

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348152

DEVising A METHOD FOR LARGE-SCALE MODELING OF NON-STATIONARY ELECTROMAGNETIC PROCESSES IN POWER TRANSFORMER EQUIPMENT UNDER SHARPLY CHANGING LOADS (p. 6–23)

Volodymyr Zinovkin

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-7667-0658>

Yurii Krysan

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6239-0751>

Serhii Shylo

National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4094-6269>

This study considers the sharply changing loads on powerful transformers and the non-stationary electromagnetic processes they excite, consisting of a set of parameters of different physical nature. The task addressed relates to the fact that powerful transformers used in modern electrical technologies fail almost twice as often as those operating in public networks. This encourages the design of special-purpose transformer equipment and requires establishing causal factors of accidents, their development, and new research methods.

This work reports a method for large-scale modeling of non-stationary electromagnetic processes in transformers.

The proposed criteria for the physical similarity of electromagnetic processes in the model and the original have been confirmed experimentally on a physical model and a real special-purpose transformer. A distinctive feature of the results is a method devised for the formation of sharply changing currents, which are characteristic of the electro-technological process in arc steelmaking furnaces.

The results of investigating additional losses and thermal overload of the transformer coincide, with reasonable accuracy for practice, with the experimental ones with an error not exceeding 5.7%. This makes it possible to compile project documentation for designing new types of special-purpose transformers. This is achieved by improving engineering methods for calculating additional losses and thermal overloads of inactive parts of transformer structures. In practice, the results allow for the correction of acceptance tests both at the design stages and under industrial conditions.

Keywords: sharply changing loads, non-stationary electromagnetic processes, cumulative effect, magnetostriction, non-sinusoidal current, equivalence method, streamers, ferroresonance processes, skin effect.

References

1. Zinovkin, V., Antonov, M., Krysan, I. (2020). Research of Electromagnetic Parameters of Complex Electromechanical System Under Hardly Varying Loads. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 267–272. <https://doi.org/10.1109/ess50319.2020.9160022>
2. Zhezhelenko, Yu. S., Sheinkman, L. M., Stepanov, V. B. (2012). Yakist elektroenerhiyi na promyslovykh pidpriemstvakh. Kyiv: Tekhnika, 384.
3. Rashid, N. (2011). Short-time Overloading of Power Transformers. Stockholm. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:511551/fulltext01>
4. Zinovkin, V., Antonov, M., Pyroshok, A., Krysan, I. (2022). Influence of Sharp Load Fluctuations on Electromagnetic Processes in Electrical Equipment. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 1–5. <https://doi.org/10.1109/khpiweek57572.2022.9916410>
5. Liang, B., Sun, Z., Yang, Z., Tao, W., Huo, C., Xiao, S. (2025). Data augmentation and optimization method based on conditional generative adversarial network and convolutional neural network for transformer fault diagnosis. Measurement, 254, 117872. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2025.117872>
6. Murugan, R., Ramasamy, R. (2015). Failure analysis of power transformer for effective maintenance planning in electric utilities. Engineering Failure Analysis, 55, 182–192. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.06.002>
7. Zinovkin, V., Antonov, M., Krysan, I., Pyrozhok, A. (2024). Multiparametric System for Automated Analysis of the Current Technical Condition of Power Transformers. 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 1–6. <https://doi.org/10.1109/khpiweek61434.2024.10877956>
8. Liu, X. H., Zhao, G., Yu, J. J. (2004). Simulation research on the influence of electric arc furnace nonlinear characteristics on power supply network. Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, 34–38.
9. Čerňan, M., Müller, Z., Tlustý, J., Valouch, V. (2021). An improved SVC control for electric arc furnace voltage flicker mitigation. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 129, 106831. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.106831>
10. Turkovskiy, V. H., Zhovnir, Yu. M. (1999). Enerhooshchadna systema elektropostachannia duhovoykh staleplavlynykh pechei zminnoho strumu. Visnyk DU «Lvivska politehnika». Problemy ekonomiyi enerhiyi, 2, 113–115.
11. Abbasi, M. K., Dezfali, H. (2022). Smart Maintenance Planning For Distribution Transformers Using Discrete-time Markov Chain. 2022 26th International Electrical Power Distribution Conference (EPDC), 8–17. <https://doi.org/10.1109/epdc56235.2022.9817256>
12. Rama Rao, K. S., Karsiti, M. N. (2012). Optimal design of a furnace transformer by intelligent evolutionary methods. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 43 (1), 1056–1062. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.06.019>
13. Samet, H., Hamedani Golshan, M. E. (2012). A wide nonlinear analysis of reactive power time series related to electric arc furnaces. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 36 (1), 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.10.033>
14. Lozynskiy, O. Y., Lozynskiy, A. O., Paranchuk, Y. S., Paranchuk, R. Y. (2019). Synthesis and analysis of arc furnace electrical mode control system on the basis of three-dimensional phase currents vector distribution. Electrical Engineering & Electromechanics, 4, 26–34. <https://doi.org/10.20998/2074-272x.2019.4.04>
15. Zinovkin, V., Antonov, M., Krysan, I. (2021). Multi-parameter Technological Process Optimization Functional Similarity Criteria. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 490–495. <https://doi.org/10.1109/khpiweek53812.2021.9570014>
16. Zinovkin, V., Blyzniakov, O., Krysan, Y., Zaluzhnyi, M. (2021). Physical modeling of unsteady electromagnetic processes in power transformer under sharp load fluctuations. Electrical Engineering and Power Engineering, 3, 21–30. <https://doi.org/10.15588/1607-6761-2021-3-2>
17. Kravchenko, A. M., Metielskyi, V. P., Sytnikov, A. M. (1999). Osnovni napriamky udoskonalennia konstruktsiyi merezhnykh transformato-

riivdliia elektrometalurhiynoho vyrobnystva. Pratsi instytutu elektrodynamiky NAN Ukrainy. K.: IED NAN Ukrainy, 195–200.

18. Olczykowski, Z. (2021). Electric Arc Furnaces as a Cause of Current and Voltage Asymmetry. *Energies*, 14 (16), 5058. <https://doi.org/10.3390/en14165058>
19. Czarnecki, L. S. (1996). Comments on active power flow and energy accounts in electrical systems with nonsinusoidal waveforms and asymmetry. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 11 (3), 1244–1250. <https://doi.org/10.1109/61.517478>
20. Awadallah, S. K. E., Milanovic, J. V., Jarman, P. N. (2015). The Influence of Modeling Transformer Age Related Failures on System Reliability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30 (2), 970–979. <https://doi.org/10.1109/tpwrs.2014.2331103>
21. Ebrahim, E. A. (2023). Optimal Design of SAPFs for Harmonic Mitigation of Electric Arc Furnaces with Real-Time Digital Simulation Hardware. 2023 24th International Middle East Power System Conference (MEPCON), 1–8. <https://doi.org/10.1109/mepcon58725.2023.10462253>
22. So, E., Arseneau, R., Hanique, E. (2004). Measurement and Correction of No-Load Losses of Power Transformers. 2004 Conference on Precision Electromagnetic Measurements, 570–570. <https://doi.org/10.1109/cpem.2004.305383>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.345066

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF AN INDUCTION MOTOR FOR A TRANSPORT POWER PLANT INCORPORATING MAGNETIC SATURATION PROCESSES (p. 24–35)

Dmytro Kulagin

Zaporizhzhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3610-4250>

Igor Maslov

Danube Institute of National University «Odessa Maritime Academy», Izmail, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1759-6077>

This study considers the electromagnetic and electromechanical processes in a traction induction motor. The task addressed relates to the absence of a universal mathematical model of a high-power induction motor that accounts for magnetic circuit saturation, cross-saturation, and core losses. Such a model is required for an adequate description of transient processes under the operating conditions of marine power plants.

The essence of the results reported here is the construction of a system of equations describing the electromagnetic and electromechanical processes in a traction induction motor, taking into account magnetic circuit saturation. The proposed model includes four differential and two algebraic equations, providing complete controllability over the machine dynamics on both linear and nonlinear segments of the magnetization characteristic. By applying the dynamic inductance method, the model accounts for the interdependence between flux linkages and currents in different coordinate axes, as well as for the nonlinear variations of inductance parameters under magnetic saturation. These specific features have made it possible to accurately reproduce the real physical processes in the motor, as confirmed by bench verification based on the Caterpillar 3516 marine power plant. The results are attributed to the use of a generalized spatial model and dynamic inductances that reflect the variability of the motor's magnetic state under different load conditions.

The built model could be used in the synthesis of automatic control systems, analysis of transient processes, diagnostics of electric

drives, as well as optimization of power plants. It could be practically implemented under conditions of stable thermal regime of the motor and availability of reliable experimental data for identification of saturation parameters.

Keywords: induction motor, power plant, mathematical model, electromagnetic processes, dynamic inductances.

References

1. Maslov, I., Tymoshchuk, O., Kulagin, D. (2025). Determining the causes of major energy losses in a ship's unified AC power system. *Modern Automotive Industry, Transport And Road Infrastructure '2024 (MAITRI2024)*, 3428, 020021. <https://doi.org/10.1063/12.0038611>
2. Kulagin, D., Maslov, I. (2024). Mathematical Model of Electromagnetic Transients of a Frequency-Controlled Propeller's Induction Motor. 2024 IEEE 5th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 1–5. <https://doi.org/10.1109/khpiweek61434.2024.10877991>
3. Kulagin, D. O. (2016). Rolling electrical complex on the basis of the criterion of minimizing the area under the curve of motion. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 60–67. Available at: <https://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1214-2016/contents-no-2-2016/electrical-complexes-and-systems/3396-rolling-electrical-complex-on-the-basis-of-the-criterion-of-minimizing-the-area-under-the-curve-of-motion>
4. Kulagin, D. O. (2014). The mathematical model of asynchronous traction motor taking into account the saturation of magnetic circuits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 103–110. Available at: <https://nvngu.in.ua/index.php/en/archive/on-the-issues/1012-2014/contents-no-6-2014/electrical-complexes-and-systems/2867-the-mathematical-model-of-asynchronous-traction-motor-taking-into-account-the-saturation-of-magnetic-circuits>
5. Kulagin, D. O. (2014). Mathematical model of asynchronous traction motor taking into account the saturation. *Technical Electrodynamics*, 6, 49–55. Available at: <https://techned.org.ua/index.php/techned/article/view/1126/1001>
6. Konuhova, M. (2024). Modeling of Induction Motor Direct Starting with and without Considering Current Displacement in Slot. *Applied Sciences*, 14 (20), 9230. <https://doi.org/10.3390/app14209230>
7. Gupta, V. K., Samanta, P., Sahay, P. K., Srinivas, V. L. (2025). From Conveyor Belts to Crushers: A Review on Radial and Axial Flux Induction Motor Advances and Applications in Industrial Mining Operations. 2025 IEEE 1st International Conference on Smart and Sustainable Developments in Electrical Engineering (SSDEE), 01–06. <https://doi.org/10.1109/ssdee64538.2025.10968154>
8. Chen, H., Bi, C., Li, S., Peng, Z., Chen, Z. (2024). New Approach to Improve Starting Performance of Induction Motor Based on Optimal Starting Frequency. *IEEE Access*, 12, 136515–136523. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3463424>
9. Larabee, J., Pellegrino, B., Flick, B. (2005). Induction Motor Starting Methods and Issues. *Record of Conference Papers Industry Applications Society 52nd Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, 217–222. <https://doi.org/10.1109/pcicon.2005.1524557>
10. Park, D.-H., Song, C.-H., Won, Y.-J., Park, J.-C., Kim, H.-S., Park, H.-R. et al. (2024). Magnetizing Inductance Estimation Method of Induction Motor for EV Traction Considering Magnetic Saturation Changes According to Current and Slip Frequency. *IEEE Transactions on Magnetics*, 60 (9), 1–5. <https://doi.org/10.1109/tmag.2024.3426663>
11. Masadeh, M. A., Amitkumar, K. S., Pillay, P. (2018). Power Electronic Converter-Based Induction Motor Emulator Including Main and Leakage Flux Saturation. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 4 (2), 483–493. <https://doi.org/10.1109/tte.2018.2824619>

12. Accetta, A., Alonge, F., Cirrincione, M., D'Ippolito, F., Pucci, M., Sferlazza, A. (2017). GA-based off-line parameter estimation of the induction motor model including magnetic saturation and iron losses. 2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2420–2426. <https://doi.org/10.1109/ecce.2017.8096466>
13. Zhang, Y., Baig, S., Vahabzadeh, T., Jatskevich, J. (2022). Maximum Efficiency Volts-per-Hertz Control of Induction Motor Drives Considering Core Losses, Saturation, and Inverter Losses. 2022 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), 1–7. <https://doi.org/10.1109/icecet55527.2022.9872679>
14. Iegorov, O., Iegorova, O., Potryvaieva, N., Zaluzhna, H. (2021). The Traction Induction Motor Magnetic Circuit Saturation Influence on the Variable Electric Drive Energy Efficiency. 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 1–5. <https://doi.org/10.1109/mees52427.2021.9598686>
15. Siddique, A., Yadava, G. S., Singh, B. (2005). A Review of Stator Fault Monitoring Techniques of Induction Motors. IEEE Transactions on Energy Conversion, 20 (1), 106–114. <https://doi.org/10.1109/tec.2004.837304>
16. Jang, J.-H., Sul, S.-K., Jung-Ik Ha, Ide, K., Sawamura, M. (2003). Sensorless drive of surface-mounted permanent-magnet motor by high-frequency signal injection based on magnetic saliency. IEEE Transactions on Industry Applications, 39 (4), 1031–1039. <https://doi.org/10.1109/tia.2003.813734>
17. Palma Garcia, M. T., Caceres Cardenas, F. V., Kuong, J. L., Quispe, E. C. (2018). Transient Analysis of Induction Motors Considering the Saturation Effect Applying the Finite Element Method. 2018 IEEE ANDESCON, 1–6. <https://doi.org/10.1109/andescon.2018.8564699>
18. Kulagin, D. O., Fedosha, D. V., Nitsenko, V. V., Shevchenko, S. Yu., Danylchenko, D. O. (2019). Using a phase-differential busbar protection for switchgears of power system facilities. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 4. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-4/10>
19. Nitsenko, V., Kulagin, D. (2017). Improvement implementation methods of relay busbars protection of switchgears. Tekhnichna Elektrodynamika, 6, 61–71. <https://doi.org/10.15407/tehnichna.2017.06.061>
20. Nitsenko, V. V., Kulagin, D. O. (2017). Research on effect of differential-phase protection of busbars system with voltage of 110–750 kv. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 4, 72–79. Available at: https://www.researchgate.net/publication/321157798_Research_on_effect_of_differential-phase_protection_of_busbars_system_with_voltage_of_110-750_kv
21. Korobko, B., Kivshyk, A., Kulagin, D. (2021). Experimental Study of the Efficiency of the Differential Pump of Electromagnetic Action on the Basis of Mathematical Modeling of the Parameters of Its Operation. Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations, 203–213. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_20
22. Bratkovska, K., Makhlin, P., Shram, A., Kulagin, D., Fedosha, D. (2022). Estimation of Optimization Approaches of the Energy Intensive Equipment's Power-Time Diagrams of Industrial Enterprises. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 277–281. <https://doi.org/10.1109/ess57819.2022.9969248>
23. Yekimov, S., Nianko, V., Kulagin, D., Lunkina, T., Haponenko, S. (2021). The importance of environmental education for effective environmental management. E3S Web of Conferences, 296, 08002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129608002>
24. Masadeh, M. A., Pillay, P. (2017). Induction motor emulation including main and leakage flux saturation effects. 2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC), 1–7. <https://doi.org/10.1109/iemdc.2017.8002207>
25. Kulagin, D., Maslov, I., Lysechko, V., Prokopenko, V., Shram, A., Pastushenko, V. (2023). Analysis Of Current Approaches to Modernizing the Electric Power Scheme of Diesel Generator Transport. 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 1–6. <https://doi.org/10.1109/khpihweek61412.2023.10312881>
26. Molsa, E., Saarakkala, S. E., Hinkkanen, M. (2018). Influence of Magnetic Saturation on Modeling of an Induction Motor. 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), 1572–1578. <https://doi.org/10.1109/icelmach.2018.8506746>
27. Dalal, A., Singh, A. K., Kumar, P. (2013). Effect of saturation on equivalent circuit analysis of induction motor in practical scenario. 2013 Annual IEEE India Conference (INDICON), 1–5. <https://doi.org/10.1109/indcon.2013.6726122>
28. Nishihama, K., Ide, K., Mikami, H., Fujigaki, T., Mizutani, S. (2009). Starting torque analysis of cage induction motor using permeance model considering magnetic saturation by leakage flux. 2009 International Conference on Electrical Machines and Systems, 1–6. <https://doi.org/10.1109/icems.2009.5382970>
29. Novotnak, R. T., Chiasson, J., Bodson, M. (1999). High-performance motion control of an induction motor with magnetic saturation. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 7 (3), 315–327. <https://doi.org/10.1109/87.761052>
30. Faiz, J., Ebrahimi, B. M., Toliyat, H. A. (2009). Effect of Magnetic Saturation on Static and Mixed Eccentricity Fault Diagnosis in Induction Motor. IEEE Transactions on Magnetics, 45 (8), 3137–3144. <https://doi.org/10.1109/tmag.2009.2016416>
31. Sprooten, J., Maun, J.-C. (2009). Influence of Saturation Level on the Effect of Broken Bars in Induction Motors Using Fundamental Electromagnetic Laws and Finite Element Simulations. IEEE Transactions on Energy Conversion, 24 (3), 557–564. <https://doi.org/10.1109/tec.2009.2016126>
32. Faiz, J., Ojaghi, M. (2011). Stator Inductance Fluctuation of Induction Motor as an Eccentricity Fault Index. IEEE Transactions on Magnetics, 47 (6), 1775–1785. <https://doi.org/10.1109/tmag.2011.2107562>
33. Kwon, S. O., Lee, J. J., Lee, B. H., Kim, J. H., Ha, K. H., Hong, J. P. (2009). Loss Distribution of Three-Phase Induction Motor and BLDC Motor According to Core Materials and Operating. IEEE Transactions on Magnetics, 45 (10), 4740–4743. <https://doi.org/10.1109/tmag.2009.2022749>
34. Fernandez-Bernal, F., Garcia-Cerrada, A., Faure, R. (2000). Model-based loss minimization for DC and AC vector-controlled motors including core saturation. IEEE Transactions on Industry Applications, 36 (3), 755–763. <https://doi.org/10.1109/28.845050>

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348861

IDENTIFYING THE DYNAMIC PROCESSES OF THE INTERPHASE SHORT-CIRCUIT CURRENT OF A WIND TURBINE GENERATOR OPERATING IN STANDALONE MODE (p. 36–44)

Gulim Nurmaganbetova

S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9529-2477>

Vladimir Kaverin

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of KazakhstanORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2021-7445>

Sultanbek Issenov

Institute of Energy
S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4576-4621>

Gennady Em

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2639-0492>

Yerlan Ualiyev

Institute of Energy, Thermal Power Engineering
S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0781-0307>

Elmira Sarsembiyeva

Institute of Energy
S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7078-4236>

Zhanara Nurmaganbetova

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda,
Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-0990-6212>

Zhanat Issenov

Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-602X>

The object of the study is the electromechanical part of a wind turbine with a horizontally arranged gearless rotor and an AC generator with a capacity of up to 40 kW. The study solves the problem of analyzing the electromechanical processes that occur during an interphase short circuit in a wind turbine generator.

The article presents the results of theoretical studies of the short-circuit mode of the power circuit of an AC generator of a gearless type wind turbine with a capacity of up to 40 kW. The relevance of the study is due to the need to increase reliability and reduce accidents caused by interphase short circuits in wind turbines.

The choice of equations for the mathematical model of the electromechanical part of the turbine is justified; a simulation model was developed using the MATLAB package; the adequacy of the simulation model was assessed by comparing transient processes obtained theoretically and experimentally on a laboratory bench under similar initial conditions and the moments of inertia of the mechanical part of the rotating elements of the wind turbine rotor and generator; a theoretical study of transient processes during interphase short circuits has been performed.

Distinctive features: the proposed energy discharge equation and the developed model allow for the estimation of the energy characteristics of a wind turbine, taking into account the dynamic characteristics of the rotor and the generator, which increases the accuracy of the analysis of the energy characteristics in the mode of interphase short-circuit of the stator windings of the generator.

Practical significance: the research results can be used in the design, modernization, and adjustment of protection systems for wind turbine generators with a capacity of up to 40 kW.

Keywords: wind turbine, generator, short circuit, mathematical model, simulation modeling, dynamic processes.

References

- Document 32022D0591. Decision (EU) 2022/591 of the European Parliament and of the Council of 6 April 2022 on a General Union Environment Action Programme to 2030. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2022/591/oj>
- Kaverin, V., Nurmaganbetova, G., Em, G., Issenov, S., Tatkeyeva, G., Maussymbayeva, A. (2024). Combined Wind Turbine Protection System. *Energies*, 17 (20), 5074. <https://doi.org/10.3390/en17205074>
- Hoen, B., Firestone, J., Rand, J., Elliot, D., Hübner, G., Pohl, J. et al. (2019). Attitudes of U.S. Wind Turbine Neighbors: Analysis of a Nationwide Survey. *Energy Policy*, 134, 110981. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110981>
- Clausen, P. D., Wood, D. H. (1999). Research and development issues for small wind turbines. *Renewable Energy*, 16 (1-4), 922–927. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(98\)00316-4](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(98)00316-4)
- Arbella-Feliciano, Y., Trinchet-Varela, C. A., Lorente-Leyva, L. L., Peluffo-Ordóñez, D. H. (2023). Condition Monitoring of Wind Turbines: A Case Study of the Gibara II Wind Farm. *Journal Européen Des Systèmes Automatisés*, 56 (2), 329–335. <https://doi.org/10.18280/jesa.560218>
- Fischer, K., Stalin, T., Ramberg, H., Wenske, J., Wetter, G., Karlsson, R., Thiringer, T. (2015). Field-Experience Based Root-Cause Analysis of Power-Converter Failure in Wind Turbines. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 30 (5), 2481–2492. <https://doi.org/10.1109/tpel.2014.2361733>
- Li, D., Sang, Y., Lv, Z., Wu, K., Lai, Z. (2025). Dynamic response analysis of wind turbine tower with high aspect ratio: Wind tunnel tests and CFD simulation. *Thin-Walled Structures*, 211, 113113. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2025.113113>
- Issenov, S. S. (2012). Mathematical Model of Automatic Control System for Asynchronous Multimotor Drive. *Elektronika Ir Elektrotehnika*, 18 (8), 9–12. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.18.8.2602>
- Nurmaganbetova, G., Issenov, S., Kaverin, V., Issenov, Z. (2023). Development of a virtual hardware temperature observer for frequency-controlled asynchronous electric motors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (123)), 68–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.280357>
- Issenov, S., Iskakov, R., Tergemes, K., Issenov, Z. (2022). Development of mathematical description of mechanical characteristics of integrated multi-motor electric drive for drying plant. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8 (115)), 46–54. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.251232>
- Issabekov, D., Issenov, S. (2024). Alternative Resource-Saving Current Protections for Electric Motors. 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon), 19–24. <https://doi.org/10.1109/smartindustrycon61328.2024.10515681>
- Kerekes, Z., Restás, Á., Lublóy, É. (2019). The effects causing the burning of plastic coatings of fire-resistant cables and its consequences. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139 (2), 775–787. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08526-9>
- Morren, J., de Haan, S. W. H. (2007). Short-Circuit Current of Wind Turbines With Doubly Fed Induction Generator. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22 (1), 174–180. <https://doi.org/10.1109/tec.2006.889615>
- Muljadi, E., Gevorgian, V. (2011). Short-circuit modeling of a wind power plant. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, 1–9. <https://doi.org/10.1109/pes.2011.6039068>
- Wang, X., Pan, X., Wan, J., Qi, J., Zhang, H., Li, S. (2014). A Wind Farm Short-Circuit Current Calculation Practical Model Applied to High Voltage Power Grid Simulation. *Proceedings of the 2014 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering*. <https://doi.org/10.2991/meic-14.2014.330>
- Margaris, I., Hansen, A. D., Bech, J., Andresen, B., Sørensen, P. E. (2012). Implementation of IEC Standard Models for Power System Stability Studies. In *Proceedings of 11th International Workshop on Large-Scale Integration of Wind Power into Power Systems*.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348152

РОЗРОБКА МЕТОДУ МАСШТАБНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ В ПОТУЖНОМУ ТРАНСФОРМАТОРНОМУ УСТАТКУВАННІ ПРИ РІЗКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕННЯХ (с. 6–23)

В. В. Зіновкін, Ю. О. Крисан, С. І. Шило

Об'єктом дослідження є різкозмінні навантаження потужних трансформаторів та збуджуючі ними нестационарні електромагнітні процеси, що складаються із сукупності параметрів різної фізичної природи. Проблема, що вирішується, полягає в тому, що потужні трансформатори, які використовуються в сучасних електротехнологіях, виходять з ладу майже удвічі частіше в порівнянні із працюючими у мережах загального користування. Це спонукає до розробки трансформаторного устаткування спеціального призначення і потребує встановлення причинно-наслідкових факторів аварій, їх розвитку, та нових методів дослідження.

В роботі розроблено метод масштабного моделювання нестационарних електромагнітних процесів в трансформаторах.

Запропоновані критерії фізичної подоби електромагнітних процесів в моделі і оригіналі підтверджено експериментально на фізичній моделі і реальному трансформаторі спеціального призначення. Характерні відмінності результатів дослідження полягають у розробці методу формування різкозмінних струмів, що характерні для електротехнологічного процесу дугових сталеплавильних печей.

Результати дослідження додаткових втрат і теплового перевантаження трансформатора з достатньою для практики похибкою співпадають із експериментальними з похибкою, яка не перевищує 5.7%. Це дає змогу розробляти проектну документацію для розробки нових типів трансформаторів спеціального призначення. Це досягається шляхом удосконалення інженерних методів розрахунку додаткових втрат і теплових перевантажень неактивних деталей конструкції трансформаторів. На практиці отримані результати дозволяють корегувати прийнятно-здавальні випробування як на етапах проектування так і в умовах виробництва.

Ключові слова: різкозмінні навантаження, нестационарні електромагнітні процеси, кумулятивний ефект, магнітострикція, несиноісдальний струм, метод еквівалентування, стрімери, ферорезонансні процеси, скін-ефект.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.345066

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСІВ МАГНІТНОГО НАСИЧЕННЯ (с. 24–35)

Д. О. Кулагін, І. З. Маслов

Об'єктом дослідження є електромагнітні та електромеханічні процеси тягового асинхронного двигуна. Проблема полягає у відсутності універсальної математичної моделі потужного асинхронного двигуна, яка б урахувала насичення магнітних кіл, крос-насичення та втрати в сталі. Така модель потрібна для адекватного опису перехідних режимів в умовах експлуатації суднових енергетичних установок. Суть отриманих результатів полягає у створенні системи рівнянь, що описують електромагнітні та електромеханічні процеси в тяговому асинхронному двигуні з урахуванням насичення магнітного кола. Модель містить чотири диференціальні та два алгебраїчні рівняння, що забезпечують повну керованість динамікою машини на лінійних і нелінійних ділянках характеристики намагнічування. Завдяки використанню методу динамічних індуктивностей у моделі враховано взаємозв'язок потоків і струмів у різних осях координат, а також нелінійні зміни параметрів індуктивності під впливом магнітного насичення. Саме ці особливості забезпечили можливість точного відтворення реальних фізичних процесів у двигуні, що підтверджено стендовою верифікацією на основі суднової енергетичної установки Caterpillar 3516. Пояснюються результати використанням узагальненої просторової моделі та динамічних індуктивностей, які відображають змінність магнітного стану двигуна при різних режимах навантаження. Розроблена модель може бути використана під час синтезу систем автоматичного керування, аналізу перехідних процесів, діагностики стану електроприводів та оптимізації енергетичних установок. Її практичне застосування можливе за умов забезпечення стабільного теплового режиму двигуна, наявності достовірних експериментальних даних для ідентифікації параметрів насичення.

Ключові слова: асинхронний двигун, енергетична установка, математична модель, електромагнітні процеси, динамічні індуктивності.

DOI: 10.15587/1729-4061.2025.348861

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СТРУМУ МІЖФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА, ЩО ПРАЦЮЄ В АВТОНОМНОМУ РЕЖИМІ (с. 36–44)

Gulim Nurmaganbetova, Vladimir Kaverin, Sultanbek Issenov, Gennadiy Em, Yerlan Ualiyev, Elmira Sarsembiyeva, Zhanara Nurmaganbetova, Zhanat Issenov

Об'єктом дослідження є електромеханічна частина вітротурбіни з горизонтально розташованим безредукторним ротором та генератором змінного струму потужністю до 40 кВт. Досліджувалась проблема аналізу електромеханічних процесів, що відбуваються під час міжфазного короткого замикання у вітротурбінному генераторі.

У статті представлені результати теоретичних досліджень режиму короткого замикання силового кола генератора змінного струму безредукторної вітротурбіни потужністю до 40 кВт. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення надійності та зменшення аварійності, спричиненої міжфазними короткими замиканнями у вітротурбінах.

Обґрунтовано вибір рівнянь для математичної моделі електромеханічної частини турбіни; розроблено імітаційну модель за допомогою пакету MATLAB; адекватність імітаційної моделі оцінено шляхом порівняння перехідних процесів, отриманих теоретично та експериментально на лабораторному стенді за аналогічних початкових умов та моментів інерції механічної частини обертових елементів ротора та генератора вітротурбіни; проведено теоретичне дослідження перехідних процесів під час міжфазних коротких замикань.

Відмінні риси: запропоноване рівняння розряду енергії та розроблена модель дозволяють оцінити енергетичні характеристики вітрової турбіни з урахуванням динамічних характеристик ротора та генератора, що підвищує точність аналізу енергетичних характеристик у режимі міжфазного короткого замикання обмоток статора генератора.

Практичне значення: результати дослідження можуть бути використані при проектуванні, модернізації та налагодженні систем захисту вітрових турбогенераторів потужністю до 40 кВт.

Ключові слова: вітрова турбіна, генератор, коротке замикання, математична модель, імітаційне моделювання, динамічні процеси.