

## ABSTRACT AND REFERENCES

## APPLIED PHYSICS

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292691

**INCREASING THE ACCURACY OF ELECTROSTATIC FIELD STRENGTH MEASUREMENT BY USING AN IMPROVED DIFFERENTIAL TRANSIMPEDANCE AMPLIFIER CIRCUIT (p. 6–14)****Oleksandr Povshenko**National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2998-5950>**Viktor Bazhenov**National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8858-4412>**Olha Pazdrii**National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8970-5079>**Halyna Bohdan**National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, UkraineORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6745-1509>

An electrostatic field mill (EFM) is widely used to measure the strength of electrostatic fields, the main drawback of which is the occurrence of large measurement errors (up to 15 % in the range from 0 to 1 kV/m).

This paper examines the aspects of using transimpedance amplifiers (TIAs) for the tasks of converting the current received from the EFM sensor into voltage, which will make it possible to reduce the instrumental error and ensure the linearity of the atmospheric electrostatic field strength measurement. In the general case, for the functional circuits of the electrostatic field mill, which include a differential transimpedance amplifier, there is the use of two TIA circuits, which are connected in parallel. Despite the simplicity of implementation, such a configuration contains a number of disadvantages and is not optimal. In the paper, a comparative analysis of a typical circuit of a differential TIA and a circuit of an ungrounded differential transimpedance amplifier with zero voltage drop proposed by the authors is carried out.

As a result of the analysis, it was established that the designed authentic circuit of the ungrounded differential transimpedance amplifier with zero voltage drop has better parameters of linearity and interference resistance, in contrast to the generally accepted one. The value of the signal-to-noise ratio for the proposed scheme improved by 42 % on average compared to the typical one. The main difference of the proposed scheme is that the stability of the amplification factor is ensured, the influence of the bias parameters of the operational amplifier is leveled, and the overall noise level is reduced. The use of the designed scheme of an ungrounded differential transimpedance amplifier with zero voltage drop could make it possible to increase the accuracy of the measurement of the electrostatic field strength.

**Keywords:** atmospheric electric field, electrostatic field strength, electrostatic field mill, transimpedance amplifier.

**References**

- Swenson, J. A., Beasley, W. H., Byerley, L. G., Bogoev, I. G. (2006). Pat. No. US7256572B2. Electric-field meter having current compensation. Available at: <https://patents.google.com/patent/US7256572B2/en?q=US+7.256%2c572>
- Slocum, C. D. (1976). Pat. No. US4095221A. Electrical storm forecast system. Available at: <https://patents.google.com/patent/US4095221A/en?q=US+4%27095%27221>
- Wells, T. J., Elliott, R. S. (2003). Pat. No. US6982549B1. Micro-electrometer. Available at: <https://patents.google.com/patent/US6982549B1/en?q=US+6%27982%27549>
- Antunes de Sá, A., Marshall, R., Sousa, A., Viets, A., Deierling, W. (2020). An Array of Low-Cost, High-Speed, Autonomous Electric Field Mills for Thunderstorm Research. *Earth and Space Science*, 7 (11). doi: <https://doi.org/10.1029/2020ea001309>
- Yamashita, K., Fujisaka, H., Iwasaki, H., Kanno, K., Hayakawa, M. (2022). A New Electric Field Mill Network to Estimate Temporal Variation of Simplified Charge Model in an Isolated Thundercloud. *Sensors*, 22 (5), 1884. doi: <https://doi.org/10.3390/s22051884>
- Wilson, J. G., Cummins, K. L. (2021). Thunderstorm and fair-weather quasi-static electric fields over land and ocean. *Atmospheric Research*, 257, 105618. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105618>
- Emersic, C., Saunders, C. P. R. (2020). The influence of supersaturation at low rime accretion rates on thunderstorm electrification from field-independent graupel-ice crystal collisions. *Atmospheric Research*, 242, 104962. doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104962>
- Korovin, E. A., Gotyur, I. A., Kuleshov, Y. V., Shchukin, G. G. (2019). Lightning discharges registration by the electric field mill. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 698 (4), 044047. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/698/4/044047>
- Chubb, J., Harbour, J. (2010). 'Operational health' monitoring for confidence in long term electric field measurements. *Journal of Electrostatics*, 68 (5), 469–472. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2010.07.001>
- Cui, Y., Yuan, H., Song, X., Zhao, L., Liu, Y., Lin, L. (2018). Model, Design, and Testing of Field Mill Sensors for Measuring Electric Fields Under High-Voltage Direct-Current Power Lines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65 (1), 608–615. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2017.2719618>
- Bateman, M. G., Stewart, M. F., Podgorny, S. J., Christian, H. J., Mach, D. M., Blakeslee, R. J. et al. (2007). A Low-Noise, Microprocessor-Controlled, Internally Digitizing Rotating-Vane Electric Field Mill for Airborne Platforms. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 24 (7), 1245–1255. doi: <https://doi.org/10.1175/jtech2039.1>
- Povshenko, O., Bazhenov, V. (2023). Analysis of modern atmospheric electrostatic field measuring instruments and methods. *Technology Audit and Production Reserves*,

- 4 (1 (72)), 16–24. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.285963>
13. Chu, Z., Peng, C., Ren, R., Ling, B., Zhang, Z., Lei, H., Xia, S. (2018). A High Sensitivity Electric Field Microsensor Based on Torsional Resonance. *Sensors*, 18 (1), 286. doi: <https://doi.org/10.3390/s18010286>
  14. Lemonou, A., Agorastou, Z., Noulis, T., Siskos, S. (2022). Low Noise-Low Power Transimpedance Amplifier Design for Electric Field Sensing. 2022 Panhellenic Conference on Electronics & Telecommunications (PACET). doi: <https://doi.org/10.1109/pacet56979.2022.9976379>
  15. Agorastou, Z., Noulis, T., Siskos, S. (2022). Analog Sensor Interface for Field Mill Sensors in Atmospheric Applications. *Sensors*, 22 (21), 8405. doi: <https://doi.org/10.3390/s22218405>
  16. Agorastou, Z., Michailidis, A., Lemonou, A., Themeli, R., Noulis, T., Siskos, S. (2023). Integrated Filter Design for Analog Field Mill Sensor Interface. *Sensors*, 23 (7), 3688. doi: <https://doi.org/10.3390/s23073688>
  17. Bazhenov, V., Povcshenko, O. (2023). Methodological features of calculating errors in the measurement of electrostatic field strength. *Bulletin of Kyiv Polytechnic Institute. Series Instrument Making*, 65 (1), 65–72. doi: [https://doi.org/10.20535/1970.65\(1\).2023.283358](https://doi.org/10.20535/1970.65(1).2023.283358)
  18. Demirtaş, M., Erişmiş, M. A., Güneş, S. (2020). Analysis and design of a transimpedance amplifier based front-end circuit for capacitance measurements. *SN Applied Sciences*, 2 (2). doi: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2104-x>
  19. Noh, J.-H. (2020). Frequency-Response Analysis and Design Rules for Capacitive Feedback Transimpedance Amplifier. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69 (12), 9408–9416. doi: <https://doi.org/10.1109/tim.2020.3006325>
  20. Thandri, B. K., Silva-Martinez, J. (2006). An overview of feed-forward design techniques for high-gain wideband operational transconductance amplifiers. *Microelectronics Journal*, 37 (9), 1018–1029. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mejo.2006.02.003>
  21. Rezaei, I., Khani, A. A. M., Dadgar, M., Attar, M. (2023). Fully active frequency compensation analysis on multi-stages CMOS amplifier. *Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems*, 5, 100068. doi: <https://doi.org/10.1016/j.memori.2023.100068>
  22. Bendre, V. S., Kureshi, A. K. (2017). An Overview of Negative Feedback Compensation Techniques for Operational Transconductance Amplifiers. 2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA). doi: <https://doi.org/10.1109/iccubea.2017.8463683>

DOI: [10.15587/1729-4061.2023.292187](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292187)

**DESIGNING TOOLS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF ELECTRIC MOTOR TORQUE MEASUREMENTS BY USING IDENTIFIERS OF ANOMALOUS DEVIATIONS IN A NOISY SIGNAL SYSTEM (p. 15–25)**

**Volodymyr Kvasnikov**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6525-9721>

**Dmytro Kvashuk**

National Aviation University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4591-8881>

**Mykhailo Prygara**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0954-4480>

**Jaroslav Legeta**

Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2579-3671>

The problem of the reliability of measurements of rotational parameters of electric motors was solved, which was focused on the development of an algorithm for evaluating measurements under conditions of additional noise. An analysis of methodological approaches and mathematical tools used to process and interpret the uncertainty of measurement results was carried out. Cases where they may not be effective due to high noise levels were considered. To detect anomalies in the signal, an algorithm for assessing the reliability of measurements using fuzzy logic was proposed. A structural diagram of the model for measuring the torque of an electric motor under the conditions of a noisy signal was developed, where transfer functions were used to model the angular velocity and torque parameters. A method for detecting anomalies in noisy signals is presented, which identifies the amplitude and time characteristics of spiking pulses. The method includes the application of a wide range of analytical tools for deep analysis of signals and is particularly effective for detecting anomalies that may be hidden in background noise. A prototype of a measuring bench was developed, which uses neural networks to detect anomalies when measuring the rotational parameters of electric motors, which made it possible to obtain a training sample using a sample electric motor and apply it to evaluate the parameters of another electric motor. In a practical aspect, the developed methods and technological solutions for improving the reliability of measurements of rotational parameters of electric motors could be used to make corrections in existing systems. In particular, they could be used in industry, electric transport, as well as in the aerospace and military sectors where the reliability of measuring systems is important.

**Keywords:** assessment procedure, torque, electric motor parameters, neural network, fuzzy logic.

## References

1. Xin, Q.-Y., Pei, Y.-C., Luo, M.-Y., Wang, Z.-Q., He, L., Liu, J.-Y. et al. (2023). A generalized precision measuring mechanism and efficient signal processing algorithm for the eccentricity of rotary parts. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 204, 110791. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110791>
2. Gan, C., Wu, J., Sun, Q., Kong, W., Li, H., Hu, Y. (2018). A Review on Machine Topologies and Control Techniques for Low-Noise Switched Reluctance Motors in Electric Vehicle Applications. *IEEE Access*, 6, 31430–31443. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2837111>

3. Hovda, S. (2018). Automatic detection of abnormal torque while reaming. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 166, 13–24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.02.050>
4. Kükre, O., İnce, E. A. (2023). Frequency estimation of multiple complex sinusoids using noise suppressing predictive FIR filter. *Digital Signal Processing*, 143, 104235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsp.2023.104235>
5. Herrera, M. R. S., Márquez, J. M. A., Borrero, A. M., Sánchez, M. A. M. (2013). Testing Bench for Remote Practical Training in Electric Machines. *IFAC Proceedings Volumes*, 46 (17), 357–362. doi: <https://doi.org/10.3182/20130828-3-uk-2039.00076>
6. Avramenko, V. V., Konoplyanchenko, A. E., Prohnenko, Yu. I. (2016). Recognition of the reference signals at interference generation and loss at random times. *ScienceRise*, 3 (2 (20)), 38–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.64500>
7. Avramenko, V. V., Slepshko, N. Ju. (2009). Raspoznavanie etalonnyh signalov pri nepolnoy informacii o harakteristikah pomeh. *Vestnik SumGU. Tehnicheskie nauki*, 3, 13–19.
8. Li, P., Pei, Y., Li, J. (2023). A comprehensive survey on design and application of autoencoder in deep learning. *Applied Soft Computing*, 138, 110176. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110176>
9. Gao, Y., Cheong, B., Bozhko, S., Wheeler, P., Gerada, C., Yang, T. (2023). Surrogate role of machine learning in motor-drive optimization for more-electric aircraft applications. *Chinese Journal of Aeronautics*, 36 (2), 213–228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2022.08.011>
10. Python Control Systems Library (Version 0.9.4). Available at: <https://python-control.readthedocs.io/en/0.9.4/>
11. Tran, M., Amer, M., Dababat, A., Abdelaziz, A. Y., Dai, H.-J., Liu, M.-K., Elsis, M. (2023). Robust fault recognition and correction scheme for induction motors using an effective IoT with deep learning approach. *Measurement*, 207, 112398. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112398>
12. Rahman, T. A. Z., Chek, L. W., Ramli, N. (2022). Intelligent Vibration-based Anomaly Detection for Electric Motor Condition Monitoring. Conference: 2022 9th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS2022). Available at: [https://www.researchgate.net/publication/357459169\\_Intelligent\\_Vibration-based\\_Anomaly\\_Detection\\_for\\_Electric\\_Motor\\_Condition\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/357459169_Intelligent_Vibration-based_Anomaly_Detection_for_Electric_Motor_Condition_Monitoring)
13. Mian, T., Choudhary, A., Fatima, S., Panigrahi, B. K. (2023). Artificial intelligence of things based approach for anomaly detection in rotating machines. *Computers and Electrical Engineering*, 109, 108760. doi: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108760>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293206

**SYNTHESIS OF TWO-MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEMS WITH CASCADE CONNECTION OF FRACTIONAL-ORDER CONTROLLERS (p. 26–35)**

**Bohdan Kopchak**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2705-8240>

**Andrii Kushnir**

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6946-8395>

**Inna Onoshko**

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5793-1680>

**Sergiy Vovk**

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5278-3754>

The research focused on two-mass electromechanical systems widely utilized in industry. The challenge addressed in this work was to improve the synthesis of controllers for such systems to simplify it and enhance the quality of transition processes. Traditionally, the synthesis of control system loops for these systems was carried out using integer controllers and standard forms. However, this approach led to the synthesis of complex integer controllers that are difficult to implement. To overcome this issue, an original approach to the synthesis of control system loops based on the fractional characteristic polynomial is proposed. The fractional characteristic polynomial ensures the desired quality of the transition process given the implementation of a specified structure of the fractional controller. A new method of structural-parametric synthesis of fractional-order controllers is developed for the case of their cascade connection in multi-loop two-mass electromechanical systems. Additionally, an algorithm for synthesizing fractional-order controllers for the corresponding control loops is presented. This enabled the structural-parametric synthesis of fractional-order controllers for a two-mass electromechanical system with the cascade connection of controllers. Such an approach provides better quality of transition processes compared to classical integer controllers, simplifies the synthesis, and thereby enhances the quality of the synthesized systems. The impact of the synthesized fractional-order controllers using the proposed approach on the dynamic properties of the two-mass «thyristor converter – motor» system was investigated. The research results demonstrated the practical applicability of fractional controllers designed using the proposed method for the synthesis of automatic control systems of two-mass electromechanical systems in the industry.

**Keywords:** two-mass electromechanical system, fractional-order controllers, fire lift.

**References**

1. Rusek, A., Shchur, I., Lis, M., Klatow, K., Gastolek, A., Sosnowski, J. (2015). Mathematical model for analysis of dynamical states of a drive system containing rolling mill and roller table including the selected parameters of a rolling process. 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). doi: <https://doi.org/10.1109/epe.2015.7161122>
2. Kuznetsov, B., Bovdai, I., Nikitina, T., Kolomiets, V., Kobylanskyi, B. (2020). Multiobjective Parametric Synthesis of Robust Control by Rolling Mills Main Electric Drives. 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive.

- Theory and Practice (PAEP). doi: <https://doi.org/10.1109/paep49887.2020.9240860>
3. Pan, Z., Feng, Y., Bu, F., Zhang, D., Lu, Y., Yang, Z. (2020). Anti-Impact Strategy of PMSM-Based Tension Control System for Flexible Rope Applications. 2020 XI International Conference on Electrical Power Drive Systems (ICEPDS). doi: <https://doi.org/10.1109/icepds47235.2020.9249359>
  4. Ramirez A., G., Valenzuela, M. A., Pittman, S., Lorenz, R. D. (2019). Modeling and Evaluation of Paper Machine Coater Sections Part 1: 1-Coater Section and Tension Setpoints. IEEE Transactions on Industry Applications, 55 (2), 2144–2154. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2018.2878689>
  5. Marushchak, Ya. Yu. (2005). Syntez elektromekhanichnykh system z poslidovnym ta paralelnym korehuvanniam. Lviv: NU LP, 208.
  6. Kopchak, B., Marushchak, Y., Kushnir, A. (2019). Devising a procedure for the synthesis of electromechanical systems with cascade-enabled fractional-order controllers and their study. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (2 (101)), 65–71. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177320>
  7. Kopchak, B., Kushnir, A., Kravets, I. (2018). Synthesis of fractional order controllers for multi-lupp control structure of fire lift basket turning. Fire Safety, 33, 65–72. doi: <https://doi.org/10.32447/20786662.33.2018.09>
  8. Lozynskyy, A., Chaban, A., Perzyński, T., Szafraniec, A., Kasha, L. (2021). Application of Fractional-Order Calculus to Improve the Mathematical Model of a Two-Mass System with a Long Shaft. Energies, 14 (7), 1854. doi: <https://doi.org/10.3390/en14071854>
  9. Arya, P. P., Chakrabarty, S. (2020). A Robust Internal Model-Based Fractional Order Controller for Fractional Order Plus Time Delay Processes. IEEE Control Systems Letters, 4 (4), 862–867. doi: <https://doi.org/10.1109/lcsys.2020.2994606>
  10. Yumuk, E., Güzelkaya, M., Eksin, İ. (2020). Optimal fractional-order controller design using direct synthesis method. IET Control Theory & Applications, 14 (18), 2960–2967. doi: <https://doi.org/10.1049/iet-cta.2020.0596>
  11. Xu, S., Sun, G., Cheng, Z. (2017). Fractional order modeling and residual vibration suppression for flexible two-mass system. 2017 29<sup>th</sup> Chinese Control And Decision Conference (CCDC). doi: <https://doi.org/10.1109/ccdc.2017.7979140>
  12. Lozynskyy, A., Lozynskyy, O., Kasha, L., Holovach, I. (2020). Analysis Of Fractional Derivatives And Integrals Application with Caputo-Fabrizio Operator In Electromechanical Systems. 2020 IEEE 21<sup>st</sup> International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). doi: <https://doi.org/10.1109/cpee50798.2020.9238749>
  13. Erenturk, K. (2013). Fractional-Order  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  and Active Disturbance Rejection Control of Nonlinear Two-Mass Drive System. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 60 (9), 3806–3813. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2012.2207660>
  14. Pradeep, M., Sharmila, B., Devasena, D., Srinivasan, K. (2018). PID and  $PI^{\lambda}D^{\mu}$  Controller Implementation for Speed Control Analysis of Two Mass Drive System. 2018 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). doi: <https://doi.org/10.1109/iccsp.2018.8524203>
  15. Dzieliński, A., Sierociuk, D., Sarwas, G. (2010). Some applications of fractional order calculus. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, 58 (4). doi: <https://doi.org/10.2478/v10175-010-0059-6>
  16. Calderon, A. J., Vinagre, B. M., Feliu, V. (2003). Fractional sliding mode control of a DC-DC buck converter with application to DC motor drives. In Proceedings of ICAR 2003 The 11th International Conference on Advanced Robotics, 252–257. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Calderon-4/publication/228914186\\_Fractional\\_sliding\\_mode\\_control\\_of\\_a\\_DC-DC\\_buck\\_converter\\_with\\_application\\_to\\_DC\\_motor\\_drives/links/53f1d6540cf2711e0c4606de/Fractional-sliding-mode-control-of-a-DC-DC-buck-converter-with-application-to-DC-motor-drives.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Calderon-4/publication/228914186_Fractional_sliding_mode_control_of_a_DC-DC_buck_converter_with_application_to_DC_motor_drives/links/53f1d6540cf2711e0c4606de/Fractional-sliding-mode-control-of-a-DC-DC-buck-converter-with-application-to-DC-motor-drives.pdf)
  17. Kopchak, B. (2016). Development of fractional order differential-integral controller by using Oustaloup transformation. 2016 XII International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). doi: <https://doi.org/10.1109/memstech.2016.7507521>

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.295101**

**DESIGNING AND TESTING A PROTOTYPE OF OPTICAL-ELECTRONIC STATION FOR DETECTING AND TRACKING MOVING OBJECTS IN THE AIR (p. 36–42)**

**Ihor Shostko**

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5612-3080>

**Andriy Tevyashev**

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5261-9874>

**Oleg Zemlyaniy**

O. Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics  
of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0271-722X>

**Dmytro Tsubulnikov**

Kharkiv National University  
of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5658-6862>

The object of this study is the process of detection and tracking of air targets.

The task being solved is to choose priorities between hardware and software solutions to eliminate structural contradictions in the design of a supporting and rotating device, which at the same time should ensure high speed and accuracy of tracking aerial objects for the optical-electronic station.

A prototype of an optical-electronic station was designed and built. The study of the effect of eliminating structural contradictions by hardware and software methods on the accuracy characteristics of the supporting and rotating device was carried out. We have developed original specialized software for testing the accuracy of command execution.



A procedure for testing the optical-electronic station has been devised. All conducted tests were performed in compliance with accepted norms and standards.

The mechanism of influence of the method of controlling the servo drives of the supporting and rotating device on the characteristics of the optical-electronic station has been established. In this case, the program method has priority. In contrast to existing solutions, the developed software method of controlling the support-turning device makes it possible to exclude stops at the limits of the servo control period and to realize a smooth transition to a new value of the tracking speed. Owing to the improvement of forecasting and synchronization of servo parameters with the period of its control, it was possible to solve the investigated problem by the software method.

The mechanism of influence of the inertia of the supporting and rotating device on the characteristics of the optical-electronic station has been established. In this case, the hardware method has priority.

The results could be used to improve the characteristics of optical-electronic stations in the detection and high-precision tracking of moving objects in the air environment.

**Keywords:** optical-electronic station, supporting and rotating device, control of servo drives, software method.

#### References

- Hepworth, J. H., Mouton, H. D. (2019). Systems Development of a Two-Axis Stabilised Platform to Facilitate Astronomical Observations from a Moving Base. 2019 Southern African Universities Power Engineering Conference/Robotics and Mechatronics/Pattern Recognition Association of South Africa (SAUPEC/RobMech/PRASA). doi: <https://doi.org/10.1109/robomech.2019.8704853>
- Liang, Y., Pan, S Chen, L. (2023). Design of Optoelectronic Tracking Platform Driven by Ultrasonic Motor with a Novel Limiter. *Micromachines*, 14 (11), 2067. doi: <https://doi.org/10.3390/mi14112067>
- Zhang, B., Wang, Z., Wang, T. (2019). Development of two-axis non-magnetic turntable based on ultrasonic motor. *Advances in Mechanical Engineering*, 11 (3), 168781401982858. doi: <https://doi.org/10.1177/1687814019828582>
- Sheu, B.-H., Chiu, C.-C., Lu, W.-T., Huang, C.-I., Chen, W.-P. (2019). Development of UAV Tracking and Coordinate Detection Method Using a Dual-Axis Rotary Platform for an Anti-UAV System. doi: <https://doi.org/10.20944/preprints201906.0146.v1>
- Zhou, X., Li, X. (2021). Trajectory Tracking Control for Electro-Optical Tracking System Using ESO Based Fractional-Order Sliding Mode Control. *IEEE Access*, 9, 45891–45902. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2021.3067680>
- Wang, Y., Sui, X., Zhang, T., Nie, T., Chen, C. (2023). Design and Experimental Study on the Torque Balancing Mechanism of a Satellite-Borne Two-Axis Rotary Table. *Machines*, 11 (8), 830. doi: <https://doi.org/10.3390/machines11080830>
- Chu, W., Zhang, B., Liu, B., Gui, Z., Zhao, D. (2019). An Optoelectronic Targeting System for Measuring the Distribution of Projectile Motion Based on the Subdivision of a Light Screen. *Photonics*, 6 (4), 126. doi: <https://doi.org/10.3390/photonics6040126>
- Affan Ahmed, S., Mohsin, M., Zubair Ali, S. M. (2021). Survey and technological analysis of laser and its defense applications. *Defence Technology*, 17 (2), 583–592. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.02.012>
- Tevyashev, A., Shostko, I., Neofitnyi, M., Koliadin, A. (2019). Laser Opto-Electronic Airspace Monitoring System in the Visible and Infrared Ranges. 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). doi: <https://doi.org/10.1109/apuavd47061.2019.8943887>
- Shostko, I., Tevyashev, A., Kulia, Y., Koliadin, A. (2020). Optical-Electronic System of Automatic Detection and High-Precise Tracking of Aerial Objects in Real-Time. Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020). Vol-2608. Zaporizhzhia, 784–803. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-2608/paper59.pdf>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290649**

#### **IMPROVING THE RESOLUTION AND SENSITIVITY OF AN ORTHOGONAL TIME-OF-FLIGHT MASS SPECTROMETER WITH ORTHOGONAL ION INJECTION (p. 43–53)**

**Seitkerim Birmurzaev**

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7778-1536>

**Nakhypbek Aldiyarov**

Satbayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6772-8843>

**Yerkin Yerzhigitov**

Kazakh National Agrarian Research University, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9262-8695>

**Akmaral Tlenshiyeva**

Academy of Logistic and Transport, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8105-1632>

**Ruslan Kassym**

Academy of Logistic and Transport, Almaty, Republic of Kazakhstan  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8024-5224>

The theoretical possibilities of increasing the resolution and sensitivity of a time-of-flight mass spectrometer with orthogonal ion injection are considered. The effects are achieved by using inhomogeneous electrostatic fields of special configurations both in the accelerating and focusing parts of the device – a cylindrical immersion objective and a transaxial mirror, respectively. It is shown that the use of an inhomogeneous cylindrical field of a special configuration as an ion accelerator opens up the possibility of a multiple reduction in the energy spread of ions in injected ion packets, associated with the so-called «turnaround time» and, there-

fore, a significant (two or more times) increase in the limiting resolution of the mass spectrometer. The use of a transaxial electrostatic mirror as a time-of-flight mass analyzer makes it possible to significantly increase the sensitivity of the mass-spectrometer due to the implementation of triple space-time-of-flight focusing of ion packets. Key features include reduced ion energy spread, increased maximum resolution, and improved sensitivity due to triple focusing in space and time of flight. This research lays the foundation for expanding the capabilities of time-of-flight mass spectrometry, providing a more efficient and powerful tool for a wide range of scientific and industrial applications. The effects are achieved by using inhomogeneous electrostatic fields of a special configuration in both the accelerating and focusing parts of the device – a cylindrical immersion lens and a transaxial mirror, respectively. Numerical calculations of the system – a four-electrode cylindrical immersion lens in combination with a three-electrode transaxial mirror – are presented, which confirm the conclusions of the theory.

**Keywords:** time-of-flight mass spectrometer, cylindrical immersion lens, transaxial electronic mirror, pulse generator, rotation time.

## References

- Chen, Y. H., Gonin, M., Fuhrer, K., Dodonov, A., Su, C. S., Wollnik, H. (1999). Orthogonal electron impact source for a time-of-flight mass spectrometer with high mass resolving power. *International Journal of Mass Spectrometry*, 185-187, 221–226. doi: [https://doi.org/10.1016/s1387-3806\(98\)14152-0](https://doi.org/10.1016/s1387-3806(98)14152-0)
- Pomozov, T. V., Yavor, M. I., Verentchikov, A. N. (2012). Reflectrons with ion orthogonal acceleration based on planar gridless mirrors. *Technical Physics*, 57 (4), 550–555. doi: <https://doi.org/10.1134/s106378421204024x>
- Bimurzaev, S. B. (2019). Planar multi-reflecting time-of-flight mass-spectrometer of a simple design. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 3–13. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.aiep.2019.08.001>
- Mamyrin, B. A. (2001). Time-of-flight mass spectrometry (concepts, achievements, and prospects). *International Journal of Mass Spectrometry*, 206 (3), 251–266. doi: [https://doi.org/10.1016/s1387-3806\(00\)00392-4](https://doi.org/10.1016/s1387-3806(00)00392-4)
- Golikov, Yu. K., Krasnov, N. V., Bublyayev, R. A., Turtia, S. B., Belyaev, K. A. (2008). Monopole as an orthogonal accelerator TOF analyzer. *Nauchnoje Priborostroenie*, 18 (4), 97–103.
- Bimurzaev, S. B., Bimurzaeva, R. S., Sarkeev, B. T. (1991). Spatial-TOF focusing in an electrostatic lens-mirror system with two planes of symmetry. *Radiotekhnika I Elektronika*, 36, 2186–2195.
- Yakushev, E. M., Sekunova, L. M. (1986). Theory of Electron Mirrors and Cathode Lenses. *Advances in Electronics and Electron Physics*, 337–416. doi: [https://doi.org/10.1016/s0065-2539\(08\)60856-2](https://doi.org/10.1016/s0065-2539(08)60856-2)
- Nevinyi, Yu. A., Sekunova, L. M., Yakushev, E. M. (1985). Transaxial lens systems for electrostatic prism spectrometers with improved focusing. *Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki*, 55 (9), 1713–1718.
- Bimurzaev, S. B. (2015). A TOF mass spectrometer with higher resolution and sensitivity via elimination of chromatic TOF aberrations of higher orders. *International Journal of Mass Spectrometry*, 376, 23–26. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2014.11.007>
- Bimurzaev, S. B., Aldiyarov, N. U. (2014). Time-of-Flight Mass Spectrometer with Transaxial Ion Reflector. *Journal of Modern Physics*, 05 (01), 68–73. doi: <https://doi.org/10.4236/jmp.2014.51011>
- Yakushev, E. M. (2013). Theory and Computation of Electron Mirrors. *Advances in Imaging and Electron Physics*, 147–247. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407701-0.00003-0>
- Karetskaya, S. P., Saichenko, N. Yu. (1989). Four-electrode mirror with a two-dimensional electric field. *Zhurnal Tekhnicheskoi Fiziki*, 59 (10), 98–103.
- Utegenova, A., Bapyshev, A., Suimenbayeva, Z., Aden, A., Kassym, R., Tansaule, S. (2023). Development system for coordination of activities of experts in the formation of machineschetable standards in the field of military and space activities based on ontological engineering: a case study. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2 (125)), 67–77. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.288542>
- Tikkisetty, K., Filewood, T., Yan, J., Kwok, H., Brunswick, P., Cody, R., Shang, D. (2023). Method development for forensic oil identification by direct analysis in real time time-of-flight mass spectrometry. *Analytical Methods*, 15 (44), 6040–6047. doi: <https://doi.org/10.1039/d3ay01282d>
- Baibolov, A., Sydykov, S., Alibek, N., Tokmoldayev, A., Turdybek, B., Jurado, F., Kassym, R. (2022). Map of zoning of the territory of Kazakhstan by the average temperature of the heating period in order to select a heat pump system of heat supply: A case study. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 44 (3), 7303–7315. doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2108168>
- Cooper-Shepherd, D. A., Wildgoose, J., Kozlov, B., Johnson, W. J., Tyldesley-Worster, R., Palmer, M. E. et al. (2023). Novel Hybrid Quadrupole-Multireflecting Time-of-Flight Mass Spectrometry System. *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 34 (2), 264–272. doi: <https://doi.org/10.1021/jasms.2c00281>
- Kassym, R. T., Taldybayeva, A. S., Omar, D. R., Alibek, N. B., Kuder, K. M., Isakhanov, M. Z., Omarov, R. A. (2021). Experimental results of functional characteristics of IOT for free range sheep breeding. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 17 (2/4), 1. doi: <https://doi.org/10.1504/ijarge.2021.10044149>
- Mohamed, N. A., Hasanien, H. M., Alkuhayli, A., Akmaral, T., Jurado, F., Badr, A. O. (2023). Hybrid Particle Swarm and Gravitational Search Algorithm-Based Optimal Fractional Order PID Control Scheme for Performance Enhancement of Offshore Wind Farms. *Sustainability*, 15 (15), 11912. doi: <https://doi.org/10.3390/su151511912>
- Hashish, M. S., Hasanien, H. M., Ji, H., Alkuhayli, A., Alharbi, M., Akmaral, T. et al. (2023). Monte Carlo Simulation and a Clustering Technique for Solving the Probabilistic Optimal Power Flow Problem for Hybrid Renewable

- Energy Systems. *Sustainability*, 15 (1), 783. doi: <https://doi.org/10.3390/su15010783>
20. Bimurzaev, S., Sautbekov, S., Sautbekova, Z. (2023). Calculation of the Electrostatic Field of a Circular Cylinder with a Slot by the Wiener-Hopf Method. *Mathematics*, 11 (13), 2933. doi: <https://doi.org/10.3390/math11132933>
21. Bimurzaev, S. B., Yakushev, E. M. (2022). Relativistic theory of aberrations of electrostatic electron-optical systems. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 1022, 165956. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.165956>
22. Bimurzaev, S. B., Yakushev, E. M. (2021). Theory and Calculation of Electrostatic Electron Mirrors with Allowance for Relativistic Effects. *Technical Physics*, 66 (5), 690–698. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063784221050054>
23. Vestal, M., Li, L., Dobrinskikh, E., Shi, Y., Wang, B., Shi, X. et al. (2019). Rapid MALDI-TOF molecular imaging: Instrument enhancements and their practical consequences. *Journal of Mass Spectrometry*, 55 (8). doi: <https://doi.org/10.1002/jms.4423>
24. Willis, P., Jalszynski, J., Artaev, V. (2021). Improving duty cycle in the Folded Flight Path high-resolution time-of-flight mass spectrometer. *International Journal of Mass Spectrometry*, 459, 116467. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2020.116467>
25. Plumb, R. S., McDonald, T., Rainville, P. D., Hill, J., Gethings, L. A., Johnson, K. A., Wilson, I. D. (2021). High-Throughput UHPLC/MS/MS-Based Metabolic Profiling Using a Vacuum Jacketed Column. *Analytical Chemistry*, 93 (30), 10644–10652. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.1c01982>
26. Amaral, M. S. S., Nolvachai, Y., Marriott, P. J. (2019). Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography Advances in Technology and Applications: Biennial Update. *Analytical Chemistry*, 92 (1), 85–104. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b05412>
27. Giles, K., Ujma, J., Wildgoose, J., Pringle, S., Richardson, K., Langridge, D., Green, M. (2019). A Cyclic Ion Mobility-Mass Spectrometry System. *Analytical Chemistry*, 91 (13), 8564–8573. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b01838>
28. Yavor, M. I., Verenchikov, A. N., Guluev, R. G. (2019). Cylindrical sector field multi-turn time-of-flight mass analyzer with second order focusing. *International Journal of Mass Spectrometry*, 442, 58–63. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2019.05.007>
29. Richardson, K., Hoyes, J. (2015). A novel multipass oa-TOF mass spectrometer. *International Journal of Mass Spectrometry*, 377, 309–315. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2014.08.031>
30. Rose, T., Appleby, R. B., Nixon, P., Richardson, K., Green, M. (2020). Segmented electrostatic trap with inductive, frequency based, mass-to-charge ion determination. *International Journal of Mass Spectrometry*, 450, 116304. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijms.2020.116304>
31. Buchberger, A. R., DeLaney, K., Johnson, J., Li, L. (2017). Mass Spectrometry Imaging: A Review of Emerging Advancements and Future Insights. *Analytical Chemistry*, 90 (1), 240–265. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.7b04733>
32. Ferey, J., Larroque, M., Schmitz-Afonso, I., Le Maître, J., Sgarbura, O., Carrere, S. et al. (2022). Imaging Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry of oxaliplatin derivatives in human tissue sections. *Talanta*, 237, 122915. doi: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2021.122915>
33. Vandergrift, G. W., Kew, W., Lukowski, J. K., Bhattacharjee, A., Liyu, A. V., Shank, E. A. et al. (2022). Imaging and Direct Sampling Capabilities of Nanospray Desorption Electrospray Ionization with Absorption-Mode 21 Tesla Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry. *Analytical Chemistry*, 94 (8), 3629–3636. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.1c05216>

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292691

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ СХЕМИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ТРАНСІМПЕДАНСНОГО ПІДСИЛЮВАЧА (с. 6–14)**

О. А. Повшенко, В. Г. Баженов, О. Я. Паздрій, Г. А. Богдан

Для вимірювання напруженості електростатичних полів широко застосовується електростатичний флюксиметр (ЕФ), основним недоліком якого є виникнення великих похибок вимірювання (до 15 % у діапазоні від 0 до 1 кВ/м).

В роботі досліджується аспекти використання трансїмпедансних підсилювачів (ТП) для задач перетворення отриманого з сенсору ЕФ струму в напругу, що дозволить зменшити інструментальну похибку та забезпечить лінійність вимірювання напруженості атмосферного електростатичного поля. В загальному випадку для функціональних схем електростатичного флюксиметру, які включають в себе диференційний трансїмпедансний підсилювач, є використання двох схем ТП, які включені паралельно. Незважаючи на простоту реалізації, така конфігурація містить ряд недоліків та не є оптимальною. В роботі проведено порівняльний аналіз типової схеми диференціального ТП та запропонованої авторами схеми незаземленого диференціального трансїмпедансного підсилювача з нульовим падінням напруги.

В результаті проведеного аналізу встановлено, що розроблена власна схема незаземленого диференціального трансїмпедансного підсилювача з нульовим падінням напруги має кращі параметри лінійності та завадостійкості на відміну від загальноприйнятої. Значення співвідношення сигнал/шум для запропонованої схеми в середньому покращилося на 42 % в порівнянні з типовою. Головною відмінністю запропонованої схеми є те, що забезпечується стабільність коефіцієнту підсилення, нівелюється вплив параметрів зміщення операційного підсилювача та зменшується загальний рівень шуму. Використання розробленої схеми незаземленого диференціального трансїмпедансного підсилювача з нульовим падінням напруги дозволить підвищити точність вимірювання напруженості електростатичного поля.

**Ключові слова:** атмосферне електричне поле, напруженість електростатичного поля, електростатичний флюксиметр, трансїмпедансний підсилювач.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.292187

**РОЗРОБКА ІНСТРУМЕНТІВ ОЦІНКИ ДОСТОВІРНОСТІ ВИМІРЮВАНЬ ОБЕРТАЛЬНИХ МОМЕНТІВ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІДЕНТИФІКАТОРІВ АНОМАЛЬНИХ ВІДХИЛЕНЬ В СИСТЕМІ З ШУМОПОДІБНИМ СИГНАЛОМ (с. 15–25)**

В. П. Квасніков, Д. М. Квашук, М. П. Пригара, Я. П. Легета

Вирішується проблема достовірності вимірювань обертальних параметрів електродвигунів, яка зосереджена на нових підходах до оцінювання вимірювань в умовах додаткових шумів. Проводиться аналіз методологічних підходів та математичних інструментів, що використовуються для обробки та інтерпретації невизначеності результатів вимірювань. Розглядаються випадки, де вони можуть виявитися не ефективними через високий рівень шуму. Для виявлення аномалій в сигналі запропоновано процедуру оцінки достовірності вимірювань, використовуючи нечітку логіку. Розроблено структурну схему моделі вимірювання обертального моменту електродвигуна в умовах шумоподібного сигналу, де було застосовано передатні функції для моделювання параметрів кутової швидкості та обертального моменту. Запропоновано спосіб виявлення аномалій в шумоподібних сигналах, який реалізується шляхом ідентифікації амплітудних та часових характеристик стрибкоподібних імпульсів. Він включає в себе застосування розширеного спектра аналітичних інструментів для глибокого аналізу сигналів та є особливо ефективним для виявлення аномалій, що можуть бути приховані у фоновому шумі. Розроблено прототип вимірювального стенду, який використовує нейронні мережі для виявлення аномалій під час вимірювання обертальних параметрів електродвигунів, що дозволило отримати навчальну вибірку використовуючи зразковий електродвигун, та застосувати її для оцінювання параметрів іншого електродвигуна.

В практичному аспекті, запропоновано процедуру покращення достовірності вимірювань обертальних параметрів електродвигунів, яку можна використовувати для внесення коректив в існуючі системи. Зокрема, вони можуть бути застосовані в промисловості, електротранспорті, а також в аерокосмічній і військовій сферах, де важлива надійність вимірювальних систем.

**Ключові слова:** процедура оцінювання, обертальний момент, параметри електродвигуна, нейронна мережа, нечітка логіка.

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.293206

**СИНТЕЗ ДВОМАСОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ З КАСКАДНИМ ВВІМКНЕННЯМ РЕГУЛЯТОРІВ ДРОБОВОГО ПОРЯДКУ (с. 26–35)**

Б. Л. Коччак, А. П. Кушнір, І. А. Оношко, С. Я. Вовк

Об'єктом проведених досліджень є двомасові електромеханічні системи, які широко застосовуються в промисловості. В роботі вирішувалася проблема вдосконалення синтезу регуляторів для таких систем з метою його спрощення та покращення якості перехідних процесів. Традиційно синтез контурів систем автоматичного керування таких систем здійснювався за використання цілочисельних регуляторів та стандартних форм. Проте результатом такого підходу були синтезовані складні цілочисельні регулятори, які важко реалізувати. Для вирішення цієї проблеми запропоновано оригінальний підхід до синтезу контурів систем автоматичного керування на основі дробового характеристичного поліному. Дробовий характеристичний поліном дозволяє під час синтезу забезпечувати бажану якість перехідного процесу у випадку реалізації визначеної структури дробового регулятора. Розроблена нова методика



структурно-параметричного синтезу регуляторів дробового порядку для випадку їх каскадного ввімкнення в багатоконтурних двомасових електромеханічних системах. Також наведено розроблений алгоритм синтезу регуляторів дробового порядку для відповідних контурів регулювання. Це дало змогу здійснити структурно-параметричний синтез регуляторів дробового порядку для двомасової електромеханічної системи з каскадним ввімкненням регуляторів. Такий підхід забезпечує кращу якість перехідних процесів, порівняно з класичними регуляторами цілого порядку, спрощує синтез і тим самим підвищує якість синтезованих таким чином систем. Досліджено вплив синтезованих запропонованим підходом регуляторів дробового порядку на динамічні властивості двомасової системи «тиристорний перетворювач – двигун». Результати досліджень продемонстрували можливість практичного застосування розрахованих за використання запропонованої методики дробових регуляторів для синтезу систем автоматичного керування двомасових електромеханічних систем в промисловості.

**Ключові слова:** двомасова електромеханічна система, регулятори дробового порядку, пожежний автопідіймач.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.295101

### РОЗРОБЛЕННЯ І ВИПРОБУВАННЯ ДОСЛІДНОГО ЗРАЗКА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СТАНЦІЇ ВИЯВЛЕННЯ ТА СУПРОВОДУ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ У ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ (с. 36–42)

I. С. Шостко, А. Д. Тевяшев, О. В. Земляний, Д. І. Цибульник

Об'єктом дослідження є процес виявлення і супроводу повітряних цілі.

Вирішується проблема вибору пріоритетів між апаратними та програмними рішеннями усунення конструктивних протиріч при розробці опорно-поворотного пристрою, що водночас повинні забезпечити для оптико-електронної станції високу швидкість і точність супроводу повітряних об'єктів.

Розроблено та побудовано дослідний зразок оптико-електронної станції. Проведено дослідження впливу усунення конструктивних протиріч апаратними та програмними методами на характеристики точності опорно-поворотного пристрою. Створено власне спеціалізоване програмне забезпечення для тестування точності виконання команд. Розроблена методика випробувань оптико-електронної станції. Усі проведені випробування були виконані з дотриманням прийнятих норм та стандартів.

Встановлено механізм впливу методу керування сервоприводами опорно-поворотного пристрою на характеристики оптико-електронної станції. У цьому випадку пріоритет має програмний метод. На відміну від існуючих рішень розроблений програмний метод управління опорно-поворотним пристроєм дозволяє виключити зупинки на межах періоду управління сервоприводом та реалізувати плавний перехід на нове значення швидкості супроводу. Завдяки покращенню прогнозування та синхронізації параметрів сервоприводу із періодом його управління вдалося вирішити досліджувану проблему програмним методом.

Встановлено механізм впливу інерційності опорно-поворотного пристрою на характеристики оптико-електронної станції. У цьому випадку пріоритет має апаратний метод.

Отримані результати можуть бути використані для покращення характеристик оптико-електронних станцій при виявленні та високоточному супроводі рухомих об'єктів в повітряному середовищі.

**Ключові слова:** оптико-електронна станція, опорно-поворотний пристрій, керування сервоприводами, програмний метод.

---

DOI: 10.15587/1729-4061.2023.290649

### ПОКРАЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ТА ЧУТЛИВОСТІ ОРТОГОНАЛЬНОГО ЧАСОПРОЛІТНОГО МАСС-СПЕКТРОМЕТРА З ОРТОГОНАЛЬНОЮ ІНЖЕКЦІЄЮ ІОНІВ (с. 43–53)

Seitkerim Bimurzaev, Nakhybek Aldiyarov, Yerkin Yerzhigitov, Akmaral Tlenshiyeva, Ruslan Kassym

Розглянуто теоретичні можливості підвищення роздільної здатності та чутливості часопролітного мас-спектрометра з ортогональною інжекцією іонів. Ефекти досягаються за рахунок використання неоднорідних електростатичних полів спеціальної конфігурації як у прискорювальній, так і в фокусувальній частинах приладу – циліндричному імерсійному об'єктиві та трансаксальному дзеркалі відповідно. Показано, що використання неоднорідного циліндричного поля спеціальної конфігурації як прискорювача іонів відкриває можливість багаторазового зменшення енергетичного розкиду іонів в пакетах інжекттованих іонів, пов'язаного з так званим «часом обертання» і, отже, значне (в два і більше разів) збільшення граничної роздільної здатності мас-спектрометра. Використання трансаксального електростатичного дзеркала як часопролітного мас-аналізатора дозволяє значно підвищити чутливість мас-спектрометра за рахунок реалізації потрібного просторово-часопролітного фокусування пакетів іонів. Основні особливості включають зменшений розкид енергії іонів, підвищену максимальну роздільну здатність і покращену чутливість завдяки потрібному фокусуванню в просторі та часі польоту. Це дослідження закладає основу для розширення можливостей часопролітної мас-спектрометрії, надаючи більш ефективний і потужний інструмент для широкого спектру наукових і промислових застосувань. Ефекти досягаються за рахунок використання неоднорідних електростатичних полів спеціальної конфігурації як в прискорювальній, так і в фокусувальній частинах приладу – циліндричної імерсійної лінзи та трансаксального дзеркала відповідно. Наведено чисельні розрахунки системи – чотириелектродної циліндричної імерсійної лінзи в поєднанні з триелектродним трансаксальним дзеркалом, які підтверджують висновки теорії.

**Ключові слова:** часопролітний мас-спектрометр, циліндрична імерсійна лінза, трансаксальне електронне дзеркало, генератор імпульсів, час обертання.