

ABSTRACT AND REFERENCES

APPLIED MECHANICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330655

IMPROVING THE PROTECTION OF HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT WITH CONDENSER-TYPE INSULATION DURING TECHNICAL CONDITION MONITORING UNDER OPERATING VOLTAGE (p. 6–16)**Oleksandr Sakhno**“ENERGY AUTOMATION” LLC, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3283-3731>**Kostiantyn Odiyaka**National University “Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4583-3845>**Liudmyla Skrupska**National University “Zaporizhzhia Polytechnic”,
Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9494-1009>

The object of this study is condenser-type insulation of high-voltage electrical equipment and elements of its overvoltage protection circuits, in the case of breaking the cable to the diagnostic device of technical condition of insulation under operating voltage.

The work reports a study on the overvoltage that can cause damage to high-voltage equipment with condenser-type insulation (bushings and instrument current transformers), equipped by hardware for monitoring the technical condition of insulation under operating voltage. Such overvoltage can occur as a result of damage of the cable from the test-tap of the device insulation and/or as a result of lightning and switching overvoltage on the buses of the switchgear.

The task relates to insufficient attention and lack of requirements of regulatory documents to the insulation protection schemes of devices with an increase in the number of implementations of devices for monitoring the condition of insulation under operating voltage in recent years. The relevance of the issue is predetermined by war in Ukraine, when electric power facilities and the system as a whole are subject of military attacks, causing both physical destruction and provoking overvoltage and short circuits that affect equipment that has not been destroyed.

The paper gives the results of modeling the overvoltage that may arise on the insulation test-tap of equipment with condenser-type insulation, when the cable to the monitoring device is damaged. The results of temperature tests of a complex protective resistor are presented. The use of a parallel resistor and a capacitor as the main protection elements has been justified. Such a scheme could limit the instantaneous overvoltage value for most devices at the level of no more than 1.6 kV, even without the use of additional protection elements, such as varistors or arresters, for example.

A methodology and recommendations for selecting protective elements and checking the compliance have been devised, both under the nominal operating mode and in the presence of high-frequency overvoltage.

Keywords: condenser-type insulation, test-tap, monitoring under operating voltage.

References

- Case Histories for Mitigating Transformer Bushing Risk (2022). INMR. Available at: <https://www.inmr.com/case-histories-for-mitigating-transformer-bushing-risk/>
- Test Requirements for HV Bushings (2025). INMR. Available at: <https://www.inmr.com/test-requirements-hv-bushings/>
- Jerbic, V., Keitoue, S., Puskaric, J., Tomic, I. (2024). Improving the Reliability of Online Bushing Monitoring. *Journal of Energy - Energija*, 73 (1), 18–23. <https://doi.org/10.37798/2024731511>
- SOU-N MPE 40.1.46.301:2006. Perevirka izoliatsiyi transformatoriv strumu 330-750 kV pid robochoiu napruhoiu. *Metodychni vkazivky*.
- Tostrud, M. (2017). Bushing sensors and their role in reliable on-line bushing monitoring. *Transformers Magazine*. Available at: <https://transformers-magazine.com/magazine/4939-bushing-sensors-and-their-role-in-reliable-on-line-bushing-monitoring/>
- Your Complete Online Bushings Monitoring Solution Starts Here (2024). Available at: <https://www.dynamicratings.com/your-complete-online-bushings-monitoring-solution-starts-here/>
- Sacerdotianu, D., Nicola, M., Lazarescu, F., Hurezeanu, I., Roman, D., Albata, A., Purcaru, D. (2021). Contributions to Monitoring the Condition and the Protection of Insulated Bushings, Pertaining to Transformer Units. 2021 9th International Conference on Modern Power Systems (MPS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/mps52805.2021.9492693>
- Adapter diahnostychnoho vyvedennia vvedennia (2025). Energy Automation LLC. Available at: <http://enera.com.ua/products/parts/AIV/>
- Damião, L., Guimarães, J., Ferraz, G., Bortoni, E., Rossi, R., Capellini, R. et al. (2020). Online Monitoring of Partial Discharges in Power Transformers Using Capacitive Coupling in the Tap of Condenser Bushings. *Energies*, 13 (17), 4351. <https://doi.org/10.3390/en13174351>
- Koch, M., Kruger, M. (2012). A new method for on-line monitoring of bushings and partial discharges of power transformers. 2012 IEEE International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, 1205–1208. <https://doi.org/10.1109/cmd.2012.6416378>
- Suwnansri, T., Pongmanee, A., Suwanasri, C. (2014). On-line Monitoring for Bushing of Power Transformer. *GMSARN International Journal*, 8, 47–52. Available at: <https://gmsarnjournal.com/home/wp-content/uploads/2015/08/vol8no2-3.pdf>
- IEEE C57.19.100-2012. IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings. Available at: <https://standards.ieee.org/ieee/C57.19.100/3946/>
- Messadi, A., Zouaghi, A., Ferdjallah-Kherkhachi, E., Vollaie, C., Richer, O., de Oliveira, L. F., Breard, A. (2023). High Frequency Model of Power Transformer Bushing for Very Fast Transient Studies. *IEEE Access*, 11, 93908–93919. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3309702>
- Sakhno, O., Skrupska, L., Odiyaka, K., Vasylevskiy, V., Shylo, S. (2025). Diagnostics of the technical state of high-voltage equipment under operating voltage. *Technology Audit and Production Reserves*, 2 (1 (82)), 35–44. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.325777>
- Cristaldi, L., Faifer, M., Laurano, C., Ottoboni, R., Toscani, S. (2015). Monitoring of power transformer bushings in high voltage substations. 2015 IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 1–6. <https://doi.org/10.1109/amps.2015.7312741>
- Kalantarov, P. L., Ceytlin, L. A. (1986). *Raschet induktivnostey. Leningr: Energoatomizdat*, 488.
- Film capacitors. Metallized polypropylene film capacitors (MKP) (2021). TDK. Available at: https://www.tdk-electronics.tdk.com/inf/20/20/db/fc_2009/MKP_B32674_678.pdf
- Pravyla ulashtuvannia elektroutanovok (2017). *Zatverdzheno Nakaz Ministerstva enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy No. 476. 21.07.2017*. Available at: <https://sies.gov.ua/storage/app/sites/4/uploaded-files/Законодавство.%20Накази%20Міненерго/Nakaz%20476%20vid%2021.07.2017/stranitsy-iz-pue-skan1.pdf>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331607

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF RADIO FREQUENCY MANAGEMENT APPROACHES FOR STRATOSPHERIC COMMUNICATION SYSTEMS (p. 17–29)

Askar Abdykadyrov

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
 Institute of Mechanics and Mechanical Engineering named after
 Academician U. A. Dzholdasbekov, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1143-4675>

Mukhit Abdullayev

Kazakh National Research Technical University
 named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3349-1881>

Ainur Kuttybayeva

Kazakh National Research Technical University
 named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7281-3690>

Kalmukhamed Tazhen

Kazakh National Research Technical University
 named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5890-5328>

Nurlan Kystaubayev

Kazakh National Research Technical University
 named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6128-8426>

Muratbek Yermekbayev

Gumarbek Daukeev Almaty University of Power Engineering
 and Communications, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5051-0047>

Tatyana Meshcheryakova

Kazakh National Research Technical University
 named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1910-8487>

Altynkul Turebekova

Kazakh National Research Technical University
 named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9314-8628>

Nurlan Sarsenbayev

Kazakh National Research Technical University
 named after K. I. Satpayev, Almaty, Republic of Kazakhstan
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8640-7175>

The object of the study is the methods of radio frequency resource management in stratospheric communication systems based on high altitude platform stations (HAPS). The problem addressed is the limited radio frequency spectrum, frequency overlap with fifth- and sixth-generation (5G/6G) networks, and the high probability of interference, which complicate efficient spectrum utilization and coordination. The obtained results indicate that within the frequency bands recommended by the International Telecommunication Union (ITU) – 21.4–22.0 GHz, 24.25–27.5 GHz, 47.2–47.5 GHz, and 47.9–48.2 GHz – the probability of interference reaches up to 70% in the 27.5–28.35 GHz band. By applying cognitive radio (CR) technology, interference levels decreased by 60%, and spectrum utilization efficiency increased by 35%. Dynamic spectrum access (DSA) improved spectrum efficiency by 30–45%, while spectrum sharing methods enhanced it by 40–60%. A brief explanation of the results shows that the proposed management approaches significantly increase the efficiency of radio frequency resource use and substantially reduce interference. For example, at a bandwidth of 100 MHz and a

signal-to-noise ratio (SNR) of 10, the channel capacity reached approximately 332 Mbps. The distinctive features of the results lie in the comprehensive use of modern technologies that effectively address spectrum scarcity and interference issues, ensuring compatibility of HAPS with existing terrestrial and satellite communication systems. The proposed approaches are suitable for implementation in international and national spectrum coordination and licensing frameworks aimed at expanding broadband connectivity in underserved regions.

Keywords: stratospheric communication, HAPS, spectrum, interference, 5G, 6G, frequency, integration, management, telecommunications.

References

1. Mohammed, A., Mehmood, A., Pavlidou, F.-N., Mohorcic, M. (2011). The Role of High-Altitude Platforms (HAPS) in the Global Wireless Connectivity. *Proceedings of the IEEE*, 99 (11), 1939–1953. <https://doi.org/10.1109/jproc.2011.2159690>
2. Karabulut Kurt, G., Khoshkholgh, M. G., Alfattani, S., Ibrahim, A., Darwish, T. S. J., Alam, M. S. et al. (2021). A Vision and Framework for the High Altitude Platform Station (HAPS) Networks of the Future. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23 (2), 729–779. <https://doi.org/10.1109/comst.2021.3066905>
3. Zhou, D., Gao, S., Liu, R., Gao, F., Guizani, M. (2020). Overview of development and regulatory aspects of high altitude platform system. *Intelligent and Converged Networks*, 1 (1), 58–78. <https://doi.org/10.23919/icn.2020.0004>
4. Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Tsyporenko, V., Smailov, N., Zhunussov, K., Abdykadyrov, A. et al. (2022). Improving the accuracy and performance speed of the digital spectral-correlation method for measuring delay in radio signals and direction finding. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (9 (115)), 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252561>
5. Smailov, N., Tsyporenko, V., Sabibolda, A., Tsyporenko, V., Kabdoldina, A., Zhekambayeva, M. et al. (2023). Improving the accuracy of a digital spectral correlation-interferometric method of direction finding with analytical signal reconstruction for processing an incomplete spectrum of the signal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (9 (125)), 14–25. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288397>
6. Wei, Z., Wang, L., Gao, Z., Wu, H., Zhang, N., Han, K., Feng, Z. (2023). Spectrum Sharing Between High Altitude Platform Network and Terrestrial Network: Modeling and Performance Analysis. *IEEE Transactions on Communications*, 71 (6), 3736–3751. <https://doi.org/10.1109/tcomm.2023.3262305>
7. Arum, S. C., Grace, D., Mitchell, P. D. (2020). A review of wireless communication using high-altitude platforms for extended coverage and capacity. *Computer Communications*, 157, 232–256. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.04.020>
8. Zhou, Y., Qi, F., Xie, W. (2022). Research on Spectrum Needs Prediction Method for HAPS as IMT Base Station. *IEEE Access*, 10, 119095–119105. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3220839>
9. Kement, C. E., Kara, F., Jaafar, W., Yanikomeroglu, H., Senarath, G., Dao, N. D., Zhu, P. (2023). Sustaining Dynamic Traffic in Dense Urban Areas with High Altitude Platform Stations (HAPS). *IEEE Communications Magazine*, 61 (7), 150–156. <https://doi.org/10.1109/mcom.001.2200584>
10. Mershad, K., Dahrouj, H., Srieddeen, H., Shihada, B., Al-Naffouri, T., Alouini, M.-S. (2021). Cloud-Enabled High-Altitude Platform Systems: Challenges and Opportunities. *Frontiers in Communications and Networks*, 2. <https://doi.org/10.3389/frcmn.2021.716265>
11. Shamsabadi, A. A., Yadav, A., Yanikomeroglu, H. (2025). Interference Management Strategies for HAPS-Enabled vHetNets in Urban Deployments. *IEEE Communications Standards Magazine*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/mcomstd.2025.3569011>

12. Aven, T., Ylönen, M. (2016). Safety regulations: Implications of the new risk perspectives. *Reliability Engineering & System Safety*, 149, 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.01.007>
13. Shamsabadi, A. A., Yadav, A., Yanikomeroglu, H. (2024). Enhancing Next-Generation Urban Connectivity: Is the Integrated HAPS-Terrestrial Network a Solution? *IEEE Communications Letters*, 28 (5), 1112–1116. <https://doi.org/10.1109/lcomm.2024.3370698>
14. Shibata, Y., Kanazawa, N., Konishi, M., Hoshino, K., Ohta, Y., Nagata, A. (2020). System Design of Gigabit HAPS Mobile Communications. *IEEE Access*, 8, 157995–158007. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3019820>
15. Jacob, P., Sirigina, R. P., Madhukumar, A. S., Prasad, V. A. (2016). Cognitive Radio for Aeronautical Communications: A Survey. *IEEE Access*, 4, 3417–3443. <https://doi.org/10.1109/access.2016.2570802>
16. Zeng, Y., Wu, Q., Zhang, R. (2019). Accessing From the Sky: A Tutorial on UAV Communications for 5G and Beyond. *Proceedings of the IEEE*, 107 (12), 2327–2375. <https://doi.org/10.1109/jproc.2019.2952892>
17. Lou, Z., Youcef Belmekki, B. E., Alouini, M.-S. (2023). HAPS in the Non-Terrestrial Network Nexus: Prospective Architectures and Performance Insights. *IEEE Wireless Communications*, 30 (6), 52–58. <https://doi.org/10.1109/mwc.004.2300198>
18. Sun, S., Rappaport, T., Heath, R., Nix, A., Rangan, S. (2014). Mimo for millimeter-wave wireless communications: beamforming, spatial multiplexing, or both? *IEEE Communications Magazine*, 52 (12), 110–121. <https://doi.org/10.1109/mcom.2014.6979962>
19. Yahia, O. B., Erdogan, E., Kurt, G. K., Altunbas, I., Yanikomeroglu, H. (2022). HAPS Selection for Hybrid RF/FSO Satellite Networks. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 58 (4), 2855–2867. <https://doi.org/10.1109/taes.2022.3142116>
20. Gulati, K., Evans, B. L., Andrews, J. G., Tinsley, K. R. (2010). Statistics of Co-Channel Interference in a Field of Poisson and Poisson-Poisson Clustered Interferers. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 58 (12), 6207–6222. <https://doi.org/10.1109/tsp.2010.2072922>
21. Heath, R. W., Kountouris, M., Bai, T. (2013). Modeling Heterogeneous Network Interference Using Poisson Point Processes. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 61 (16), 4114–4126. <https://doi.org/10.1109/tsp.2013.2262679>
22. Slimeni, F., Chtourou, Z., Scheers, B., Nir, V. L., Attia, R. (2018). Cooperative Q-learning based channel selection for cognitive radio networks. *Wireless Networks*, 25 (7), 4161–4171. <https://doi.org/10.1007/s11276-018-1737-9>
23. Khan, M. I., Reggiani, L., Alam, M. M., Le Moullec, Y., Sharma, N., Yaacoub, E., Magarini, M. (2020). Q-Learning Based Joint Energy-Spectral Efficiency Optimization in Multi-Hop Device-to-Device Communication. *Sensors*, 20 (22), 6692. <https://doi.org/10.3390/s20226692>
24. Oodo, M., Miura, R., Hori, T., Morisaki, T., Kashiki, K., Suzuki, M. (2002). Sharing and Compatibility Study between Fixed Service Using High Altitude Platform Stations (HAPS) and Other Services in the 31/28 GHz Bands. *Wireless Personal Communications*, 23 (1), 3–14. <https://doi.org/10.1023/a:1020945122344>
25. Testolina, P., Polese, M., Melodia, T. (2024). Sharing Spectrum and Services in the 7–24 GHz Upper Midband. *IEEE Communications Magazine*, 62 (8), 170–177. <https://doi.org/10.1109/mcom.001.2400086>
26. Dodman, D., Adelekan, I., Brown, D., Leck, H., Manda, M., Mberu, B. et al. (2018). A spectrum of methods for a spectrum of risk: Generating evidence to understand and reduce urban risk in sub-Saharan Africa. *Area*, 51 (3), 586–594. <https://doi.org/10.1111/area.12510>
27. Luo, G., Yuan, Q., Li, J., Wang, S., Yang, F. (2022). Artificial Intelligence Powered Mobile Networks: From Cognition to Decision. *IEEE Network*, 36 (3), 136–144. <https://doi.org/10.1109/mnet.013.2100087>
28. Polese, M., Cantos-Roman, X., Singh, A., Marcus, M. J., MacCarrone, T. J., Melodia, T., Jornet, J. M. (2023). Coexistence and Spectrum Sharing Above 100 GHz. *Proceedings of the IEEE*, 111 (8), 928–954. <https://doi.org/10.1109/jproc.2023.3286172>
29. Ponsignon, F., Smart, P. A., Maull, R. S. (2011). Service delivery system design: characteristics and contingencies. *International Journal of Operations & Production Management*, 31 (3), 324–349. <https://doi.org/10.1108/01443571111111946>
30. Mohebbi Nia, M., Abdul Rahman, T. (2012). Spectrum Correlated Criteria and Their Impacts on High Altitude Platform Station (HAPS) and Fixed Satellite Service (FSS) Coexistence in Frequency Range 5,850–7,075 MHz. *Wireless Personal Communications*, 69 (1), 357–372. <https://doi.org/10.1007/s11277-012-0577-7>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327590
DEVELOPMENT OF PASSIVE COOLING WITH
PERFORATED PLATES AND REAL-TIME
MONITORING FOR PV EFFICIENCY
IMPROVEMENT (p. 30–38)

Armin Sofijan

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8469-6249>

Riman Sipahutar

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6445-0324>

Wirawan Adi Pradana

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7010-8606>

Baginda Oloan Siregar

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9113-6359>

Irwin Bizzy

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1059-7897>

Siti Sailah

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7507-9508>

Feby Ardianto

Muhammadiyah Palembang University,
 Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5695-5758>

Surya Darma

Palembang University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5873-634X>

Ananda Putri Kamila

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-6820-5125>

Vina Alya Dhafia

Sriwijaya University, Palembang-South Sumatera, Indonesia
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4427-6935>

This study focuses on enhancing photovoltaic (PV) module performance through the development of a passive cooling method using perforated aluminum plates, supported by a real-time monitoring system. The core problem addressed is the thermal inefficiency of PV modules operating in hot, humid environments, where heat accumulation lowers energy output. A real-time data acquisition system was developed using Arduino to monitor voltage, current, surface temperature, humidity, and solar irradiance. Four identical polycrystalline PV modules were tested; three were equipped with aluminum plates of varying perforation diameters (10 mm, 12.5 mm, 15 mm), while one remained

uncooled as a control. The results showed that the module with 15 mm perforations had the best performance, achieving a 61.04 W output under peak irradiance (1404 W/m^2) and reducing surface temperature by nearly 10°C . These outcomes demonstrate that enhanced natural convection and evaporative effects, enabled by the larger perforations, significantly improved thermal regulation. The synchronized monitoring system validated the temperature-power relationship by capturing environmental dynamics in real time. Due to its energy independence, low cost, and simplicity, this integrated solution is particularly applicable in tropical regions or off-grid installations. The findings establish a practical basis for scalable deployment of passive cooling in PV systems, especially where active cooling is unfeasible.

Keywords: passive cooling, perforated aluminum plate, real-time monitoring, solar energy efficiency, natural convection, thermal regulation.

References

- Dambhare, M. V., Butey, B., Moharil, S. V. (2021). Solar photovoltaic technology: A review of different types of solar cells and its future trends. *Journal of Physics: Conference Series*, 1913 (1), 012053. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1913/1/012053>
- Qazi, A., Hussain, F., Rahim, N. ABD., Hardaker, G., Alghazzawi, D., Shaban, K., Haruna, K. (2019). Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions. *IEEE Access*, 7, 63837–63851. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2906402>
- Shvedchikova, I., Trykhlieb, A., Trykhlieb, S., Demishonkova, S., Pavlenko, V. (2024). Determining the efficiency of restored photovoltaic modules under natural lighting conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (8 (132)), 16–24. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317829>
- Al-Bashir, A., Al-Dweri, M., Al-Ghandoor, A., Hammad, B., Al-Kouz, W. (2020). Analysis of effects of solar irradiance, cell temperature and wind speed on photovoltaic systems performance. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10 (1), 353–359. <https://doi.org/10.32479/ijeep.8591>
- Shaker, L. M., Al-Amiery, A. A., Hanoon, M. M., Al-Azzawi, W. K., Kadhum, A. A. H. (2024). Examining the influence of thermal effects on solar cells: a comprehensive review. *Sustainable Energy Research*, 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s40807-024-00100-8>
- Bošnjaković, M., Stojkov, M., Katinić, M., Lacković, I. (2023). Effects of Extreme Weather Conditions on PV Systems. *Sustainability*, 15 (22), 16044. <https://doi.org/10.3390/su152216044>
- Yu, Z., Yang, H., Soin, N., Chen, L., Black, N., Xu, K., Sharma, P. K., Tsonos, C. et al. (2021). Bismuth oxyhalide based photo-enhanced triboelectric nanogenerators. *Nano Energy*, 89, 106419. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.106419>
- Dwivedi, P., Sudhakar, K., Soni, A., Solomin, E., Kirpichnikova, I. (2020). Advanced cooling techniques of P.V. modules: A state of art. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, 100674. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100674>
- Sharaf, M., Yousef, M. S., Huzayyin, A. S. (2022). Review of cooling techniques used to enhance the efficiency of photovoltaic power systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (18), 26131–26159. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18719-9>
- Sheik, M. S., Kakati, P., Dandotiya, D., M, U. R., S, R. C. (2022). A comprehensive review on various cooling techniques to decrease an operating temperature of solar photovoltaic panels. *Energy Nexus*, 8, 100161. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100161>
- Boubakr, G., Gu, F., Farhan, L., Ball, A. (2022). Enhancing Virtual Real-Time Monitoring of Photovoltaic Power Systems Based on the Internet of Things. *Electronics*, 11 (15), 2469. <https://doi.org/10.3390/electronics11152469>
- Muhanji, S. O., Barrows, C., Macknick, J., Farid, A. M. (2021). An enterprise control assessment case study of the energy–water nexus for the ISO New England system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110766>
- Srithar, K., Akash, K., Nambi, R., Vivar, M., Saravanan, R. (2023). Enhancing photovoltaic efficiency through evaporative cooling and a solar still. *Solar Energy*, 265, 112134. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112134>
- Alktrane, M., Bencs, P. (2023). Experimental comparative study on using different cooling techniques with photovoltaic modules. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 148 (9), 3805–3817. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11940-1>
- Elbreki, A. M., Muftah, A. F., Sopian, K., Jarimi, H., Fazlizan, A., Ibrahim, A. (2021). Experimental and economic analysis of passive cooling PV module using fins and planar reflector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 23, 100801. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100801>
- Bashir, M. A., Ali, H. M., Khalil, S., Ali, M., Siddiqui, A. M. (2014). Comparison of Performance Measurements of Photovoltaic Modules during Winter Months in Taxila, Pakistan. *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/898414>
- Cengiz, M., Kayri, İ., Aydın, H. (2024). A collated overview on the evaporative cooling applications for photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 197, 114393. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114393>
- Sofijan, A., Nawawi, Z., Suprpto, B. Y., Bizzy, I., Sipahutar, R. (2020). Passive cooling using perforated aluminum plate to improve efficiency on monocrystalline of 100 Wp photovoltaic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 909 (1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/909/1/012006>
- Alktrane, M., Bencs, P. (2022). Effect of Evaporative Cooling on Photovoltaic Module Performance. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 6 (4), 921–930. <https://doi.org/10.1007/s41660-022-00268-w>
- Ali, H., Mahmood, M., Bashir, M., Ali, M., Siddiqui, A. (2016). Outdoor testing of photovoltaic modules during summer in Taxila, Pakistan. *Thermal Science*, 20 (1), 165–173. <https://doi.org/10.2298/tsci131216025a>
- Sakinah, A., Bandri, S., Nur Putra, A. M., Anthony, Z., Warmi, Y. (2024). Monitoring System for Solar Panel Characteristics Using the Internet of Things (IoT). *The Southeast Asian Journal of Advance Engineering and Technology Original Research*, 1 (2), 64–70.
- Vijay, K. S., Sasane, S., Bajare, M., Deshmukh, R. (2024). Real Time Monitoring of Temperature And Humidity Using LabVIEW and ML. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 12 (5), 4701–4710. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.62675>
- Akhtar, M. U., Iqbal, M. T. (2024). Development and Evaluation of an Arduino-Based Data Logging System Integrated with Microsoft Excel for Monitoring On-Grid Photovoltaic Systems. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 8 (3), 29–37. <https://doi.org/10.24018/ejece.2024.8.3.622>
- Abdullah, M. H., Ghani, S. A. C., Zaulkafilai, Z., Tajuddin, S. N. (2017). Development open source microcontroller based temperature data logger. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 257, 012015. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/257/1/012015>
- Zhao, Y., Wang, S., Ge, M., Li, Y., Yang, Y. (2018). Energy and exergy analysis of thermoelectric generator system with humidified flue gas. *Energy Conversion and Management*, 156, 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.10.094>
- Peng, L., Mai, J., Hu, P., Lai, X., Lin, Z. (2011). Optimum design of the slotted-interdigitated channels flow field for proton exchange membrane fuel cells with consideration of the gas diffusion layer intrusion. *Renewable Energy*, 36 (5), 1413–1420. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.031>

27. Wang, L., Lin, X., Chai, L., Peng, L., Yu, D., Chen, H. (2019). Cyclic transient behavior of the Joule–Brayton based pumped heat electricity storage: Modeling and analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 523–534. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.056>
28. Zaretsky, E. B., Kanel, G. I., Kalabukhov, S. (2020). Shock compression of paraffin–poly-methylmethacrylate (PMMA) mixture. *Journal of Applied Physics*, 127 (24). <https://doi.org/10.1063/5.0013020>
29. Hand, B., & Cashman, A. (2020). A review on the historical development of the lift-type vertical axis wind turbine: From onshore to offshore floating application. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38, 100646. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100646>
30. Kumar, S., Upadhyay, R., Pradhan, B. (2020). Performance enhancement of heterojunction ZnO/PbS quantum dot solar cells by interface engineering. *Solar Energy*, 211, 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.09.063>
31. Pilarczyk, M., Węglowski, B. (2019). Determination and validation of transient temperature fields within a cylindrical element using the inverse heat conduction method. *Applied Thermal Engineering*, 150, 1224–1232. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.079>
32. Radia, M. A. A., Nimr, M. K. E., Atlam, A. S. (2023). IoT-based wireless data acquisition and control system for photovoltaic module performance analysis. *E-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 6, 100348. <https://doi.org/10.1016/j.prime.2023.100348>
33. Samadianfard, S., Hashemi, S., Kargar, K., Izadyar, M., Mostafaeipour, A., Mosavi, A. et al. (2020). Wind speed prediction using a hybrid model of the multi-layer perceptron and whale optimization algorithm. *Energy Reports*, 6, 1147–1159. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.05.001>
34. Dixit, S., Arora, R., Kumar, K., Bansal, S., Vatin, N., Araszkie-wicz, K., Epifantsev, K. (2022). Replacing E-waste with coarse aggregate in architectural engineering and construction industry. *Materials Today: Proceedings*, 56, 2353–2358. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.154>
35. Gultom, E., Muzhoffar, D. A. F., Budiyanto, M. A., Riadi, A., Rivai, A. (2025). Real-time prediction of higher heating value of coal in coal-fired power plants using operating parameters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (133)), 68–78. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.320573>
36. Sofijan, A. (2022). Experimental Analysis of ACP on Photovoltaics as Free Convection for Increasing Output Power. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1 (5), 123–127. <https://doi.org/10.15199/48.2022.05.22>
37. Sofijan, A., Nawawi, Z., Yudho Suprpto, B., Sipahutar, R., Bizzy, I. (2020). Performance Evaluation Solar Charge Controller on Solar Power System Home-Based SPV Amorphous 80 Watt-peak. *Journal of Physics: Conference Series*, 1500 (1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1500/1/012004>
38. Adipradana, W., Sofijan, A., Rahmawati, Bizzy, I., Sipahutar, R., Fajri, M. A. (2021). Datalogger Experimental Analysis Based on Arduino Mega 2560 on a 100 Wp Monocrystalline Solar Panel Using Perforated Plate. *Proceedings of the 4th Forum in Research, Science, and Technology (FIRST-T1-T2-2020)*. <https://doi.org/10.2991/ahe.k.210205.033>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331285

DESIGN OF AN INTELLIGENT SYSTEM TO CONTROL THE DEVICE FOR RECOGNIZING THE BREAD STRIPED FLEA (*PHYLLOTRETA VITTULA*) (p. 39–48)

Akerke Akanova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7178-2121>

Galiya Anarbekova

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8960-8036>

Mira Kaldarova

Astana International University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7494-9794>

Nazira Ospanova

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0100-1008>

Saltanat Sharipova

Astana IT University, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7267-3261>

The object of this study is an autonomous Raspberry Pi-based device for real-time pest detection. The task addressed relates to the lack of affordable, energy-efficient, and autonomous solutions for working in the field without an Internet connection.

The paper reports the design of an intelligent device for pest monitoring. The device is focused on automatic recognition of the striped grain flea beetle (*Phyllotreta vittula*) in grain crops. As a result of the study, a system was designed based on the Raspberry Pi 4.0 microcomputer using the OpenCV library and the YOLO model. The device processes the video stream, identifies pests, and saves data locally. The system provides high accuracy at low power consumption. This was made possible by a lightweight neural network architecture and optimized image processing. A distinctive feature of the solution is autonomy, mobility, and resistance to variable lighting conditions. The system also works with limited computing resources.

The results demonstrate that the device could be effectively used in precision farming systems and at scientific institutions. The device helps identify pests and make agricultural decisions at early stages of infection. The technological advancement could be adapted to other types of pests with minimal changes to the model. In the future, the system could be integrated into broader agricultural monitoring platforms with the ability to transfer data to the cloud. The practical use of the device is possible both in large farms and on private farms. This technological advancement is especially relevant for regions with limited technical infrastructure.

Keywords: artificial intelligence, Raspberry Pi, YOLO, OpenCV, pest monitoring, agriculture, computer vision.

References

1. Aijaz, N., Lan, H., Raza, T., Yaqub, M., Iqbal, R., Pathan, M. S. (2025). Artificial intelligence in agriculture: Advancing crop productivity and sustainability. *Journal of Agriculture and Food Research*, 20, 101762. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101762>
2. Espinel, R., Herrera-Franco, G., Rivadeneira García, J. L., Escandón-Panchana, P. (2024). Artificial Intelligence in Agricultural Mapping: A Review. *Agriculture*, 14 (7), 1071. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071071>
3. Ahmed, S., Marwat, S. N. K., Brahim, G. B., Khan, W. U., Khan, S., Al-Fuqaha, A., Koziel, S. (2024). IoT based intelligent pest management system for precision agriculture. *Scientific Reports*, 14 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83012-3>
4. Venkateswara, S. M., Padmanabhan, J. (2025). Deep learning based agricultural pest monitoring and classification. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92659-5>
5. Sciarretta, A., Calabrese, P. (2019). Development of Automated Devices for the Monitoring of Insect Pests. *Current Agriculture Research Journal*, 7 (1), 19–25. <https://doi.org/10.12944/carj.7.1.03>
6. Song, B., Chen, J., Liu, W., Fang, J., Xue, Y., Liu, X. (2025). YOLO-ELWNet: A lightweight object detection network. *Neurocomputing*, 636, 129904. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.129904>

7. Ding, J.-Y., Zou, C.-M., Jeon, W.-S., Rhee, S.-Y. (2024). An Improved YOLO Detection Approach for Pinpointing Cucumber Diseases and Pests. *Computers, Materials & Continua*, 81 (3), 3989–4014. <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.057473>
8. Brunelli, D., Minakov, I., Passerone, R., Rossi, M. (2015). Smart monitoring for sustainable and energy-efficient buildings: A case study. 2015 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS) Proceedings, 186–191. <https://doi.org/10.1109/eesms.2015.7175875>
9. Gao, Y., Yin, F., Hong, C., Chen, X., Deng, H., Liu, Y. et al. (2024). Intelligent field monitoring system for cruciferous vegetable pests using yellow sticky trap images and an improved Cascade R-CNN. *Journal of Integrative Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.06.017>
10. Chen, X., Yang, X., Hu, H., Li, T., Zhou, Z., Li, W. (2025). DAMI-YOLOv8l: A multi-scale detection framework for light-trapping insect pest monitoring. *Ecological Informatics*, 86, 103067. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103067>
11. Tetila, E. C., da Silveira, F. A. G., da Costa, A. B., Amorim, W. P., Astolfi, G., Pistori, H., Barbedo, J. G. A. (2024). YOLO performance analysis for real-time detection of soybean pests. *Smart Agricultural Technology*, 7, 100405. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100405>
12. Qayyum, H., Ali, F., Saleem, K., Ahmad, I., Iqbal, M. J. (2025). YOLOCSP-PEST for Crops Pest Localization and Classification. *Computers, Materials & Continua*, 82 (2), 2373–2388. <https://doi.org/10.32604/cmc.2025.060745>
13. Hakim, A., Srivastava, A. K., Hamza, A., Owais, M., Habib-ur-Rahman, M., Qadri, S. et al. (2025). Yolo-pest: an optimized YoloV8x for detection of small insect pests using smart traps. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97825-3>
14. Chen, H., Wen, C., Zhang, L., Ma, Z., Liu, T., Wang, G. et al. (2025). Pest-PVT: A model for multi-class and dense pest detection and counting in field-scale environments. *Computers and Electronics in Agriculture*, 230, 109864. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109864>
15. Wang, N., Fu, S., Rao, Q., Zhang, G., Ding, M. (2025). Insect-YOLO: A new method of crop insect detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 232, 110085. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110085>
16. Saranya, T., Deisy, C., Sridevi, S. (2024). Efficient agricultural pest classification using vision transformer with hybrid pooled multihead attention. *Computers in Biology and Medicine*, 177, 108584. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2024.108584>
17. Wu, T., Shi, L., Zhang, L., Wen, X., Lu, J., Li, Z. (2023). RS Transformer: A Two-Stage Region Proposal Using Swin Transformer for Few-Shot Pest Detection in Automated Agricultural Monitoring Systems. *Applied Sciences*, 13 (22), 12206. <https://doi.org/10.3390/app132212206>
18. Gonzalez-Huitron, V., León-Borges, J. A., Rodriguez-Mata, A. E., Amabilis-Sosa, L. E., Ramírez-Pereda, B., Rodriguez, H. (2021). Disease detection in tomato leaves via CNN with lightweight architectures implemented in Raspberry Pi 4. *Computers and Electronics in Agriculture*, 181, 105951. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105951>
19. Tiwari, S., Gehlot, A., Singh, R., Twala, B., Priyadarshi, N. (2025). Design of an improved model for finger millet leaf disease detection with raspberry Pi using multimodal data acquisition and precision-aware CNN. *Results in Engineering*, 25, 103969. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.103969>
20. Rakesh, M. D., Jeevankumar, M., Rudraswamy, S. B. (2025). Implementation of real time root crop leaf classification using CNN on raspberry-Pi microprocessor. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100714. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100714>
21. Upendra, M., Anuradha, T., Prakash, L. (2025). Bird Repeller Using Opencv. *Procedia Computer Science*, 252, 975–984. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.058>
22. Wei, M., Zhan, W. (2024). YOLO_MRC: A fast and lightweight model for real-time detection and individual counting of Tephritidae pests. *Ecological Informatics*, 79, 102445. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102445>
23. Wu, R., He, F., Rong, Z., Liang, Z., Xu, W., Ni, F., Dong, W. (2024). TP-Transfiner: high-quality segmentation network for tea pest. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1411689>
24. Anarbekova, G., Ruiz, L. G. B., Akanova, A., Sharipova, S., Ospanova, N. (2024). Fine-Tuning Artificial Neural Networks to Predict Pest Numbers in Grain Crops: A Case Study in Kazakhstan. *Machine Learning and Knowledge Extraction*, 6 (2), 1154–1169. <https://doi.org/10.3390/make6020054>
25. Amnerkar, P. G., Bawane, K., Raut, M., Bargat, D., Damahe, B., Ande, K. A. (2023). An IoT-Based Solution for Insect Monitoring in Agriculture Using Raspberry Pi and YOLO. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 5 (4). <https://doi.org/10.56726/irjmets36564>
26. Le, A., Pham, D. A., Thanh, D., Vo, H. B. (2024). AlertTrap: A Study on Object Detection in Remote Insect Trap Monitoring System Using on the Edge Deep Learning Platform. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*. <https://doi.org/10.47852/bonviewjccce42023264>
27. Huang, Y., Liu, Z., Zhao, H., Tang, C., Liu, B., Li, Z. et al. (2025). YOLO-YSTs: An Improved YOLOv10n-Based Method for Real-Time Field Pest Detection. *Agronomy*, 15 (3), 575. <https://doi.org/10.3390/agronomy15030575>
28. Zarboubi, M., Bellout, A., Chabaa, S., Dliou, A., Zeroual, A. (2024). IoT-Based Pest Detection in Agriculture Using Raspberry Pi and YOLOv10m for Precision Farming. *ITM Web of Conferences*, 69, 04017. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20246904017>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331740

**DEVISING AN AUTOMATED METHOD FOR
EXPERIMENTAL MEASUREMENT OF THE ROTOR
INERTIA MOMENT IN LOW-POWER ASYNCHRONOUS
GENERATORS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES
(p. 49–58)**

Inna Honcharuk

Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1599-5720>**Valerii Hraniak**

Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6604-6157>**Oleksii Tokarchuk**

Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8036-1743>**Dina Tokarchuk**

Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6341-4452>

The object of this study is the electromechanical transient process in low-power asynchronous generators, suitable for operation in conjunction with renewable energy sources, when applying and removing the supply voltage, as well as the influence of the rotor moment of inertia of a low-power asynchronous generator on the duration of the specified transient process. The study addresses the task of reducing the complexity and duration of the pre-operational testing of the specified equipment.

A new automated method for measuring the rotor moment of inertia has been proposed, which is based on the excitation of the generator under the motor mode of operation by the rated frequency voltage under the conditions of mechanical braking of the rotor. The specified measurement method is characterized by reasonable ac-

curacy, high speed, and is suitable for use under both production and laboratory conditions.

Within the framework of the study, a structural diagram of a technical means that implements the proposed method in practice has been designed; a corresponding mathematical model of the electromechanical system “induction motor – measuring converter” was derived.

A detailed metrological analysis revealed that the methodological error of the proposed method does not exceed 8%, which is acceptable for most applied tasks. A linear relationship between the parameters of the transient process and the characteristics of the electromechanical system was also established, which significantly simplifies the calibration of the device and increases the accuracy and repeatability of the measurement results.

The research results confirm the high efficiency and practical feasibility of using the proposed approach in the field of technical control, maintenance and modernization of electric drive systems. The method could be adapted for a wide range of models of induction motors, as well as integrated into automated equipment condition monitoring systems.

Keywords: rotor moment of inertia, measurement, induction motor, mathematical model, transient process.

References

- Palka, R. (Ed.) (2022). Performance of Induction Machines. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-4786-2>
- Trzynadlowski, A. M. (2001). Control of Induction Motors. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-701510-1.X5000-4>
- Kukharchuk, V., Hraniak, V., Katsyv, S., Holodyuk, V. (2020). Torque measuring channels: dynamic and static metrological characteristics. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 10 (3), 82–85. <https://doi.org/10.35784/iapgoss.2080>
- Gunawan, R., Luniara Siregar, M., Yusivar, F. (2013). The Influence of Moment of Inertia to Induction Motor Rotation in Sensorless Direct Torque Control and Duty Ratio. *Applied Mechanics and Materials*, 313–314, 55–60. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.313-314.55>
- Zeng, H., Xu, J., Yu, C., Li, Z., Zhang, Q., Li, W. (2023). Analysis of equivalent inertia of induction motors and its influencing factors. *Electric Power Systems Research*, 225, 109820. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109820>
- Arjona, M. A., Ramirez, F. A. (2016). An analytical and experimental calculation of the inertia moment of a squirrel-cage induction motor. *Electrical Engineering*, 99 (2), 665–672. <https://doi.org/10.1007/s00202-016-0397-y>
- Szántó, A., Ádámkó, É., Juhász, G., Sziki, G. Á. (2022). Simultaneous measurement of the moment of inertia and braking torque of electric motors applying additional inertia. *Measurement*, 204, 112135. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112135>
- Egorov, A. V., Kozlov, K. E., Belogusev, V. N. (2016) Experimental identification of the electric motor moment of inertia and its efficiency using the additional inertia. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11 (17), 10582–10588.
- Vasilevskyi, O. V. (2013). Researches of metrology descriptions of mean measuring of moment inertia rotors electromotors. *Proceedings of National Aviation University*, 55 (2), 62–67. <https://doi.org/10.18372/2306-1472.55.5416>
- El-Shahat, A. (Ed.) (2023). Induction Motors - Recent Advances, New Perspectives and Applications. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.104031>
- Veselić, K. (2011). Damped Oscillations of Linear Systems. In *Lecture Notes in Mathematics*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-21335-9>
- Abenov, A., Vedmitskiy, Y. G., Kukharchuk, V. V., Hraniak, V. F., Vishtak, I. V., Kacejko, P. (2018). Newton binomial in the generalized Cauchy problem as exemplified by electrical systems. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 153. <https://doi.org/10.1117/12.2501600>
- Boukhniher, M., Djilali, L. (2024). Modeling, Control and Diagnosis of Electrical Machines and Devices. *Energies*, 17 (10), 2250. <https://doi.org/10.3390/en17102250>
- Figliola, R. S., Beasley, D. E. (2019). Theory and Design for Mechanical Measurements. John Wiley & Sons Inc, 592.
- Kukharchuk, V. V., Katsyv, S. Sh., Hraniak, V. F., Madyarov, V. G., Kyivskiy, V. V., Prychepa, I. V. et al. (2020). Analysis of dependency current harmonics on load and filter parameters for asymmetrical network models. *Przegląd Elektrotechniczny*, 96 (9), 103–107. <https://doi.org/10.15199/48.2020.09.22>
- Ladde, A. G., Ladde, G. S. (2012). Introduction to differential equations, an: deterministic modeling, methods and analysis. World Scientific Publishing Company, 544.
- Schott, R., Stacey Staples, G. (2011). Operator Calculus on Graphs. World Scientific. <https://doi.org/10.1142/p843>
- Prudnikov, A. P., Skórník, K. A. (2006). Operational Calculus and Related Topics. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781420011494>
- Hraniak, V. F., Matviychuk, V. A., Kupchuk, I. M. (2022). Mathematical Model and Practical Implementation of Transformer Oil Humidity Sensor. *Electronics ETF*, 26 (1), 3–8. <https://doi.org/10.53314/els2226003h>
- Demerdash, N. A. O., He, J. B., Chen, H. (2025). Electric Machinery and Drives: An Electromagnetics Perspective. Wiley-IEEE Press, 544.
- Hraniak, V., Romanyuk, O., Tishkov, B., Rohach, V. (2024). Intelligent system for diagnosing rotating electric machines. The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies 2024, 218–231. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-3842/paper14.pdf>
- Sziki, G. Á., Szántó, A., Ádámkó, É. (2024). Review of Methods for Determining the Moment of Inertia and Friction Torque of Electric Motors. *Acta Polytechnica Hungarica*, 21 (4), 203–218. <https://doi.org/10.12700/aph.21.4.2024.4.11>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333084

DEVISING AN APPROACH TO CONDUCTING FULL-SCALE EXPERIMENTS IN PHYSICS THAT PROVIDES FOR THE IMPROVED EFFICIENCY WHEN MEASURING PHYSICAL QUANTITIES (p. 59–69)

Bekbolat Medetov

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5594-8435>

Ainur Zhetpisbayeva

L. N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4525-5299>

Tansaule Serikov

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7026-7702>

Botagoz Khamzina

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University,
Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0552-7464>

Ainur Akhmediyarova

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4439-7313>

Asset Yskak

Ghalam LLP, Astana, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1196-3155>

Dauren Zhexebay

Al-Farabi Kazakh National University,
 Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1884-4662>

Nurtay Albanbay

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3393-7380>

The object of this study is a procedure for measuring physical quantities under laboratory conditions at educational institutions. The issue related to this case is the lack of any comprehensive method and technical solution suitable for the experimental study of physics in both offline and online learning formats. To solve this problem, an approach has been proposed, based on computer vision technology and training special neural models to recognize objects in video frames that perform mechanical movement.

The idea of the proposed approach is based on the hypothesis that by measuring the position of an object in video frames with sufficient accuracy, it is possible to determine the functional type of the law of its motion. Further, knowing the function of the law of motion, it is possible to calculate any physical quantities describing the process under consideration. The idea is implemented in the form of a technical solution, which is a set of prototypes of automated laboratory devices.

The choice of the method for determining the law of motion was carried out using the analysis of the recognition error, measurement error, speed and resistance to external conditions of the Hough algorithmic method and the YOLOv8n neural network model. It is shown that the neural network method YOLOv8n has very high accuracy but low performance. The Hough method shows high performance but lower accuracy and resistance to external conditions. It was found that the accuracy of the YOLOv8n method is 4 times higher, but the execution speed is 10 times lower than that of the Hough method. However, in the case of artificial lighting and fixing the distance from the camera to objects, the Hough method provides 99.9% accuracy in recognizing an object in video frames.

The obtained prototypes of devices can be used for further research to determine their impact on the quality of physics education.

Keywords: video processing, laboratory setups, YOLOv8n, Hough method, computer vision, online learning.

References

1. Illeperuma, G. D., Sonnadara, D. U. J. (2017). Computer vision based object tracking as a teaching aid for high school physics experiments. 2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), 1–6. <https://doi.org/10.1109/eeesi.2017.8239112>
2. Singh, L., Gupta, A., Nigam, A. (2022). Vibration analysis of simple pendulum using computer vision method. *Journal of Mechanics and Design*, 06 (1), 11–18.
3. Guedri, B., Guedri, N., Gharbi, R. (2023). A New Approach for Real-Time Camera-Object Distance Measurement Through Computer Vision. 2023 IEEE Third International Conference on Signal, Control and Communication (SCC), 1–5. <https://doi.org/10.1109/scc59637.2023.10527537>
4. Pattanashetty, K. C., Kumar, R., Pandian, S. R. (2016). Web-based physics experiments in dynamics using image processing. 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), 1–5. <https://doi.org/10.1109/icpeices.2016.7853575>
5. Nakagawa, G., Fujii, K. (2017). A Learning Material for Physics Experiment with High-Accuracy Using Computer Vision Technique. 2017 5th Intl Conf on Applied Computing and Information Technology/4th Intl Conf on Computational Science/Intelligence and Applied Informatics/2nd Intl Conf on Big Data, Cloud Computing, Data Science (ACIT-CSII-BCD), 86–89. <https://doi.org/10.1109/acit-csii-bcd.2017.71>
6. Martín-Ramos, P., Gomes, M. S. M. N. F., Silva, M. R. (2018). Newton's cradle. *Proceedings of the Sixth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality*, 71–77. <https://doi.org/10.1145/3284179.3284195>
7. Bogdan, G., Ovidiu, T., Cristina, M., Ștefan, A. (2024). Digital electricity experiments with Raspberry Pi. *Romanian Reports in Physics*, 76 (4), 905–905. <https://doi.org/10.59277/romrepphys.2024.76.905>
8. Çoban, A., Akat, E., Erdoğan, A. C. (2022). Two different experiments with the rope-attached sphere by using Arduino. *Physics Education*, 58 (1), 015022. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aca19d>
9. Bach, R. A., Trantham, K. W. (2007). Automated two-dimensional position measurements with computer vision. *American Journal of Physics*, 75 (1), 48–52. <https://doi.org/10.1119/1.2348892>
10. Khatri, P., Chhatre, U., Kadge, S. (2021). Visual Vibration Analysis of Vibrating Object at Low Frequency. 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT), 1–5. <https://doi.org/10.1109/i2ct51068.2021.9418210>
11. Cheng, L., Niu, W.-C., Zhao, X.-G., Xu, C.-L., Hou, Z.-Y. (2021). Design and implementation of college physics teaching platform based on virtual experiment scene. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 62 (1), 73–86. <https://doi.org/10.1177/0020720920984688>
12. Hough Line Transform. Available at: https://docs.opencv.org/4.x/d6/d10/tutorial_py_houghlines.html
13. Python Usage. Available at: <https://docs.ultralytics.com/usage/python/>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.330655

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ АПАРАТІВ З КОНДЕНСАТОРНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ ПРИ КОНТРОЛІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІД РОБОЧОЮ НАПРУГОЮ (с. 6–16)

О. А. Сахно, К. В. Одіяка, Л. С. Скрупська

Об'єкт дослідження – конденсаторна ізоляція високовольтних електричних апаратів та елементи схеми її захисту від перенапруг, при обриві кабелю до пристрою контролю технічного стану ізоляції під робочою напругою.

Робота присвячена дослідженню перенапруг, що можуть спричинити пошкодження високовольтних апаратів з конденсаторною ізоляцією (вводи та вимірювальні трансформатори струми), обладнаних засобами контролю технічного стану ізоляції під робочою напругою. Такі перенапруги можуть виникати внаслідок пошкодження кабелю від вимірювального виводу ізоляції апарату та/або в наслідок грозових та комутаційних перенапруг на шинах розподільчого пристрою. Проблема зумовлена недостатньою увагою виробників обладнання та дослідників до схем захисту ізоляції апаратів при організації контролю її стану під робочою напругою. Також проблема погіршується відсутністю вимог нормативних документів до таких схем при зростанні числа впроваджень засобів контролю стану ізоляції апаратів під робочою напругою в останні роки.

В роботі наведено результати моделювання перенапруг, що можуть впливати на ізоляцію апаратів з конденсаторною ізоляцією. Наведено результати температурних випробувань комплексного захисного резистору. Обґрунтовано паралельне використання резистору та конденсатору у якості основних елементів захисту. Така схема дозволить обмежити миттєве значення перенапруги для більшості апаратів на рівні не більше 1.6 кВ, навіть без використання додаткових елементів захисту, таких як, наприклад, варистори чи розрядники. Розроблено методику та рекомендації по підбору захисних елементів та перевірки відповідності їх характеристик апарату, якій вони повинні захищати, як у номінальному режимі роботи, так й за наявності високократотних перенапруг.

Ключові слова: конденсаторна ізоляція, вимірювальний вивід, контроль під робочою напругою.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331607

РОЗРОБКА ТА ОЦІНКА ПІДХОДІВ ДО УПРАВЛІННЯ РАДІОЧАСТОТАМИ ДЛЯ СТРАТОСФЕРНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ (с. 17–29)

Askar Abdykadyrov, Mukhit Abdullayev, Ainur Kuttybayeva, Kalmukhamed Tazhen, Nurlan Kystaubayev, Muratbek Yermekbayev, Tatyana Mechsheryakova, Altynkul Turebekova, Nurlan Sarsenbayev

Об'єктом дослідження є методи управління радіочастотними ресурсами в стратосферних системах зв'язку на базі висотних платформних станцій (ВПС). Розглянута проблема полягає в обмеженому радіочастотному спектрі, перекритті частот з мережами п'ятого та шостого поколінь (5G/6G) та високої ймовірності перешкод, що ускладнюють ефективне використання та координацію спектру. Отримані результати свідчать про те, що в межах частотних діапазонів, рекомендованих Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ) – 21,4–22,0 ГГц, 24,25–27,5 ГГц, 47,2–47,5 ГГц та 47,9–48,2 ГГц – ймовірність перешкод сягає 70% у діапазоні 27,5–28,35 ГГц. Завдяки застосуванню технології когнітивного радіо (КР) рівні перешкод знизилися на 60%, а ефективність використання спектру зросла на 35%. Динамічний доступ до спектру (ДДС) покращив ефективність використання спектру на 30–45%, тоді як методи спільного використання спектру підвищили її на 40–60%. Короткий опис результатів показує, що запропоновані підходи до управління значно підвищують ефективність використання радіочастотного ресурсу та суттєво зменшують перешкоди. Наприклад, при смузі пропускання 100 МГц та співвідношенні сигнал/шум 10 пропусканна здатність каналу досягла приблизно 332 Мбіт/с. Відмінними рисами результатів є комплексне використання сучасних технологій, які ефективно вирішують проблеми дефіциту спектру та перешкод, забезпечуючи сумісність ВПС з існуючими наземними та супутниковими системами зв'язку. Запропоновані підходи придатні для впровадження в міжнародних та національних рамках координації та ліцензування спектру, спрямованих на розширення широкосмугового зв'язку в недостатньо обслуговуваних регіонах.

Ключові слова: стратосферний зв'язок, ВПС, спектр, перешкоди, 5G, 6G, частота, інтеграція, управління, телекомунікації.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.327590

РОЗРОБКА ПАСИВНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ З ПЕРФОРОВАНИМИ ПЛАСТИНАМИ ТА МОНІТОРИНГОМ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ (с. 30–38)

Armin Sofijan, Riman Sipahutar, Wirawan Adi Pradana, Baginda Oloan Siregar, Irwin Bizzy, Siti Sailah, Feby Ardianto, Surya Darma, Ananda Putri Kamila, Vina Alya Dhafia

Це дослідження зосереджене на підвищенні продуктивності фотоелектричних (ФЕ) модулів шляхом розробки пасивного методу охолодження з використанням перфорованих алюмінієвих пластин, що підтримується системою моніторингу в режимі реального часу. Основною проблемою є теплова неефективність фотоелектричних модулів, що працюють у спекотному, вологому середовищі, де накопичення тепла знижує вихід енергії. Система збору даних в реальному часі була розроблена з

використанням Arduino для моніторингу напруги, струму, температури поверхні, вологості та сонячного випромінювання. Було протестовано чотири ідентичні полікристалічні фотомодулі; три з них були оснащені алюмінієвими пластинами з різним діаметром перфорації (10 мм, 12,5 мм, 15 мм), а один залишився неохолоджуваним в якості контролю. Результати показали, що модуль з перфорацією 15 мм мав найкращу продуктивність, досягнувши 61,04 Вт при піковому опроміненні (1404 Вт/м^2) і знизивши температуру поверхні майже на 10°C . Ці результати демонструють, що посилення природної конвекції та випаровування завдяки більшій перфорації значно покращило терморегуляцію. Синхронізована система моніторингу підтвердила залежність між температурою та потужністю, зафіксувавши динаміку навколишнього середовища в режимі реального часу. Завдяки своїй енергонезалежності, низькій вартості та простоті, це інтегроване рішення особливо підходить для тропічних регіонів або автономних установок. Отримані результати створюють практичну основу для масштабованого розгортання пасивного охолодження в фотоелектричних системах, особливо там, де активне охолодження є неможливим.

Ключові слова: пасивне охолодження, перфорована алюмінієва пластина, моніторинг в реальному часі, ефективність використання сонячної енергії, природна конвекція, терморегуляція.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331285

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЄМ РОЗПІЗНАВАННЯ ХЛІБНОЇ СМУГастої БЛІШКИ (*PHYLLOTRETA VITTULA*) (с. 39–48)

Akerke Akanova, Galiya Anarbekova, Mira Kaldarova, Nazira Ospanova, Saltanat Sharipova

Об'єктом дослідження є автономний пристрій на Raspberry Pi для розпізнавання шкідників у реальному часі. Вирішувана проблема полягає у відсутності доступних, енергоефективних та автономних рішень для роботи в польових умовах без підключення до інтернету.

Представлено розробку інтелектуального пристрою для моніторингу шкідника. Пристрій орієнтований на автоматичне розпізнавання хлібної смугастої блішки (*Phyllotreta vittula*) у посівах зернових культур. В результаті дослідження створено систему на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4.0 з використанням бібліотеки OpenCV та моделі YOLO. Пристрій виконує обробку відеопотоку, ідентифікує шкідників та зберігає дані локально. Система забезпечує високу точність при низькому енергоспоживанні. Це стало можливим завдяки легкій нейромережевій архітектурі та оптимізованій обробці зображень. Відмінною особливістю рішення є автономність, мобільність та стійкість до умов змінного освітлення. Система також працює при обмежених обчислювальних ресурсах. Отримані результати демонструють, що пристрій може бути ефективно використаний у системах точного землеробства та наукових установках. Пристрій допомагає виявляти шкідника та приймати агротехнічні рішення на ранніх стадіях зараження. Розробка може бути адаптована під інші види шкідників з мінімальними змінами в моделі. У перспективі система може бути інтегрована в ширші платформи агромоніторингу з можливістю передачі даних у хмару. Практичне застосування пристрою можливе як у великих господарствах, так і на приватних фермах. Особливо актуальна розробка для регіонів з обмеженою технічною інфраструктурою.

Ключові слова: штучний інтелект, Raspberry Pi, YOLO, OpenCV, моніторинг шкідників, сільське господарство, комп'ютерний зір.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.331740

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО МЕТОДУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ РОТОРА МАЛОПОТУЖНИХ АСИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ (с. 49–58)

I. В. Гончарук, В. Ф. Грняк, О. А. Токарчук, Д. М. Токарчук

Об'єктом дослідження є електромеханічний перехідний процес малопотужних асинхронних генераторів, придатних для роботи сумісно з відновлювальними джерелами енергії, при подачі та знятті напруги живлення, а також вплив моменту інерції ротора малопотужного асинхронного генератора на тривалість зазначеного перехідного процесу. В дослідженні вирішується проблема зменшення трудомісткості та тривалості перед експлуатаційного випробування зазначеного обладнання.

Запропоновано новий автоматизований метод вимірювання моменту інерції ротора, що ґрунтується на збудженні генератора у двигунному режимі роботи напругою номінальної частоти за умов механічного гальмування ротора. Зазначений метод вимірювання характеризується достатньою точністю, високою швидкістю та є придатним для використання як у виробничих, так і лабораторних умовах.

У межах дослідження розроблено структурну схему технічного засобу, що реалізує запропонований метод на практиці, а також отримано відповідну математичну модель електромеханічної системи «асинхронна машина – вимірювальний перетворювач».

Проведений детальний метрологічний аналіз показав, що методична похибка запропонованого методу не перевищує 8%, що є прийнятним для більшості прикладних задач. Також встановлено лінійну залежність між параметрами перехідного процесу та характеристиками електромеханічної системи, що суттєво спрощує калібрування пристрою та підвищує точність і повторюваність результатів вимірювання. Отримані результати дослідження підтверджують високу ефективність і практичну доцільність застосування запропонованого підходу у сфері технічного контролю, обслуговування й модернізації систем електроприводу. Метод може бути адаптований для широкого спектра моделей асинхронних машин, а також інтегрований у системи автоматизованого моніторингу стану обладнання.

Ключові слова: момент інерції ротора, вимірювання, асинхронна машина, математична модель, перехідний процес.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.333084**РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ФІЗИКИ, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН (с. 59–69)****Bekbolat Medetov, Ainur Zhetpisbayeva, Tansaule Serikov, Botagoz Khamzina, Ainur Akhmediyarova, Asset Yskak, Dauren Zhexebay, Nurtay Albanbay**

Об'єктом даного дослідження є процедура вимірювання фізичних величин у лабораторних умовах навчальних закладів. Проблема, що виникає при цьому, пов'язана з відсутністю будь-якого комплексного методу й технічного рішення, придатного для експериментального вивчення фізики як в офлайн-, так і в онлайн-форматах навчання. Для вирішення цих задач запропоновано підхід, заснований на технології комп'ютерного зору та навчанні спеціальних нейронних моделей для розпізнавання об'єктів на відеокадрах, які здійснюють механічний рух.

Ідея запропонованого підходу ґрунтується на гіпотезі, що, вимірюючи положення об'єкта на відеокадрах із достатньою точністю, можна визначити функціональний вигляд закону його руху. Далі, знаючи функцію закону руху, можна обчислити будь-які фізичні величини, що описують відповідний процес. Ідею реалізовано у вигляді технічного рішення, що являє собою набір дослідних зразків автоматизованих лабораторних пристроїв.

Вибір методу визначення закону руху здійснювався за допомогою аналізу похибки розпізнавання, вимірювальної похибки, швидкодії та стійкості до зовнішніх умов для алгоритмічного методу Хафа та нейромережевої моделі YOLOv8n. Показано, що нейромережевий метод YOLOv8n має дуже високу точність, але низьку швидкодію. Метод Хафа демонструє високу швидкодію, але меншу точність і стійкість до зовнішніх умов. Встановлено, що точність методу YOLOv8n у 4 рази вища, проте швидкість виконання – у 10 разів нижча, ніж у методу Хафа. Проте в умовах штучного освітлення та фіксації відстані від камери до об'єктів метод Хафа забезпечує 99,9% точності розпізнавання об'єкта на відеокадрах.

Отримані дослідні зразки пристроїв можуть бути застосовані для подальших досліджень щодо визначення їх впливу на якість навчання фізики.

Ключові слова: обробка відео, лабораторні установки, YOLOv8n, метод Хафа, комп'ютерний зір, онлайн-навчання.