3/2.pdf
3. Naruse, H., Uehara, H., Deguchi, T., Fujihashi, K., Onishi, M., Espinoza, R. et. al. (2007). Application of a distributed fibre optic strain sensing system to monitoring changes in the state of an underground mine. *Measurement Science and Technology*, 18 (10), 3202–3210. doi: <http://doi.org/10.1088/0957-0233/18/10/s23>
4. Chotchaev, Kh. O. (2016). Control of the mountainous area stress-strained state by the sound ranging and geophysical methods. *Geologiya i geofizika yuga Rossii*, 3, 129–140. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27170260>
5. Buimistryuk, G. Ya. (2011). Printsipy postroeniya intellektualnykh volokonno-opticheskikh datchikov. *Foton-Ekspres*, 6 (43), 38–39.
6. Buimistryuk, G. (2013). Volokonno-opticheskie datchiki dlya ekstremalnykh uslovii. *Control engineering Rossiya*, 3 (45), 34–40. Available at: https://controleng.ru/wp-content/uploads/ce_46_p34_volokonno-opticheskie_datchik_dlya_ekstremalnykh_uslovii.pdf
7. Kim, S., Park, Y., Park, S., Cho, K., Cho, J.-R. (2015). A Sensor-Type PC Strand with an Embedded FBG Sensor for Monitoring Prestress Forces. *Sensors*, 15 (1), 1060–1070. doi: <http://doi.org/10.3390/s150101060>
8. Liu, T., Wei, Y., Guangdong Song, Li, Y., Jinyu Wang, Yanong Ning, Yicheng Lu. (2013). Advances of optical fiber sensors for coal mine safety monitoring applications. 2013 International Conference on Microwave and Photonics (ICMAP), 102–111. doi: <http://doi.org/10.1109/icmap.2013.6733455>
9. Zhao, Y., Zhang, N., Si, G. (2016). A Fiber Bragg Grating-Based Monitoring System for Roof Safety Control in Underground Coal Mining. *Sensors*, 16 (10), 1759. doi: <http://doi.org/10.3390/s16101759>
10. Volchikhin, V. I., Murashkina, T. I. (2001). Problemy sozdaniya volokonno-opticheskikh datchikov. *Datchiki i sistemy. Izmereniya, kontrol, avtomatizatsiya*, 7, 54–58. Available at: <http://naukarus.com/problemy-sozdaniya-volokonno-opticheskikh-datchikov>
11. Liu, J., Chai, J., Wei, S., Li, Y., Zhu, L., Qiu, B. (2008). Theoretical and experimental study on fiber Bragg grating sensing of rock strata settlement deformation. *Journal of Coal Science and Engineering (China)*, 14 (3), 394–398. doi: <http://doi.org/10.1007/s12404-008-0087-0>
12. Kamenev, O. T., Kulchin, Yu. N., Petrov, Yu. S., Khizhnyak, R. V. (2014). Primenenie volokonno-opticheskogo interferometra Makha-Tsendera dlya sozdaniya dlinnobazovykh deformometrov. *Pisma v ZHTE*, 40 (3), 49–56. Available at: <http://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/27305>
13. Kulchin, Yu. N., Kamenev, O. T., Petrov, Yu. S., Kolchinskii, V. A. (2016). Volokonno-opticheskie interferometricheskie priemniki slabyykh seismosignalov. *Vestnik DVO RAN*, 4, 56–59.
14. Shumkova, D. B., Levchenko, A. E. (2011). Spetsialnye volokonnye svetovody. Perm: Izd-vo Perm. nats. issled. politekhn.un-ta, 178. Available at: https://pstu.ru/files/file/FPMM/of/shumkova_spezialnye_volokonnye_svetovody.pdf
15. Buimistryuk, G. Ya. (2004). Informatsionno – izmeritelnaya tekhnika i tekhnologiya na osnove volokonno-opticheskikh datchikov i sistem. Saint Petersburg: IVA, GROTS Minatoma, 198. Available at: <https://www.twirpx.com/file/102146/>
16. Osório, J. H., Chesini, G., Serrão, V. A., Franco, M. A. R., Cordeiro, C. M. B. (2017). Simplifying the design of microstructured optical fibre pressure sensors. *Scientific Reports*, 7 (1). doi: <http://doi.org/10.1038/s41598-017-03206-w>
17. Yurchenko, A. V., Mekhtiyev, A. D., Bulatbayev, F. N., Neshina, Y. G., Alkina, A. D. (2018). The Model of a Fiber-Optic Sensor for Monitoring Mechanical Stresses in Mine Workings. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 54 (7), 528–533. doi: <http://doi.org/10.1134/s1061830918070094>
18. Mekhtiyev, A. D., Yurchenko, A. V., Ozhigin, S. G., Neshina, E. G., Alkina, A. D. (2021). Quasi-Distributed Fiber-Optic Monitoring System for Overlying Rock Mass Pressure on Roofs of Underground Excavations. *Fyzyko-Tekhnicheskyye Problemy Razrabotky Poleznikh Yskopaemikh*, 2, 192–198. doi: <http://doi.org/10.15372/ftpri20210219>
19. Mekhtiyev, A. D., Yurchenko, A. V., Neshina, E. G., Alkina, A. D. (2020). Using G-652 Optical Fiber to Control Mountain Massifs of Coal Mines. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control & Radioelectronics*, 20 (1), 144–153. doi: <http://doi.org/10.14529/ctcr200114>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247658

INCREASING QUALITY OF THE WIRELESS MODULE FOR MONITORING AND SUPERVISION OF SOUND SERIES OF THE EXPANDED PURPOSE (p. 28–40)

Zhan Byelozyorov

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3216-8153>

Alexandr Trunov

Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8524-7840>

The sound series are considered as an addition to visual and thermal imaging information flows when using computerized monitoring systems (CS). A minimum complete structure of spaced microphones for collecting data on sound rows, which is suitable for calibrating, isolating and transmitting data on sound anomalies (SA), is proposed. Duplication of the data transmission channel by wire and Wi-Fi module for recording and determining the type and coordinates of the SA is provided.

An experimental receiving module has been assembled, which includes microphones, amplifiers and signals matching boards for digital and analog forms, an ARDUINO UNO WIFI REV2 controller with an integrated Wi-Fi module. It is presented that its addition with a personal computer and a smartphone with the Android operating system forms a CS for remote wireless control of the course of the experimental analysis of sound series. It has been confirmed experimentally that its structure is minimally complete. An algorithm was developed and a software package was written in C/C++ languages. It is shown that the number of microphones is selected from the conditions of the problem from 1 to 5, but their number is limited to five digital inputs of the ARDUINO UNO WIFI REV2 board. A wave representation of the law of temporal changes in intensity and the integral norm of SA is applied. The possibilities of calibrating all data of sound series in analog and digital form are demonstrated. The article presents the suitability of testing the algorithms for determining the phases of echograms from time series data, containing SAs of different origins and recorded by three different microphones. The effect of connecting a Wi-Fi module on reducing the voltage drop by 0.5–1 V is shown. The necessity of an additional registration condition for all microphones is demonstrated. The software interfaces for the calibration of the receiving module and the operation of the mobile application have been developed.

Keywords: computerized system, modular structure, reception algorithm, software, system testing.

References

1. Lo, K. W., Ferguson, B. G. (2015). Acoustic ranging of small arms fire using a single sensor node collocated with the target. *The Journal*

- of the Acoustical Society of America, 137 (6), EL422–EL428. doi: <http://doi.org/10.1121/1.4921447>
2. Chen, J. C., Yao, K., Hudson, R. E. (2003). Acoustic Source Localization and Beamforming: Theory and Practice. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 4. doi: <http://doi.org/10.1155/s1110865703212038>
 3. Danyk, Yu. H., Buhaiov, M. V. (2015). Analiz efektyvnosti vyivlennia taktychnykh bezpilotnykh litalnykh aparativ pasyvnymy ta aktyvnymy zasobamy sposterezhenia. *Zbirnyk naukovykh prats ZhVI DUT*, 10, 5–20.
 4. Oleinikov, A. N., Nosulko, I. V. (2019). Features of construction of acoustic reconnaissance equipment with their small overall dimensions. *Radiotekhnika*, 4 (199), 142–146. doi: <http://doi.org/10.30837/rt.2019.4.199.17>
 5. Bortsov, V. V., Boiko, A. P., Vynar, A. A., Zhuravska, I. M., Kulakovska, I. V.; Kotlyka, S. V. (Ed.) (2021). *Prostorove rozmishchennia mikrokontrolnoi systemy pasyvnoi akustychnoi lokatsii na osnovi platonovykh til. Na shliakhu do Industrii 4.0: informatsiini tekhnologii, modeliuvannia, shtuchnyi intelekt, avtomatyzatsiia*. Odesa: Astroprint, 97–109.
 6. Seah, Ch. E., Hwang, I. (2009). Stochastic Linear Hybrid Systems: Modeling, Estimation, and Application in Air Traffic Control. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 17 (3), 563–575. doi: <http://doi.org/10.1109/tcst.2008.2001377>
 7. Camacho, E. F., Ramirez, D. R., Limon, D., Muñoz de la Peña, D., Alamo, T. (2010). Model predictive control techniques for hybrid systems. *Annual Reviews in Control*, 34 (1), 21–31. doi: <http://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2010.02.002>
 8. SPOTLITE – Electro-Optical Small-Arms Fire Detection System RAFAEL (2006). Defense Update. Available at: https://defense-update.com/20060726_spotlite.html Last accessed: 11.11.2017
 9. Remotely Operated Weapon stations at AUSA 06 (2006). Defense Update. Available at: https://defense-update.com/20061030_ausa06rws.html Last accessed: 30.05.2021
 10. «PILAR – ground version». Available at: <http://metravib.Acoemgroup.com/defence/catalog/PILAR-GROUND-VERSION> Last accessed: 11.11.2017
 11. “Boomerang III”. Available at: <https://www.raytheon.com/capabilities/products/boomerang/> Last accessed: 21.10.2017
 12. Kakaia tekhnika pozvolyt vyigrat voynu s terroristami. Available at: <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=30908> Last accessed: 13.01.2018
 13. Nguyen, L., Valls Miro, J., Qiu, X. (2019). Multilevel B-Splines-Based Learning Approach for Sound Source Localization. *IEEE Sensors Journal*, 19 (10), 3871–3881. doi: <http://doi.org/10.1109/jsen.2019.2895854>
 14. Döbler, D., Heilmann, G., Ohm, M. (2010). Automatic detection of microphone coordinates. 3rd Berlin Beamforming Conference. Available at: <http://www.bebec.eu/Downloads/BeBeC2010/Papers/BeBeC-2010-15.pdf>
 15. Yong, J., Wang, D.-Y. (2015). Impact of noise on hearing in the military. *Military Medical Research*, 2 (1), 6. doi: <http://doi.org/10.1186/s40779-015-0034-5>
 16. Rascon, C., Meza, I. (2017). Localization of sound sources in robotics: A review. *Robotics and Autonomous Systems*, 96, 184–210. doi: <http://doi.org/10.1016/j.robot.2017.07.011>
 17. Yang, X., Xing, H., Ji, X. (2018). Sound Source Omnidirectional Positioning Calibration Method Based on Microphone Observation Angle. *Complexity*, 2018, 1–15. doi: <http://doi.org/10.1155/2018/2317853>
 18. Palahin, O. V., Vasiukhin, M. I., Kasim, A. M., Ivanyk, Yu. Yu., Dolynnyi, V. V. (2015). Metody ta zasoby pobudovy dynamichnykh stsenariiv u navihatsiinykh heoinformatsiinykh systemakh. *Perspektyvy rozvytku avtomatyzovanykh system upravlinnia viiskamy ta heoinformatsiinykh system*. Lviv: ASV, 185–200.
 19. Trunov, A., Byelozyorov, Z. (2020). Forming a method for determining the coordinates of sound anomalies based on data from a computerized microphone system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (4 (104)), 38–50. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.2011103>
 20. Kryvoruchko, A. V. (2012). Ohliad ta porivnialnyi analiz tekhnichnykh system vyivlennia pozytsii snajpera. *Suchasna spetsialna tekhnika*, 3, 75–81. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ssst_2012_3_14
 21. Bilenko, O. I., Hunko, H. L. (2015). Vyznachennia parametriv zvuku postrilu, yaki vplyvaiut na vykonannia spetsyfichnykh vohnevnykh zavdan sylamy bezpeky ta pidlihatymut rehlamentatsii. *Perspektyvy rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky sukhopotnykh viisk*. Lviv, 14–15.
 22. Engel, J., Sturm, J., Cremers, D. (2012). Camera-based navigation of a low-cost quadcopter. 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. doi: <http://doi.org/10.1109/iros.2012.6385458>
 23. Zhuravska, I., Kulakovska, I., Musiyenko, M. (2018). Development of a method for determining the area of operation of unmanned vehicles formation by using the graph theory. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (3 (92)), 4–12. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128745>
 24. Trounov, A. N. (1984). Application of sensory modules for adaptive robots. *Robot Vision and Sensory Control*. IFS Publication, 285–294.
 25. Trunov, A., Malcheniuk, A. (2018). Recurrent network as a tool for calibration in automated systems and interactive simulators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (9 (92)), 54–60. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.126498>
 26. Trunov, A.; Bilski, P., Guerriero, F. (Eds.) (2017). *Recurrent Approximation in the Tasks of the Neural Network Synthesis for the Control of Process of Phototherapy*. Computer Systems for Healthcare. Gistrup: River Publishers, 213–248.
 27. Trunov, A. (2016). Recurrent approximation as the tool for expansion of functions and modes of operation of neural network. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (4 (83)), 41–48. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81298>
 28. Dronyuk, I., Moiseienko, I., Greguš ml., J. (2019). Analysis of Creative Industries Activities in European Union Countries. *Procedia Computer Science*, 160, 479–484. doi: <http://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.061>
 29. Dronyuk, I., Fedevych, O. (2017). Traffic Flows Ateb-Prediction Method with Fluctuation Modeling Using Dirac Functions. *Communications in Computer and Information Science*, 3–13. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-59767-6_1
 30. Trunov, A., Beglytsia, V., Gryshchenko, G., Ziuzin, V., Koshovyi, V. (2021). Methods and tools of formation of general indexes for automation of devices in rehabilitative medicine for post-stroke patients. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (112)), 35–46. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239288>
 31. Hryshchuk, R. V., Hordiienko, Yu. O., Amirov, A. R., Solopii, I. A. (2017). Analiz akustychnykh zasobiv vyivlennia postrilu zi striletskoi zbroi ta yikh klasyfikatsiia. *Suchasna spetsialna tekhnika*, 3 (50), 103–112.
 32. Kozheruk, S. O., Maznichenko, D. V. (2017). Determining of source's coordinates of shot by mean of acoustic waves. *Electronics and Communications*, 22 (1), 45–49. doi: <http://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.1.79761>
 33. Solopii, I. A., Solonets, O. I., Hordiienko, Yu. O., Tkach, A. O. (2021). Determination of the Direction to the Enemy Firing Position by a Group of Sound Receivers on the Result of the Muzzle Blast Processing. *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, 1 (67), 89–94. doi: <http://doi.org/10.30748/zhups.2021.67.12>
 34. Trunov, A. (2019). Diagnostic of Inflammation and Choice of Therapy' Alternatives in Accordance with Several Standards. 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communica-

tions Technologies (AICT), 182–186. doi: <http://doi.org/10.1109/aiact.2019.8847919>

35. Belozorov, Zh. O., Trunov, O. M. (2021). Kompiuterna prohrama. Signal_locator3.ino. Svidostvo pro reistratsiiu avtorskoho prava na tvir No. 108024. 20.09.2021.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245644
DETERMINATION OF THE MAGNITUDE OF SHORT-CIRCUIT SURGE CURRENT FOR THE CONSTRUCTION OF RELAY PROTECTION ON REED SWITCHES AND MICROPROCESSORS (p. 41–48)

Alexandr Neftissov

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

Andrii Biloshchytskyi

Astana IT University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9548-1959>

Olzhas Talipov

Toraighyrov University (TOU), Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8355-1769>

Oxana Andreyeva

Toraighyrov University (TOU), Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8680-5712>

A study of the functioning of reed switches under the influence of a magnetic field created by a current in a conductor in a transient mode with the presence of an aperiodic component has been carried out. A well-known method for determining current using reed switches was implemented. At the same time, it was determined that the originally formulated method did not give the required result within the limits of errors. This is most likely due to the peculiarities of the mechanism of movement of the reed switch contacts. Alternatively, the measurements were taken to take the return currents instead of the pick-up currents and the time between the return times. They are more stable. Simulation is performed, experimental determination of the value of surge current by measuring time is carried out. The main element of the created installation was the power transformer coil with low active and high inductive resistance. As part of the study, the reed switches were placed in a magnetic field with an aperiodic component, as in the transient mode. This study will show the applicability of reed switches for the construction of relay protection devices that will not need current transformers to obtain information about the primary current in the conductor. In the course of the research, it was found that the error in determining the magnitude of current was no more than 10 %. Using microprocessors, it is possible to build relay protection devices with a speed of up to 20 ms. This result makes it possible to build new devices. Since in the well-known developments, it was only said about determining the magnitude of current in a steady state. When building relay protection devices on reed switches, without using current transformers, it will be possible to build backup protections that duplicate not only the devices themselves, but also the primary measuring transformers with other sensitive elements. This will improve the reliability of the power supply.

Keywords: relay protection, reed switch, microprocessor, surge current, time measurement, magnetic field, transient.

References

- Kletsel, M. (2016). Traversal Protection of Two Parallel Lines without Voltage Path. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (2), 170–172. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2016.02.45>
- KLETSEL, M. (2017). Differential protection of three and four parallel lines of idling current control. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (10), 111–114. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2017.10.26>
- Sarwade, A. N., Katti, P. K., Ghodekar, J. G. (2016). Use of Rogowski Coil for accurate measurement of secondary current contaminated with CT saturation in distance protection scheme. 2016 IEEE 6th International Conference on Power Systems (ICPS). doi: <https://doi.org/10.1109/icpes.2016.7584210>
- Abdulwahid, A. H., Shaorong Wang. (2016). A busbar differential protection based on fuzzy reasoning system and Rogowski-coil current sensor for microgrid. 2016 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC). doi: <https://doi.org/10.1109/appeec.2016.7779496>
- Huang, G.-J., Chen, N., Chen, K.-L. (2016). Self-calibration method for coreless Hall effect current transformer. 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM). doi: <https://doi.org/10.1109/pesgm.2016.7741826>
- Liang, C.-T., Chen, K.-L., Tsai, Y.-P., Chen, N. (2015). New electronic current transformer with a self-contained power supply. 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting. doi: <https://doi.org/10.1109/pesgm.2015.7285637>
- Kojovic, L. A. (2013). New protection schemes based on novel current sensors for up-to-date grid. 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013). doi: <https://doi.org/10.1049/cp.2013.1129>
- Non-conventional instrument transformers for improved substation design. Session materials. Available at: https://e-cigre.org/publication/B3-101_2016
- Nurmansah, A. P., Hidayat, S. (2017). Design and testing PCB Rogowski-coil current sensor for high current application. 2017 International Conference on High Voltage Engineering and Power Systems (ICHVEPS). doi: <https://doi.org/10.1109/ichveps.2017.8225897>
- Weiss, R., Itzke, A., ReitenpieB, J., Hoffmann, I., Weigel, R. (2019). A Novel Closed Loop Current Sensor Based on a Circular Array of Magnetic Field Sensors. *IEEE Sensors Journal*, 19 (7), 2517–2524. doi: <https://doi.org/10.1109/jsen.2018.2887302>
- Neftissov, A. V., Andreyeva, O. A., Sarinova, A. Z. (2021). Investigation of the properties of reed switches in devices for resource-saving relay protection of the electrical part of power plants. THERMOPHYSICAL BASIS OF ENERGY TECHNOLOGIES (TBET 2020). doi: <https://doi.org/10.1063/5.0046558>
- Zhantlesova, A. B., Kletsel', M. Y., Maishev, P. N., Neftissov, A. V. (2014). Characterizing a sustained short-circuit current with the use of reed relays. *Russian Electrical Engineering*, 85 (4), 210–216. doi: <https://doi.org/10.3103/s1068371214040130>
- Klecel', M. Ya. (2008). Pat. No. 21350 KZ. Sposob izmereniya toka korotkogo zamykaniya. No. 2008/0628.1; declared: 26.05.2008; published: 15.06.2009, Bul. No. 6. Available at: <https://kzpatents.com/3-ip21350-sposob-izmereniya-toka-korotkogo-zamykaniya.html>
- Kletsel', M. J., Zhantlesova, A. B., Neftissov, A. V., Majshev, P. N. (2014). Pat. No. 2575139 RU. Method for measuring fault current. No. 2014138541/28; declared: 23.09.2014; published: 10.02.2016, Bul. No. 4. Available at: <https://patenton.ru/patent/RU2575139C1.pdf>
- Ulyanov, S. A. (1970). *Elektromagnitnye perehodnye processy v elektricheskikh sistemah*. Moscow: Energiya, 58–65. Available at: http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Ulyanov_1970_520.pdf
- Andreyeva, O., Neftissov, A., Mileiko, A. (2021). Method of diagnostics of the short-circuited rotor damage on point induction converters. THERMOPHYSICAL BASIS OF ENERGY TECHNOLOGIES (TBET 2020). doi: <https://doi.org/10.1063/5.0046565>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244235
SUBSTANTIATING THE PULSE METHOD FOR DETERMINING THE TIME PARAMETER OF FIRE DETECTORS WITH A THERMORESISTIVE SENSING ELEMENT (p. 49–55)

Yuriy Abramov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7901-3768>

Oleksii Basmanov

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6434-6575>

Yaroslav Kozak

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1283-2536>

This paper substantiates the pulse method for determining the time parameter for fire detectors with a thermoresistive sensing element – the time constant. The method is based on using the Joule-Lenz effect, which manifests itself when an electric current pulse passes through the thermoresistive sensing element of fire detectors. Thermal processes in such a sensing element are described by a mathematical model that belongs to the class of equations of mathematical physics. The solution to the differential equation of this class was derived using the Hankel integral transformation and is represented as a series relative to the Bessel functions. The resulting solution is used to construct a mathematical model of a thermoresistive sensing element in the form of a transfer function, which takes the form of the transfer function of the inertial link. To trigger the thermoresistive sensing element of fire detectors, a single pulse of electric current in the shape of a rectangular triangle is used. The integral Laplace transformation was applied to mathematically describe the response of a thermoresistive sensing element to the thermal effect of such a test influence. To obtain information about the time parameter of fire detectors with a thermoresistive sensing element, the ratio of its output signals is used, which are measured in the a priori defined moments. A two-parametric expression was built to determine the time parameter of fire detectors; a verbal interpretation of the pulse method to determine it was provided. The implementation of this method ensures the invariance of the time parameter of fire detectors with a thermoresistive sensing element relative to the amplitude of a single pulse of an electric current, as well as relative to the parameter that is included in its transfer coefficient.

Keywords: fire detector, thermoresistive sensing element, Joule-Lenz effect, time parameter.

References

- Wadoud, A. A., El Eissawi, H. M., Saleh, A. A. (2017). Protection of High Ceiling Nuclear Facilities Using Photoelectric Sensors and Infrared Fire Detectors. *Arab Journal of Nuclear Science and Applications*, 50 (1), 194–203. Available at: [http://www.esnsa-eg.com/download/researchFiles/\(19\)%20%20%20%2020123-15.pdf](http://www.esnsa-eg.com/download/researchFiles/(19)%20%20%20%2020123-15.pdf)
- Dinh, T., Phan, H.-P., Qamar, A., Woodfield, P., Nguyen, N.-T., Dao, D. V. (2017). Thermoresistive Effect for Advanced Thermal Sensors: Fundamentals, Design Considerations, and Applications. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 26 (5), 966–986. doi: <https://doi.org/10.1109/jmems.2017.2710354>
- Szelmanowski, A., Zieja, M., Pazur, A., Glyda, K. (2019). Studying the Dynamic Properties of Thermoelectric Fire Detectors in Terms of False Tripping of an Air Fire Suppression System. *Engineer of the XXI Century*, 103–120. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-13321-4_10
- Choi, M.-S., Lee, K.-O. (2018). Study on Influence of Air Flow of Ceiling Type Air Conditioner on Fire Detector Response. *Fire Science and Engineering*, 32 (5), 40–45. doi: <https://doi.org/10.7731/kifse.2018.32.5.040>
- Jevtić, R., Blagojević, M. (2017). Smoke and heat detectors arrangement in hallways. *Safety Engineering*, 7 (2). doi: <https://doi.org/10.7562/se2017.7.02.04>
- Kalchenko, Y., Abramov, Y. (2018). Methods of heat detectors technical condition control. *Problemy pozhezhnoi bezpeky*, 44, 44–48. Available at: <https://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFire-Safety/vol44/Kalchenko.pdf>
- Lugovkin, V. V., Zhuravlev, S. Y., Bulatova, V. V. (2019). Mathematic Simulation of Thermal Sensor Operation at Various Temperature Conditions of Controlled Media. 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). doi: <https://doi.org/10.1109/rusautocon.2019.8867603>
- Lu, K. H., Mao, S. H., Wang, J., Lu, S. (2017). Numerical simulation of the ventilation effect on fire characteristics and detections in an aircraft cargo compartment. *Applied Thermal Engineering*, 124, 1441–1446. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.128>
- Kushnir, A., Kopchak, B., Gavryliuk, A. (2021). Operational algorithm for a heat detector used in motor vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (10 (111)), 6–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231894>
- Kushnir, A., Kopchak, B., Gavryliuk, A. (2020). The Development of Operation Algorithm of Heat Detector with Variable Response Parameters. 2020 IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). doi: <https://doi.org/10.1109/memstech49584.2020.9109436>
- Güllüce, Y., Çelik, R. N. (2020). FireAnalyst: An effective system for detecting fire geolocation and fire behavior in forests using mathematical modeling. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 44 (2), 127–139. doi: <https://doi.org/10.3906/tar-1907-11>
- Wang, J., Li, G., Shi, L., Xie, Q., Zhang, S. (2018). A mathematical model for heat detector activation time under ship fire in a long-narrow space. *Ocean Engineering*, 159, 305–314. doi: <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.04.012>
- Sharma, S., Sharma, A., Vishwakarma, P., Sharma, M. (2021). A theoretical framework representing seminal fire detection system design using shape memory polymer embedded with carbon nanotubes sponge. *Materials Today: Proceedings*, 44, 1617–1620. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.816>
- Yuan, L., Thomas, R. A., Rowland, J. H., Zhou, L. (2018). Early fire detection for underground diesel fuel storage areas. *Process Safety and Environmental Protection*, 119, 69–74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.07.022>
- Sharma, V., Varma, A. S., Singh, A., Singh, D., Yadav, B. P. (2018). A Critical Review on the Application and Problems Caused by False Alarms. *Intelligent Communication, Control and Devices*, 371–380. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-10-5903-2_38
- Malykhina, G. F., Guseva, A. I., Militsyn, A. V. (2017). Early fire prevention in the plant. 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). doi: <https://doi.org/10.1109/icieam.2017.8076375>
- Saeed, F., Paul, A., Karthigaikumar, P., Nayyar, A. (2019). Convolutional neural network based early fire detection. *Multimedia Tools and Applications*, 79 (13-14), 9083–9099. doi: <https://doi.org/10.1007/s11042-019-07785-w>
- Sowah, R., Ampadu, K. O., Ofoli, A. R., Koumadi, K., Mills, G. A., Nortey, J. (2019). A Fire-Detection and Control System in Automobiles: Implementing a Design That Uses Fuzzy Logic to Anticipate and Respond. *IEEE Industry Applications Magazine*, 25 (2), 57–67. doi: <https://doi.org/10.1109/mias.2018.2875189>
- Jang, H.-Y., Hwang, C.-H. (2020). Test Method Using Shield-cup for Evaluating Response Characteristics of Fire Detectors. *Fire Science and Engineering*, 34 (4), 36–44. doi: <https://doi.org/10.7731/kifse.8696ecf9>
- Hong, S. H., Kim, D. S., Choi, K. O. (2017). A Study on the Classification of Domestic Fire Detector using Response Time Index. *Journal of the Korean Society of Safety*, 32 (2), 46–51. doi: <https://doi.org/10.14346/JKOSOS.2017.32.2.46>
- Yoon, G.-Y., Han, H.-S., Mun, S.-Y., Park, C.-H., Hwang, C.-H. (2020). DB Construction of Activation Temperature and Response Time Index for Domestic Fixed-temperature Heat Detectors in Ceiling Jet Flow. *Fire Science and Engineering*, 34 (3), 35–42. doi: <https://doi.org/10.7731/kifse.103eea8f>
- Abramov, Yu. O., Kalchenko, Ya. Yu. (2016). *Teplovi pozhezhni spovishchuvachi ta yikh vyprovuvannia*. Kharkiv: NUTsZU, 120.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246601
VOLTAGE STABILIZATION OF A CONTROLLED
AUTONOMOUS MAGNETOELECTRIC GENERATOR
WITH A MAGNETIC SHUNT AND PERMANENT
MAGNET EXCITATION (p. 56–62)

Vadim Chumack

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8401-7931>

Volodymyr Bazenov

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1622-5207>

Oksana Tymoshchuk

Institute of Applied System Analysis, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1863-3095>

Mykhailo Kovalenko

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

Serhii Tsyvinskyi

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2800-6709>

Iryna Kovalenko

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1097-2041>

Ihor Tkachuk

LLC «AS MEDIA», Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5717-2458>

The paper presents the results of testing and research of the characteristics of a controlled autonomous magnetoelectric synchronous generator with a magnetic shunt. Structurally, the studied generator is a modified asynchronous machine in which the rotor is made with permanent magnets and an additional system in the form of a magnetic shunt. By adjusting the winding current of the magnetic shunt, the output voltage of the generator is regulated. The following characteristics were investigated: the no-load characteristic during operation with permanent magnets and when the winding current of the magnetic shunt changes with forward and reverse polarity. Also, the external characteristic for active and active-inductive loads; the control characteristic when the load current changes at a constant generator voltage.

Analysis of the obtained characteristics makes it possible to determine the limits of regulation of the external characteristic, which is $\approx 40\%$ relative to the main magnetic flux. The obtained regulation depth allows maintaining the stability of the external characteristic for power factors not exceeding 0.9, which is the usual passport value for autonomous power plants based on synchronous generators. Comparison of the data of research conducted on the experimental setup shows sufficient convergence for engineering and practical

tasks. The maximum quantitative difference is 9.3 %, which suggests the adequacy of the previously developed mathematical model. The control characteristic, constructed experimentally at constant generator voltage, is the control law of the magnetic shunt winding for the studied generator.

The investigated version of a synchronous generator with a magnetic shunt should be used for autonomous power plants, renewable energy systems, and autonomous power supply systems.

Keywords: magnetic shunt, generator voltage regulation, magnetizing winding, magnetoelectric excitation, permanent magnets, experimental research.

References

- Bernatt, J., Gawron, S. A., Glinka, M. (2012). Experimental Validation of Hybrid Excited Permanent Magnet Synchronous Generator. *Przegląd elektrotechniczny*, 88 (12a/2012), 66–70. Available at: <http://pe.org.pl/articles/2012/12a/14.pdf>
- Asfirane, S., Hlioui, S., Amara, Y., Gabsi, M. (2019). Study of a Hybrid Excitation Synchronous Machine: Modeling and Experimental Validation. *Mathematical and Computational Applications*, 24 (2), 34. doi: <https://doi.org/10.3390/mca24020034>
- Wardach, M., Bonislawski, M., Palka, R., Paplicki, P., Prajzandanc, P. (2019). Hybrid Excited Synchronous Machine with Wireless Supply Control System. *Energies*, 12 (16), 3153. doi: <https://doi.org/10.3390/en12163153>
- Sabioni, C. L., Ribeiro, M. F. O., Vasconcelos, J. A. (2018). Robust Design of an Axial-Flux Permanent Magnet Synchronous Generator Based on Many-Objective Optimization Approach. *IEEE Transactions on Magnetics*, 54 (3), 1–4. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2017.2766229>
- Nedjar, B., Hlioui, S., Amara, Y., Vido, L., Gabsi, M., Lecrivain, M. (2011). A New Parallel Double Excitation Synchronous Machine. *IEEE Transactions on Magnetics*, 47 (9), 2252–2260. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2011.2134864>
- Chumack, V., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, M., Ponomarev, A., Tkachuk, I. (2020). Mathematical modeling of a synchronous generator with combined excitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (103)), 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193495>
- Chumak, V., Petrenko, A., Kovalenko, M., Ponomarev, A. (2016). The operated independent synchronous permanent magnet generator with the magnetic shunt for power supply of the agricultural complex. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannya Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK*, 242, 132–138. Available at: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnika/article/view/7996/7658>
- Hua, H., Zhu, Z. Q., Zhan, H. (2016). Novel Consequent-Pole Hybrid Excited Machine with Separated Excitation Stator. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1–1. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2016.2559447>
- Wardach, M., Paplicki, P., Palka, R. (2018). A Hybrid Excited Machine with Flux Barriers and Magnetic Bridges. *Energies*, 11 (3), 676. doi: <https://doi.org/10.3390/en11030676>
- Asfirane, S., Hlioui, S., Amara, Y., Gabsi, M. (2019). Study of a Hybrid Excitation Synchronous Machine: Modeling and Experimental Validation. *Mathematical and Computational Applications*, 24 (2), 34. doi: <https://doi.org/10.3390/mca24020034>

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247720**РОЗРОБКА СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ЕФЕКТИВНИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ CdS/CdTe/Cu/Au НА ГНУЧКОМУ ПІДЛОЖКУ ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ ЗДОРОВ'Я (с. 6–11)****І. С. Борисенко, О. А. Бурменко, Н. В. Дейнеко, О. О. Зобенко, Ю. В. Івженко, Г. В. Комишенців, В. М. Муравйов, Ю. В. Михайловська, В. В. Христинч**

Удосконалено технологію формування плівкових сонячних елементів на основі CdS/CdTe конфігурації типу «superstrat» на гнучкій підкладці. Для підвищення ефективності розроблених сонячних елементів на гнучкій підкладці до традиційної «хлоридної обробки» було додано процедуру хімічного травлення у азотно-фосфорній суміші. Проведені дослідження вихідних параметрів розроблених приладових структур показали, що найбільші значення спостерігаються у разі проведення хімічного травлення як до «хлоридної обробки», так і після неї. У процесі дослідження було встановлено, що обов'язковою процедурою при формуванні ефективних приладових структур є хімічне травлення в азотно-фосфорній суміші як перед «хімічною обробкою», так і після неї. Проведення описаних процедур дозволило одержати сонячні елементи на гнучкій підкладці з ефективністю 13,1 %. Зростання ефективності сонячних елементів з двоетапним хімічним травленням можна пояснити утворенням на поверхні надлишкового телуру, що призводить до зниження опору і, отже, ефективнішому проникненню хлору в процесі подальшої «хлоридної обробки». Аналіз поперечного сколу досліджуваних приладових структур демонструє суттєве зростання зерен та гладкість поверхні базового шару, що забезпечує хорошу адгезію з тильним контактом. Проведено дослідження деградаційної стійкості розроблених приладових структур у процесі експлуатації. Встановлено, що отримані сонячні елементи на основі CdTe на гнучкій підкладці мають високу деградаційну стійкість і після 10 циклів вигину не спостерігається зниження вихідних параметрів. Таким чином встановлено, що хімічне травлення в азотно-фосфорній суміші є обов'язковою процедурою для формування ефективних сонячних елементів на гнучкій підкладці.

Ключові слова: плівковий фотоелемент, гнучка підкладка, мікромодуль, сонячний елемент, телурид кадмію, вольт-амперна характеристика.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244897**РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ДЕФОРМАЦІЇ ТА ЗМІЩЕННЯ ПЛАСТІВ ГІРНИЧОГО МАСИВУ НА ОСНОВІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ДАТЧИКІВ (с. 12–27)****Vyacheslav Yugay, Ali Mekhtiyev, Yelena Neshina, Bakhytkul Aubakirova, Raushan Aimagambetova, Aigul Kozhas, Aliya Alkina, Madiyar Musagazhinov, Alexandr Kovtun**

Дослідження присвячене питанню створення інформаційно-вимірювальної системи, яку можна використовувати на вугільних шахтах, які небезпечні вибухом вугільного пилу та газу метану. Наведено результати аналізу досягнень у галузі розробок волоконно-оптичних систем. Для вирішення поставленого завдання було розроблено дослідні зразки волоконно-оптичного датчика нового типу та апаратно-програмного комплексу. Дослідження спрямоване на підвищення безпеки праці працівників вугільних підприємств. В результаті проведення теоретичних досліджень зроблено висновок про необхідність враховувати додаткові втрати при мікрозгинанні з урахуванням ефекту фотопружності. Принципова відмінність ідеї від існуючих аналогів полягає у створенні апаратно-програмного комплексу, здатного працювати з одномодовим оптичним волокном великої протяжності зі значним рівнем шуму. Блок обробки даних має телевізійну матрицю та здатний виконувати аналіз змін пікселів світлової плями. Запропонована система є квазі-розподіленою та контролює окремі точки гірського масиву. Розроблений апаратно-програмний комплекс забезпечує високу схиленість вимірювальних каналів при зміні зовнішньої температури. В результаті досліджень розроблено інформаційно-вимірювальну систему контролю деформації та зміщення пластів гірничого масиву на основі волоконно-оптичних датчиків, здатну працювати в умовах вибухонебезпечного середовища. Система дозволяє контролювати кілька пластів, розташованих у покрівлі вироблення, при цьому волоконно-оптичний датчик може містити два або три чутливі елементи, які підключаються до різних каналів. При різкому коливанні тиску та зростанні параметра зміщення система подає попереджувальний сигнал про небезпеку.

Ключові слова: оптичне волокно, гірське зміщення, покрівля, гірниче вироблення, волоконно-оптичні датчики.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.247658**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ БЕЗПРОВОДНОГО МОДУЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗВУКОВИХ РЯДІВ РОЗШИРЕНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ (с. 28–40)****Ж. О. Бєлозьоров, О. М. Трунов**

Розглянуто звукові ряди як доповнення візуальних та тепловізіонних потоків інформації при застосуванні комп'ютеризованих систем (КС) моніторингу. Запропоновано мінімально повну структуру КС рознесених мікрофонів, для збору даних про звукові ряди, яка придатна калібрувати, виділяти і передавати дані про звукові аномалії (ЗА). Забезпечено дублювання каналу передачі даних дротом і Wi-Fi модулем для запису та визначення типу і координат ЗА.

Зібрано експериментальний приймальний модуль, до складу якого входять мікрофони, підсилювачі та узгоджувачі цифрового і аналогового сигналу, контролер ARDUINO UNO WIFI REV2 з інтегрованим Wi-Fi модулем. Продемонстровано, що його доповнення персональним комп'ютером і смартфоном з операційною системою Андроїд утворює КС дистанційного безпроводного керування ходом експерименту аналізу звукових рядів. Підтверджено експериментально, що її структура є мінімально-повною. Розроблено

алгоритм та написано комплект програмного забезпечення (ПЗ) на C/C++ мовах. Показано, що кількість мікрофонів обирається із умов задачі від 1 до 5, але їх число обмежено п'ятьма цифровими входами плати ARDUINO UNO WIFI REV2.

Застосовано хвильове представлення закону часових змін інтенсивності та інтегральної норми ЗА. Продемонстровано можливість калібрувати всі дані звукових рядів у аналоговому та цифровому вигляді. Представлено придатність апробувати алгоритми визначення фаз ехограм за даними часових рядів, які містять ЗА різного походження і зареєстровані трьома різними мікрофонами. Показано вплив підключення Wi-Fi модуля на зниження спаду напруги на 0,5–1 В. Продемонстровано необхідність додаткової умови реєстрації ЗА всіма мікрофонами. Розроблено інтерфейси ПЗ калібрування приймального модуля і роботи мобільного додатку.

Ключові слова: комп'ютеризована система, модульна структура, алгоритм прийому, програмне забезпечення, випробування системи.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.245644

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ УДАРНОГО СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ НА ГЕРКОНАХ І МІКРОПРОЦЕСОРАХ (с. 41–48)

Oleksandr Neftisov, Andrii Biloshchytskyi, Olzhas Talipov, Oksana Andreeva

Проведено дослідження функціонування герконів під впливом магнітного поля, створеного струмом в провіднику в перехідному режимі з наявністю аперіодичної складової. Був реалізований відомий спосіб визначення струму за допомогою герконів. При цьому було визначено, що спочатку сформульований спосіб не дав необхідного результату в рамках похибок. Пов'язано це, швидше за все, з особливостями механізму руху контактів геркона. В якості альтернативи при вимірюванні були взяті струми повернення замість струмів спрацювання і час між моментами повернень. Вони є більш стабільними. Проведено моделювання, здійснено експериментальне визначення величини ударного струму шляхом вимірювання часу. Основним елементом створеної установки була обрана котушка силового трансформатора з низьким активним опором і високим індуктивним. В рамках дослідження геркони були поміщені в магнітне поле з наявністю аперіодичної складової, як при перехідному режимі. Дане дослідження дозволить показати застосовність герконів для побудови пристроїв релейного захисту, які не потребуватимуть трансформаторів струму для отримання інформації про первинний струм в провіднику. В ході досліджень встановили, що похибка визначення величини струму склала не більше 10 %. Із застосуванням мікропроцесорів можлива побудова пристроїв релейного захисту з швидкодією до 20 мсек. Даний результат дає можливість побудови нових пристроїв, так як у відомих розробках говорилося тільки про визначення величини струму в сталому режимі. При побудові пристроїв релейного захисту на герконах, без використання трансформаторів струму, можна буде будувати резервні захисти, дублюючи не тільки самі пристрої, але і первинні вимірювальні трансформатори іншими чутливими елементами. Це дозволить підвищити надійність електропостачання.

Ключові слова: релейний захист, геркон, мікропроцесор, ударний струм, вимірювання часу, магнітне поле, перехідний режим.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.244235

ОБГРУНТУВАННЯ ІМПУЛЬСНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВОГО ПАРАМЕТРА ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ ІЗ ТЕРМОРЕЗИСТИВНИМ ЧУТЛИВИМ ЕЛЕМЕНТОМ (с. 49–55)

Я. Я. Козак, Ю. О. Абрамов, О. Є. Басманов

Стосовно до пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом здійснено обґрунтування імпульсного методу визначення їх часового параметра – постійної часу. Такий метод базується на використанні ефекту Джоуля-Ленца, який має прояв при протіканні імпульсу електричного струму через терморезистивний чутливий елемент пожежних сповіщувачів. Теплові процеси в такому чутливому елементі описуються математичною моделлю, яка належить до класу рівнянь математичної фізики. Рішення диференціального рівняння такого класу одержано із використанням інтегрального перетворення Ханкеля і представлено у вигляді ряду відносно функції Бесселя. Одержане рішення використовується для побудови математичної моделі терморезистивного чутливого елемента у вигляді передаточної функції, яка має вигляд передаточної функції інерційної ланки. Для активації терморезистивного чутливого елемента пожежних сповіщувачів використовується одиночний імпульс електричного струму у формі прямокутного трикутника. Із використанням інтегрального перетворення Лапласа одержано математичний опис реакції терморезистивного чутливого елемента на теплову дію такого тест-впливу. Для одержання інформації стосовно часового параметра пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом використовується відношення його вихідних сигналів, які вимірюються в апriori задані моменти часу. Одержано двопараметричний вираз для визначення часового параметра пожежних сповіщувачів та надано словесну інтерпретацію імпульсного методу для його визначення. При реалізації цього методу забезпечується інваріантність часового параметра пожежних сповіщувачів із терморезистивним чутливим елементом відносно амплітуди одиночного імпульсу електричного струму, а також відносно параметра, який входить до його коефіцієнта передачі.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, терморезистивний чутливий елемент, ефект Джоуля-Ленца, часовий параметр.

DOI: 10.15587/1729-4061.2021.246601

СТАБІЛІЗАЦІЯ НАПРУГИ КЕРОВАНОГО АВТОНОМНОГО МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА З МАГНІТНИМ ШУНТОМ ТА ЗБУДЖЕННЯМ ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ (с. 56–62)

В. В. Чумак, В. А. Баженов, О. Л. Тимошук, М. А. Коваленко, С. С. Цивінський, І. Я. Коваленко, І. В. Ткачук

В роботі представлено результати випробування та дослідження характеристик керованого автономного магнітоелектричного синхронного генератора з магнітним шунтом. Конструктивно досліджуваний генератор є модифікованою асинхронною машиною, в якій ротор виконано із постійними магнітами та додатковою системою у вигляді магнітного шунта. За допомогою регулювання струму обмотки магнітного шунта виконується регулювання вихідної напруги генератора. Досліджувались наступні характеристики:

холостого ходу при роботі від постійних магнітів і при зміні струму обмотки магнітного шунта при прямій та зворотній полярності. Також, зовнішня характеристика для активного та активно-індуктивного навантаження; регульовальна характеристика при зміні струму навантаження за постійної напруги генератора.

Аналіз отриманих характеристик дає можливість визначити межі регулювання зовнішньої характеристики, яка становить $\approx 40\%$, відносно основного магнітного потоку. Отримана глибина регулювання дозволяє підтримувати стабільність зовнішньої характеристики для коефіцієнтів потужності не більше 0,9, що є звичайною паспортною величиною для автономних енергетичних установок на основі синхронних генераторів. Порівняння даних досліджень, проведених на експериментальній установці, показує достатню, для інженерних і практичних завдань, збіжність. Максимальна кількісна відмінність становить 9,3 %, що дозволяє стверджувати про адекватність розробленої раніше математичної моделі. Регульовальна характеристика, побудована експериментальним шляхом при незмінній напрузі генератора, є законом управління обмоткою магнітного шунта для конкретно досліджуваного генератора.

Досліджений варіант виконання синхронного генератора з магнітним шунтом доцільно використовувати для автономних енергоустановок, систем відновлювальних джерел енергії та систем автономного енергопостачання.

Ключові слова: магнітний шунт, регулювання напруги генератора, підмагнічуюча обмотка, магнітоелектричне збудження, постійні магніти, експериментальне дослідження.