

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220302

**EFFECT OF VARIABLE TEMPERATURE LOADS ON CHARACTERISTICS OF ELECTROCHROME COMPOSITE Ni(OH)<sub>2</sub>-PVA FILMS (p. 6–14)****Valerii Kotok**Ukrainian State University of Chemical Technology,  
Dnipro, Ukraine

Vyatka State University, Kirov, Russian Federation

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8879-7189>**Vadym Kovalenko**Ukrainian State University of Chemical Technology,  
Dnipro, Ukraine

Vyatka State University, Kirov, Russian Federation

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8012-6732>**Inna Anataichuk**Ukrainian State University of Chemical Technology,  
Dnipro, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5264-1262>**Artem Mochalov**

Vyatka State University, Kirov, Russian Federation

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8821-389X>**Natalia Makarchenko**Ukrainian State University of Chemical Technology,  
Dnipro, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0676-1148>**Rovil Nafeev**

State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2721-9718>**Volodymyr Verbitskiy**National Pedagogical Dragomanov University, Kyiv, Ukraine  
National Ecological and Naturalistic Center for Student Youth,  
Kyiv, UkraineORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7045-8293>

Electrochromic coating is the basis of smart windows with variable optical characteristics. Nevertheless, despite the obvious advantages of using smart windows in construction, their cost is high.

We have considered the coatings obtained by the cathodic template method, which are more economical in production. The presented studies are devoted to tests at cyclic temperature loads – repeated cooling and heating. The paper shows the influence of the medium and the method of heat supply (removal) to an electrochromic electrode based on a composite Ni(OH)<sub>2</sub>-PVA coating as well as the effect of surface preparation before its application.

As a medium for cyclic temperature loads, we used air or a working electrolyte – 0.1 M KOH. As a preliminary preparation of the transparent electrically conductive base, we used electrochemical etching of a part of the layer of the electrically conductive transparent coating of tin oxide doped with fluorine in a solution of 1 M HCl.

The result of a series of experiments was the discovery of a strong influence of temperature cyclic loads on the final characteristics of electrochromic films. The electrochromic film on the sample, which was subjected to cyclic temperature changes in air and on the substrate without etching, almost completely lost its

electrochromic characteristics and adhesion. The sample, which was subjected to thermal stress in an alkali solution, lost its uniformity during coloring.

On the other hand, both films, which were deposited on etched substrates, had generally better characteristics than samples deposited without etching and subjected to thermal stress in the air and in alkali. In this case, the sample, which was obtained on the substrate with pretreatment by etching and subjected to temperature cycling in alkali, had even slightly better characteristics than the reference sample.

**Keywords:** electrochromic device, electrochemical deposition, nickel hydroxide, template, polyvinyl alcohol, temperature tests, adhesion.

**References**

1. Deb, S. K. (1969). A Novel Electrophotographic System. *Applied Optics*, 8 (S1), 192. doi: <https://doi.org/10.1364/ao.8.s1.000192>
2. Electronically Dimming Glass From Boeing's Dreamliner Is Headed For Your Next Car. Available at: <https://www.motortrend.com/news/electrochromic-glass-gentex-boeing-dreamliner-future-tech/>
3. Djaoued, Y., Balaji, S., Brüning, R. (2012). Electrochromic Devices Based on Porous Tungsten Oxide Thin Films. *Journal of Nanomaterials*, 2012, 1–9. doi: <https://doi.org/10.1155/2012/674168>
4. Jittiarporn, P., Badilescu, S., Al Sawafta, M. N., Sikong, L., Truong, V.-V. (2017). Electrochromic properties of sol-gel prepared hybrid transition metal oxides – A short review. *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, 2 (3), 286–300. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2017.08.005>
5. Neiva, E. G. C., Oliveira, M. M., Bergamini, M. F., Marcolino, L. H., Zarbin, A. J. G. (2016). One material, multiple functions: graphene/Ni(OH)<sub>2</sub> thin films applied in batteries, electrochromism and sensors. *Scientific Reports*, 6 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/srep33806>
6. Park, S.-I., Quan, Y.-J., Kim, S.-H., Kim, H., Kim, S., Chun, D.-M. et. al. (2016). A review on fabrication processes for electrochromic devices. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3 (4), 397–421. doi: <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0049-8>
7. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Kovalenko, P. V., Solovov, V. A., Deabate, S., Mehdi, A. et. al. (2017). Advanced electrochromic Ni(OH)<sub>2</sub>/PVA films formed by electrochemical template synthesis. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12 (13), 3962–3977.
8. Smart Windows: Energy Efficiency with a View (2010). Available at: <https://www.nrel.gov/news/features/2010/1555.html>
9. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L., Zima, A. S., Kirillova, E. A., Burkov, A. A., Kobylinska, N. G. et. al. (2019). Optimization of electrolyte composition for the cathodic template deposition of Ni(OH)<sub>2</sub>-based electrochromic films on FTO glass. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14 (2), 344–353.
10. Kotok, V. A., Kovalenko, V. L. (2019). Non-Metallic Films Electroplating on the Low-Conductivity Substrates: The Conscious Selection of Conditions Using Ni(OH)<sub>2</sub> Deposition as an Example. *Journal of The Electrochemical Society*, 166 (10), D395–D408. doi: <https://doi.org/10.1149/2.0561910jes>
11. Kotok, V. A., Malyshev, V. V., Solovov, V. A., Kovalenko, V. L. (2017). Soft Electrochemical Etching of FTO-Coated Glass for Use in

- Ni(OH)<sub>2</sub>-Based Electrochromic Devices. *ECS Journal of Solid State Science and Technology*, 6 (12), P772–P777. doi: <https://doi.org/10.1149/2.0071712jss>
12. Kotok, V., Kovalenko, V. (2020). A study of the increased temperature influence on the electrochromic and electrochemical characteristics of Ni(OH)<sub>2</sub>-PVA composite films. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (6 (105)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.205352>
  13. Kristýna, Š., Štěpán, H., Eliška, O., Miloš, P., Hakan, F. (2020). Effect of artificial weathering and temperature cycling on the adhesion strength of waterborne acrylate coating systems used for wooden windows. *Journal of Green Building*, 15 (1), 1–14. doi: <https://doi.org/10.3992/1943-4618.15.1.1>
  14. Ajibola, O. O. (2016). Evaluation of Electroless-Nickel Plated Polypropylene under Thermal Cycling and Mechanical Tests. *Tribology in Industry*, 38 (3), 412–424.
  15. Okazaki, M., Yamagishi, S., Yamazaki, Y., Ogawa, K., Waki, H., Arai, M. (2013). Adhesion strength of ceramic top coat in thermal barrier coatings subjected to thermal cycles: Effects of thermal cycle testing method and environment. *International Journal of Fatigue*, 53, 33–39. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2012.02.014>
  16. Maurel, V., Guipont, V., Theveneau, M., Marchand, B., Coudon, F. (2019). Thermal cycling damage monitoring of thermal barrier coating assisted with LASAT (LAsER Shock Adhesion Test). *Surface and Coatings Technology*, 380, 125048. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125048>
  17. Kwon, W.-S., Yim, M.-J., Paik, K.-W., Ham, S.-J., Lee, S.-B. (2005). Thermal Cycling Reliability and Delamination of Anisotropic Conductive Adhesives Flip Chip on Organic Substrates With Emphasis on the Thermal Deformation. *Journal of Electronic Packaging*, 127 (2), 86–90. doi: <https://doi.org/10.1115/1.1846062>
  18. Dadaniya, A., Datla, N. V. (2020). Degradation prediction of encapsulant-glass adhesion in the photovoltaic module under outdoor and accelerated exposures. *Solar Energy*, 208, 419–429. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.08.016>
  19. Sonawane, D., Ramamurthy, P. C., Kumar, P. (2020). Mechanical Reliability of Photovoltaic Cells under Cyclic Thermal Loading. *Journal of Electronic Materials*, 49 (1), 59–71. doi: <https://doi.org/10.1007/s11664-019-07618-4>
  20. Kotok, V., Kovalenko, V., Malyshev, V. (2017). Comparison of oxygen evolution parameters on different types of nickel hydroxide. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (12 (89)), 12–19. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109770>
  21. Kotok, V., Kovalenko, V. (2017). Optimization of nickel hydroxide electrode of the hybrid supercapacitor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (6 (85)), 4–9. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.90810>
  22. Kotok, V., Kovalenko, V. (2018). Definition of the aging process parameters for nickel hydroxide in the alkaline medium. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (12 (92)), 54–60. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127764>
  23. Hall, D. S., Lockwood, D. J., Bock, C., MacDougall, B. R. (2015). Nickel hydroxides and related materials: a review of their structures, synthesis and properties. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 471 (2174), 20140792. doi: <https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0792>
  24. Rajamathi, M., Subbanna, G. N., Kamath, P. V. (1997). On the existence of a nickel hydroxide phase which is neither  $\alpha$  nor  $\beta$ . *Journal of Materials Chemistry*, 7 (11), 2293–2296. doi: <https://doi.org/10.1039/a700390k>
  25. Jayashree, R. S., Kamath, P. V. (1999). Factors governing the electrochemical synthesis of  $\alpha$ -nickel (II) hydroxide. *Journal of Applied Electrochemistry*, 29 (4), 449–454. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1003493711239>
  26. Elbaz, Y., Furman, D., Caspary Toroker, M. (2018). Hydrogen transfer through different crystal phases of nickel oxy/hydroxide. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 20 (39), 25169–25178. doi: <https://doi.org/10.1039/c8cp01930d>
  27. Van der Ven, A., Morgan, D., Meng, Y. S., Ceder, G. (2006). Phase Stability of Nickel Hydroxides and Oxyhydroxides. *Journal of The Electrochemical Society*, 153 (2), A210. doi: <https://doi.org/10.1149/1.2138572>
  28. Thimmasandra Narayan, R. (2015). Effect of Crystallinity of  $\beta$ - and  $\beta$ c-Nickel Hydroxide Samples on Chemical Cycling. *Indian Journal of Materials Science*, 2015, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1155/2015/820193>
- 
- DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217282**  
**DEVELOPMENT OF COBALT-FREE OXIDE**  
**(Sm<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.8</sub>Cr<sub>0.2</sub>O<sub>3- $\delta$</sub> ) CATHODE FOR**  
**INTERMEDIATE-TEMPERATURE SOLID OXIDE FUEL**  
**CELLS (IT-SOFCs) (p. 15–20)**
- Iwan Susanto**  
 Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7120-0374>
- Dianta Mustofa Kamal**  
 Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9336-8936>
- Sidiq Ruswanto**  
 Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5760-2705>
- Rahmat Subarkah**  
 Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3590-8110>
- Fuad Zainuri**  
 Politeknik Negeri Jakarta, Depok, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8996-281X>
- Sulaksana Permana**  
 Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3473-5892>
- Johny Wahyuadi Soedarsono**  
 Universitas Indonesia, Depok, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6051-2866>
- Adi Subardi**  
 Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, Kabupaten Sleman,  
 Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0867-3624>
- Yen-Pei Fu**  
 National Dong Hwa University, Shoufeng Township,  
 Hualien, Taiwan  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2472-4981>
- A cobalt-free perovskite oxide Sm<sub>0.5</sub>Sr<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.8</sub>Cr<sub>0.2</sub>O<sub>3- $\delta$</sub>  (SS-FC) has been exploited as a novel cathode for intermediate-temperature solid oxide fuel cells (IT-SOFCs). The cathode model was synthesized with the addition of the chromium element in the B side of the composite metallic oxide system, which was then

formed by the solid-state reaction method. The model system was further characterized in detail for getting the properties behavior. The solid-state reaction of the SSFC system was observed through thermal gravimetric analysis. Meanwhile, the structural properties were investigated by x-ray diffraction, and the weight loss was examined by the thermal gravimetric analysis as well. Furthermore, the thermal expansion coefficient was determined by the thermal-mechanical analysis, and the conductivity properties were tested by the thermal conductivity analysis. The result showed that the SSFC cathode demonstrated the crystalline structure based on the design with a perovskite phase. The oxygen content created on the model structure was obtained to be 2.98 after the calcination process. The average thermal expansion coefficient was achieved up to  $5.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  as the heating given up to  $800^\circ\text{C}$ . Moreover, the conductivity value reached from  $2 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$  at  $400^\circ\text{C}$  and it increased to be a maximum of  $7.5 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$  at  $700^\circ\text{C}$ . In addition, the presence of  $\text{Cr}^{6+}$  cation valence coordinated with the oxygen anion could lead to generating a large concentration of oxygen vacancies on the cathode surface, facilitating the transport of the  $\text{O}^{2-}$  anion in the cathode system. Based on these results, the SSFC cathode has good properties as a composite system promising for IT-SOFCs application in the future.

**Keywords:** solid oxide fuel cells, cobalt-free cathode, perovskite structure, oxygen content, conductivity.

## References

- Wakui, T., Yokoyama, R., Shimizu, K. (2010). Suitable operational strategy for power interchange operation using multiple residential SOFC (solid oxide fuel cell) cogeneration systems. *Energy*, 35 (2), 740–750. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.09.029>
- Fernandes, A., Woudstra, T., van Wijk, A., Verhoef, L., Aravind, P. V. (2016). Fuel cell electric vehicle as a power plant and SOFC as a natural gas reformer: An exergy analysis of different system designs. *Applied Energy*, 173, 13–28. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.107>
- Naimaster, E. J., Sleiti, A. K. (2013). Potential of SOFC CHP systems for energy-efficient commercial buildings. *Energy and Buildings*, 61, 153–160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.045>
- Song, X., Le, S., Zhu, X., Qin, L., Luo, Y., Li, Y. et. al. (2017). High performance  $\text{BaFe}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_{3-\delta}$  as cobalt-free cathodes for intermediate temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (24), 15808–15817. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.05.061>
- Zhu, M., Cai, Z., Xia, T., Li, Q., Huo, L., Zhao, H. (2016). Cobalt-free perovskite  $\text{BaFe}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}_{3-\delta}$  cathode material for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41 (8), 4784–4791. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.01.071>
- Yao, C., Zhang, H., Liu, X., Meng, J., Meng, J., Meng, F. (2019). A niobium and tungsten co-doped  $\text{SrFeO}_3$  perovskite as cathode for intermediate temperature solid oxide fuel cells. *Ceramics International*, 45 (6), 7351–7358. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.019>
- Yang, H., Gu, Y., Zhang, Y., Zheng, Y., Zhang, Z., Ge, L. et. al. (2019). Sr-substituted  $\text{SmBa}_{0.75}\text{Ca}_{0.25}\text{CoFeO}_{5+\delta}$  as a cathode for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 770, 616–624. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.08.143>
- Liu, H., Zhu, K., Liu, Y., Li, W., Cai, L., Zhu, X. et. al. (2018). Structure and electrochemical properties of cobalt-free perovskite cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Electrochimica Acta*, 279, 224–230. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.05.086>
- Subardi, A., Chen, C.-C., Cheng, M.-H., Chang, W.-K., Fu, Y.-P. (2016). Electrical, thermal and electrochemical properties of  $\text{SmBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode materials for intermediate-temperature solid oxide fuel cells. *Electrochimica Acta*, 204, 118–127. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2016.04.069>
- Zhao, L., He, B., Zhang, X., Peng, R., Meng, G., Liu, X. (2010). Electrochemical performance of novel cobalt-free oxide  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  for solid oxide fuel cell cathode. *Journal of Power Sources*, 195 (7), 1859–1861. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2009.09.078>
- Li, C.-H., Hu, S.-H., Tay, K.-W., Fu, Y.-P. (2012). Electrochemical characterization of gradient  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_{3-\delta}$  cathodes on  $\text{Ce}_{0.8}\text{Sm}_{0.2}\text{O}_{1.9}$  electrolytes for solid oxide fuel cells. *Ceramics International*, 38 (2), 1557–1562. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.09.041>
- Javed, M. S., Shaheen, N., Idrees, A., Hu, C., Raza, R. (2017). Electrochemical investigations of cobalt-free perovskite cathode material for intermediate temperature solid oxide fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (15), 10416–10422. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.02.045>
- Ling, Y., Zhang, X., Wang, Z., Wang, S., Zhao, L., Liu, X., Lin, B. (2013). Potentiality of cobalt-free perovskite  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.9}\text{Mo}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  as a single-phase cathode for intermediate-to-low-temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38 (33), 14323–14328. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.089>
- Subardi, A., Liao, K.-Y., Fu, Y.-P. (2019). Oxygen transport, thermal and electrochemical properties of  $\text{NdBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_2\text{O}_{5+\delta}$  cathode for SOFCs. *Journal of the European Ceramic Society*, 39 (1), 30–40. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2018.01.022>
- Baharuddin, N. A., Muchtar, A., Somalu, M. R. (2017). Short review on cobalt-free cathodes for solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42 (14), 9149–9155. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.04.097>
- Baharuddin, N. A., Muchtar, A., Somalu, M. R., Kalib, N. S., Raduwan, N. F. (2019). Synthesis and characterization of cobalt-free  $\text{SrFe}_{0.8}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  cathode powders synthesized through combustion method for solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (58), 30682–30691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.142>
- Meng, X., Lü, S., Yu, W. W., Ji, Y., Sui, Y., Wei, M. (2018). Layered perovskite  $\text{LnBa}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Cu}_2\text{O}_{5+\delta}$  (Ln=Pr and Nd) as cobalt-free cathode materials for solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43 (9), 4458–4470. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.01.033>
- Ding, X., Gao, X., Zhu, W., Wang, J., Jiang, J. (2014). Electrode redox properties of  $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  as cobalt free cathode materials for intermediate-temperature SOFCs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (23), 12092–12100. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.06.009>
- Yin, J.-W., Yin, Y.-M., Lu, J., Zhang, C., Minh, N. Q., Zhang, W., Ma, Z.-F. (2014).  $\text{Nd}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta-x}\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{O}_{1.9}$  cobalt-free composite cathodes for intermediate temperature solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39 (31), 17852–17856. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.08.131>
- He, Z., Xia, L., Chen, Y., Yu, J., Huang, X., Yu, Y. (2015). Layered perovskite  $\text{Sm}_{1-x}\text{La}_x\text{BaFe}_2\text{O}_{5+\delta}$  as cobalt-free cathodes for IT-SOFCs. *RSC Advances*, 5 (71), 57592–57598. doi: <https://doi.org/10.1039/c5ra09762b>

21. Baharuddin, N. A., Mohd Nazrul Aman, N. A., Muchtar, A., Somalu, M. R., Abdul Samat, A., Aznam, M. I. (2019). Structural, morphological, and electrochemical behavior of titanium-doped  $\text{SrFe}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_{3-\delta}$  ( $x=0.1-0.5$ ) perovskite as a cobalt-free solid oxide fuel cell cathode. *Ceramics International*, 45 (10), 12903–12909. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.216>
22. Cai, H., Zhang, L., Xu, J., Huang, J., Wei, X., Wang, L. et. al. (2019). Cobalt-free  $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.9}\text{Mo}_{0.1}\text{O}_3$ - electrode for symmetrical SOFC running on  $\text{H}_2$  and CO fuels. *Electrochimica Acta*, 320, 134642. doi: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.134642>
23. Chen, M., Paulson, S., Kan, W. H., Thangadurai, V., Birss, V. (2015). Surface and bulk study of strontium-rich chromium ferrite oxide as a robust solid oxide fuel cell cathode. *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (45), 22614–22626. doi: <https://doi.org/10.1039/c5ta05815e>
24. Niu, Y., Lv, W., Chen, D., Han, J., He, W. (2019). A model study on correlation between microstructure-gas diffusion and Cr deposition in porous LSM/YSZ cathodes of solid oxide fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (33), 18319–18329. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.115>
25. Parveen, I. M., Asvini, V., Saravanan, G., Ravichandran, K., Kalaiselvi, D. (2019). Deficiency of  $\text{O}_2$  molecules enhances ionic conductivity in Cr-doped O-Ce-O for solid oxide fuel cell applications. *Ceramics International*, 45 (10), 13127–13137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.03.247>
26. Lu, J., Yin, Y.-M., Yin, J., Li, J., Zhao, J., Ma, Z.-F. (2015). Role of Cu and Sr in Improving the Electrochemical Performance of Cobalt-Free  $\text{Pr}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Fe}_{1-y}\text{Cu}_y\text{O}_{3-\delta}$  Cathode for Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells. *Journal of The Electrochemical Society*, 163 (2), F44–F53. doi: <https://doi.org/10.1149/2.0181602jes>
27. Zhang, C., Zhao, H. (2012). A novel cobalt-free cathode material for proton-conducting solid oxide fuel cells. *Journal of Materials Chemistry*, 22 (35), 18387. doi: <https://doi.org/10.1039/c2jm32627b>
28. Yin, J.-W., Yin, Y.-M., Lu, J., Zhang, C., Minh, N. Q., Ma, Z.-F. (2014). Structure and Properties of Novel Cobalt-Free Oxides  $\text{Nd}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Fe}_{0.8}\text{Cu}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  ( $0.3 \leq x \leq 0.7$ ) as Cathodes of Intermediate Temperature Solid Oxide Fuel Cells. *The Journal of Physical Chemistry C*, 118 (25), 13357–13368. doi: <https://doi.org/10.1021/jp500371w>
29. Yin, S., Li, M., Zeng, Y., Li, C., Chen, X., Ye, Z. (2014). Study of  $\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{O}_{1.9}$  (SDC) electrolyte prepared by a simple modified solid-state method. *Journal of Rare Earths*, 32 (8), 767–771. doi: [https://doi.org/10.1016/s1002-0721\(14\)60138-1](https://doi.org/10.1016/s1002-0721(14)60138-1)
30. Li, S., Lü, Z., Huang, X., Su, W. (2008). Thermal, electrical, and electrochemical properties of Nd-doped  $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  as a cathode material for SOFC. *Solid State Ionics*, 178 (35-36), 1853–1858. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2007.11.016>
31. Chen, M., Paulson, S., Thangadurai, V., Birss, V. (2013). Sr-rich chromium ferrites as symmetrical solid oxide fuel cell electrodes. *Journal of Power Sources*, 236, 68–79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.02.024>

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220489

**DEVISING A TECHNIQUE TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF CdS/CdTe/Cu/Au SOLAR CELLS INTENDED FOR USE AS A BACKUP POWER SOURCE FOR THE SYSTEMS OF SAFETY AND CONTROL OF OBJECTS (p. 21–27)**

**Natalya Deyneko**

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

**Alexander Zhuravel**

Design and Technology Institute of Micrographics,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0165-268X>

**Liudmyla Mikhailova**

State Agrarian and Engineering University in Podilia,  
Kamianets-Podilsky, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3419-5446>

**Arthur Onyshchenko**

National Transport University, Kyiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

**Alexander Savchenko**

National University of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1305-7415>

**Victor Strelets**

National University of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9109-8714>

**Elena Naden**

National University of Civil Defence of Ukraine,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3488-0662>

**Yevhen Yurevych**

Design and Technology Institute of Micrographics,  
Kharkiv, Ukraine  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7695-5397>

This paper reports a study into the impact of cadmium telluride layer thickness on the effectiveness of the CdS/CdTe/Cu/Au film solar cells. The physical mechanisms have been investigated of charge transfer in the CdS/CdTe/Cu/Au solar cells, which are intended for use as a backup power source for the systems of safety and control of objects. This is important because, despite the growing popularity of solar cell application, the effectiveness of laboratory samples differs greatly from the theoretical maximum. Thus, it has been established that the optimum thickness of the base layer of film CdS/CdTe/Cu/Au SCs is 4  $\mu\text{m}$ . When the thickness of the cadmium telluride layer is reduced, the effectiveness of such an assembly decreases. The decrease in efficiency occurs as a result of reducing the shunting electric resistance, increasing the density of a diode saturation current, as well as consistent electric resistance. With the increase in the thickness of the telluride layer exceeding 4  $\mu\text{m}$ , there is also a decrease in the efficiency of a solar cell due to the reduced shunting resistance and the increased serial electric resistance. The deterioration of the specified light diode characteristics of CdS/CdTe/Cu/Au SCs, which occurs when the thickness of the base layer is reduced by more than 4  $\mu\text{m}$ , is due to the diffusion of copper from the contact to the area of the separating barrier. The deterioration of light diode characteristics when increasing the thickness of the base layer of cadmium telluride is associated with a decrease in the positive effects of “chloride” treatment. The examined physical charge transfer mechanisms in the CdS/CdTe/Cu/Au solar cells have made it possible to establish the height of the rear potential barrier. In the samples studied, the height of the rear potential barrier is 0.3 eV. The existence of such a barrier gives rise to the thermal-emission mechanism of charge transfer in such solar cells when applying a direct offset exceeding 1 V.

**Keywords:** cadmium telluride, efficiency improvement, backup power, security and control systems, emergency.

## References

- CHEMICAL SECURITY. DHS Could Use Available Data to Better Plan Outreach to Facilities Excluded from Anti-Terrorism Standards. GAO-20-722. Available at: <https://www.gao.gov/assets/710/709739.pdf>
- Webb, R. (2019). Warehouse Risk Management: Is Your Facility Secure? ClearRisk. Available at: <https://www.clearrisk.com/risk-management-blog/is-your-warehouse-secure>
- Patru, G.-C., Tranca, D.-C., Costea, C.-M., Rosner, D., Rughinis, R.-V. (2019). LoRA based, low power remote monitoring and control solution for Industry 4.0 factories and facilities. 2019 18th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research (RoEduNet). doi: <https://doi.org/10.1109/roedunet.2019.8909499>
- Gaol, F. L., Soewito, B. (2015). Selected Peer-Reviewed Articles from the 3rd International Conference on Internet Services Technology and Information Engineering 2015 (ISTIE 2015), Discovery Kartika Plaza Hotel, Kuta, Bali, Indonesia, 30–31 May, 2015. *Advanced Science Letters*, 21 (10), 2947–2951. doi: <https://doi.org/10.1166/asl.2015.6431>
- Stallings, W. (2017). *Physical Security Essentials*. Computer and Information Security Handbook, 965–979. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803843-7.00069-7>
- Yang, D., Yin, H. (2011). Energy Conversion Efficiency of a Novel Hybrid Solar System for Photovoltaic, Thermoelectric, and Heat Utilization. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26 (2), 662–670. doi: <https://doi.org/10.1109/tec.2011.2112363>
- Gaur, A., Tiwari, G. N. (2013). Performance of Photovoltaic Modules of Different Solar Cells. *Journal of Solar Energy*, 2013, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/734581>
- Van de Kaa, G., Rezaei, J., Kamp, L., de Winter, A. (2014). Photovoltaic technology selection: A fuzzy MCDM approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32, 662–670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.044>
- Khrypunov, G., Vambol, S., Deyneko, N., Sychikova, Y. (2016). Increasing the efficiency of film solar cells based on cadmium telluride. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (84)), 12–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85617>
- Bolbas, O., Deyneko, N., Yermenko, S., Kyrillova, O., Myrgorod, O., Soshinsky, O. et. al. (2019). Degradation of CdTe SC during operation: modeling and experiment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (12 (102)), 46–51. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.185628>
- Deyneko, N., Kovalev, P., Semkiv, O., Khmyrov, I., Shevchenko, R. (2019). Development of a technique for restoring the efficiency of film ITO/CdS/CdTe/Cu/Au SCs after degradation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (97)), 6–12. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.156565>
- Guanggan, Z., Jingquan, Z., Xulin, H., Bing, L., Lili, W., Lianghuan, F. (2013). The effect of irradiation on the mechanism of charge transport of CdTe solar cell. 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC). doi: <https://doi.org/10.1109/pvsc.2013.6745054>
- Deyneko, N. (2020). Study of Methods for Producing Flexible Solar Cells for Energy Supply of Emergency Source Control. *Materials Science Forum*, 1006, 267–272. doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.1006.267>
- Singh, G. K. (2013). Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. *Energy*, 53, 1–13. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.057>
- Chien, Z.-J., Cho, H.-P., Jwo, C.-S., Chien, C.-C., Chen, S.-L., Chen, Y.-L. (2013). Experimental Investigation on an Absorption Refrigerator Driven by Solar Cells. *International Journal of Photoenergy*, 2013, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1155/2013/490124>
- Huang, B.-J., Chen, C.-W., Hsu, P.-C., Tseng, W.-M., Wu, M.-S. (2012). Direct battery-driven solar LED lighting using constant-power control. *Solar Energy*, 86 (11), 3250–3259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.028>
- Chen, Y.-L., Yu, C.-W., Chien, Z.-J., Liu, C.-H., Chiang, H.-H. (2014). On-Road Driver Monitoring System Based on a Solar-Powered In-Vehicle Embedded Platform. *International Journal of Photoenergy*, 2014, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1155/2014/309578>
- Moeslund, T. B., Hilton, A., Krüger, V. (2006). A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. *Computer Vision and Image Understanding*, 104 (2-3), 90–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2006.08.002>
- Haritaoglu, I., Harwood, D., Davis, L. S. (2000). W/sup 4/: real-time surveillance of people and their activities. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22 (8), 809–830. doi: <https://doi.org/10.1109/34.868683>
- Turk, M. (2004). Computer vision in the interface. *Communications of the ACM*, 47 (1), 60. doi: <https://doi.org/10.1145/962081.962107>
- Mamazza, R., Balasubramanian, U., More, D. L., Ferekides, C. S. (2002). Thin films of CdIn/sub 2/O/sub 4/ as transparent conducting oxides. *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002*. doi: <https://doi.org/10.1109/pvsc.2002.1190640>
- Minami, T., Kakumu, T., Takeda, Y., Takata, S. (1996). Highly transparent and conductive ZnO In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films prepared by d.c. magnetron sputtering. *Thin Solid Films*, 290-291, 1–5. doi: [https://doi.org/10.1016/s0040-6090\(96\)09094-3](https://doi.org/10.1016/s0040-6090(96)09094-3)
- Venkatesan, M., McGee, S., Mitra, U. (1989). Indium tin oxide thin films for metallization in microelectronic devices. *Thin Solid Films*, 170 (2), 151–162. doi: [https://doi.org/10.1016/0040-6090\(89\)90719-0](https://doi.org/10.1016/0040-6090(89)90719-0)
- Jeong, W.-J., Park, G.-C. (2001). Electrical and optical properties of ZnO thin film as a function of deposition parameters. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 65 (1-4), 37–45. doi: [https://doi.org/10.1016/s0927-0248\(00\)00075-1](https://doi.org/10.1016/s0927-0248(00)00075-1)
- Meriuts, A. V., Khrypunov, G. S., Shelest, T. N., Deyneko, N. V. (2010). Features of the light current-voltage characteristics of bifacial solar cells based on thin CdTe layers. *Semiconductors*, 44 (6), 801–804. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063782610060187>
- Khrypunov, G. S., Chernykh, E. P., Kovtun, N. A., Belonogov, E. K. (2009). Flexible solar cells based on cadmium sulfide and telluride. *Semiconductors*, 43 (8), 1046–1051. doi: <https://doi.org/10.1134/s1063782609080156>
- Boyko, B. T., Khrypunov, G. S., Meriuts, A. V., Chernykh, O. P. (2005). The Investigation ITO/CdS/CdTe/Cu/Au Thin Film Solar Cells. *Physics and chemistry of solid state*, 6 (2), 295–298.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220445

#### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF INDUCTOR SATURATION ON THE LEVEL OF ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE OF DC/DC-CONVERTERS (p. 28–37)

Vladimir Makarenko

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1232-5198>

**Olexy Lukashev**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9217-4504>

The results of the study on the effect of the design parameters of a nonlinear inductor on the level of electromagnetic interference generated by DC/DC converters are presented. The paper proposes models designed for the LTspice XVII environment, which allow investigating conducted interference spectra, efficiency and output voltage ripple of the converter using a nonlinear inductor model. The simulation results showed that the level of conducted interference is affected by the volume and material of the inductor core, as well as the presence of an air gap in the core. The results of measurements of conducted interference spectra at different values of the cross-sectional area of the inductor core of the DC/DC converter are presented. With the nominal cross-sectional area of the core, calculated taking into account converter output power, the study of the relationship between the level of conducted interference and the width of air gap in the inductor core is carried out. In the course of studies, using the Chan model, the influence of inductor core material on the level of interference generated by the DC/DC converter is analyzed. Analysis of the influence of the width of the air gap in the inductor core on the level of conducted interference is carried out. It is shown that air gap width should be selected taking into account inductor core material. Simulation results for a number of commonly used materials made it possible to determine the most effective one in terms of generated interference.

The results obtained in the analysis of switching voltage converter operation, taking into account inductor nonlinearity, allow us to formulate recommendations to reduce the level of generated conducted interference by 4.5 to 6 dB due to the correct choice of inductor material and design parameters.

**Keywords:** conducted interference, interference spectrum, nonlinear inductance, core material, air gap.

## References

- Makarenko, V., Pilinsky, V. (2019). The Influence on the Conductive Interference Operation Mode of the Magnetic Core. 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). doi: <https://doi.org/10.1109/elnano.2019.8783659>
- Chan, J. H., Vladimirescu, A., Gao, X.-C., Liebmann, P., Valainis, J. (1991). Nonlinear transformer model for circuit simulation. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 10 (4), 476–482. doi: <https://doi.org/10.1109/43.75630>
- Meares, L. G., Hymowitz, C. E. SPICE Models For Power Electronics. Available at: <http://www.intusoft.com/articles/satcore.pdf>
- Nana, B., Yamgoué, S. B., Tchitnga, R., Wofo, P. (2015). Simple Mathematical Model for Ferromagnetic Core Inductance and Experimental Validation. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 3 (2), 29–36. Available at: <http://www.sciepub.com/portal/downloads?doi=10.12691/ajeee-3-2-2&filename=ajeee-3-2-2.pdf>
- Modeling and simulation of nonlinear magnetic hysteresis. X-Engineer. Available at: <https://x-engineer.org/projects/modeling-simulation-nonlinear-magnetic-hysteresis/>
- Volodin, V. (2010). Gisterezisnaya model' nelineynoy induktivnosti simulyatora LTspice. *Silovaya elektronika*, 1, 56–60. Available at: [https://power-e.ru/wp-content/uploads/2010\\_1\\_56.pdf](https://power-e.ru/wp-content/uploads/2010_1_56.pdf)
- Selection of Inductors and Capacitors for DC/DC Converters (2017). Tech Web. Available at: [https://techweb.rohm.com/knowledge/dcdc/dcdc\\_pwm/dcdc\\_pwm02/2244](https://techweb.rohm.com/knowledge/dcdc/dcdc_pwm/dcdc_pwm02/2244)
- How to Choose the Right Inductor for DC-DC Buck Applications (2019). Passive Blog Components. Available at: <https://passive-components.eu/how-to-choose-the-right-inductor-for-dc-dc-buck-applications/>
- Brown, M. (2001). *Power Supply Cookbook*. Newnes, 280. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-7329-7.x5000-4>
- Rusu, A. (2019). Kak rasschitat' impul'sniy preobrazovatel' elektricheskoy energii? *RadioLotsman*, 5, 24–30. Available at: <https://www.rlocman.ru/book/book.html?di=589323>
- Magnetics MPP THINZ™ (2004). Magnetics. Bulletin NO. MPP-T1. Available at: <https://www.mag-inc.com/Media/Magnetics/File-Library/Product%20Literature/Powder%20Core%20Literature/MPPTHINZBulletinRev3.pdf?ext=.pdf>
- Inductance (2006). Design Information. Arnold Magnetic Technologies. Available at: <https://powermagnetics.co.uk/wp-content/uploads/2020/04/dPowder-Core-Design-Bulletin.pdf>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218542**

## IMPROVEMENT OF THE MODEL OF POWER LOSSES IN THE PULSED CURRENT TRACTION MOTOR IN AN ELECTRIC LOCOMOTIVE (p. 38–46)

**Sergey Goolak**

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2294-5676>

**Svitlana Sapronova**

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1482-1665>

**Viktor Tkachenko**

State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5513-2436>

**Ievgen Riabov**

National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”,  
Kharkiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0753-514X>

**Yevhenii Batrak**

National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3027-4507>

When studying transients in pulsed current traction motors, it is important to take into consideration the eddy and hysteresis losses in engine steel. Magnetic losses are a function of the magnetization reversal frequency, which, in turn, is a function of the engine shaft rotation frequency. In other words, magnetic losses are a function of time. Existing calculation procedures do not make it possible to derive the instantaneous values of magnetic losses as they are based on determining average losses over a period.

This paper proposes an improved model of magnetic losses in the steel of a pulsed current traction motor as a function of time, based on the equations of specific losses.

The adequacy criteria of the procedure for determining magnetic losses in electrical steel have been substantiated: the possibility to derive instantaneous values of magnetic losses in the magnetic material as a function of time; the possibility of its application for any magnetic material; and the simplicity of

implementation. The procedure for determining magnetic losses in the steel of a pulsed current traction motor has been adapted by taking into consideration the magnetic properties of steel and the geometry of the engine's magnetic circuit. In order to determine the coercive force, the coefficient of accounting for the losses due to eddy currents, as well as the coefficient that considers the losses on hysteresis, the specifications' characteristics of specific losses in steel have been approximated using the pulsed current traction motor as an example. The simulated model of magnetic losses by the pulsed current traction motor has demonstrated the procedure for determining average magnetic losses and time diagrams of magnetic losses.

The proposed model for determining magnetic losses could be used for any magnetic material and any engine geometry under the condition of known material properties and the characteristics of change in the magnetic flux density in geometry.

**Keywords:** magnetic losses, eddy currents, hysteresis, traction motor, universal magnetic characteristic.

### References

- Mikhailov, E., Saponova, S., Tkachenko, Semenov, V., Smyrnova, I., Kholostenko, Y. (2019). Improved solution of guiding of railway vehicle in curves. Proceedings of 23rd International Scientific Conference. Transport Means 2019. Palanga, 916–921. Available at: <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/307/2018/02/Transport-means-2019-Part-2.pdf>
- Saponova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hatchenko, V., Maliuk, S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (90)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116194>
- Goolak, S., Gubarevych, O., Yermolenko, E., Slobodyanyuk, M., Gorobchenko, O. (2020). Mathematical modeling of an induction motor for vehicles. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (2 (104)), 25–34. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.199559>
- Goolak, S., Gerlici, J., Tkachenko, V., Saponova, S., Lack, T., Kravchenko, K. (2019). Determination of Parameters of Asynchronous Electric Machines with Asymmetrical Windings of Electric Locomotives. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 21 (2), 24–31. doi: <https://doi.org/10.26552/com.c.2019.2.24-31>
- Belkina, E. N., Zhukov, A. S. (2015). Analiz sposobov approksimatsii krivoy namagnichivaniya elektrotehnicheskoy stali. Innovatsionnaya nauka, 5, 22–27.
- Sandomirskii, S. G. (2016). Structural and phase sensitivity of the maximum differential magnetic susceptibility of steel. Russian Metallurgy (Metally), 2016 (7), 619–624. doi: <https://doi.org/10.1134/s0036029516070144>
- Chang, L., Jahns, T. M., Blissenbach, R. (2019). Generalized Dynamic Hysteresis Model for Improved Iron Loss Estimation of Complex Flux Waveforms. IEEE Transactions on Magnetics, 55 (7), 1–13. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2018.2889239>
- Shi, P., Jin, K., Zhang, P., Xie, S., Chen, Z., Zheng, X. (2018). Quantitative Inversion of Stress and Crack in Ferromagnetic Materials Based on Metal Magnetic Memory Method. IEEE Transactions on Magnetics, 54 (10), 1–11. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2018.2856894>
- Kachniarz, M., Szweczyk, R. (2017). Study on the Rayleigh Hysteresis Model and its Applicability in Modeling Magnetic Hysteresis Phenomenon in Ferromagnetic Materials. Acta Physica Polonica A, 131 (5), 1244–1250. doi: <https://doi.org/10.12693/apphyspola.131.1244>
- Meeker, D. C., Filatov, A. V., Maslen, E. H. (2004). Effect of Magnetic Hysteresis on Rotational Losses in Heteropolar Magnetic Bearings. IEEE Transactions on Magnetics, 40 (5), 3302–3307. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2004.831664>
- De la Barriere, O., Ragusa, C., Appino, C., Fiorillo, F. (2019). Loss Prediction in DC-Biased Magnetic Sheets. IEEE Transactions on Magnetics, 55 (10), 1–14. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2019.2921000>
- Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Saponova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
- Okorokov, A., Fomin, O., Lovska, A., Vernigora, R., Zhuravel, I., Fomin, V. (2018). Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (93)), 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>
- Schauerte, B., Steentjes, S., Thul, A., Hameyer, K. (2019). Iron-loss model for arbitrary magnetization loci in NO electrical steel. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, 61, S89–S96. doi: <https://doi.org/10.3233/jae-191599>
- Ragusa, C., Zhao, H., Appino, C., Khan, M., de la Barriere, O., Fiorillo, F. (2016). Loss Decomposition in Non-Oriented Steel Sheets: The Role of the Classical Losses. IEEE Magnetics Letters, 7, 1–5. doi: <https://doi.org/10.1109/lmag.2016.2604204>
- Liu, R., Li, L. (2019). Calculation Method of Magnetic Material Losses Under DC Bias Using Statistical Loss Theory and Energetic Hysteresis Model. IEEE Transactions on Magnetics, 55 (10), 1–4. doi: <https://doi.org/10.1109/tmag.2019.2921357>
- Zhao, H., Ragusa, C., Appino, C., de la Barriere, O., Wang, Y., Fiorillo, F. (2019). Energy Losses in Soft Magnetic Materials Under Symmetric and Asymmetric Induction Waveforms. IEEE Transactions on Power Electronics, 34 (3), 2655–2665. doi: <https://doi.org/10.1109/tpe.2018.2837657>
- Barg, S., Ammous, K., Mejri, H., Ammous, A. (2017). An Improved Empirical Formulation for Magnetic Core Losses Estimation Under Nonsinusoidal Induction. IEEE Transactions on Power Electronics, 32 (3), 2146–2154. doi: <https://doi.org/10.1109/tpe.2016.2555359>
- Yue, S., Yang, Q., Li, Y., Zhang, C. (2018). Core loss calculation for magnetic materials employed in SMPS under rectangular voltage excitations. AIP Advances, 8 (5), 056121. doi: <https://doi.org/10.1063/1.5007201>
- Gubarevych, O., Goolak, S., Gorobchenko, O., Skliarenko, I. (2020). Refined approach to the losses calculation of pulsating current traction engine. Technical sciences and technologies, 1 (19), 206–227. doi: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1\(19\)-206-227](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1(19)-206-227)
- Raulin, V., Radun, A., Husain, I. (2004). Modeling of Losses in Switched Reluctance Machines. IEEE Transactions on Industry Applications, 40 (6), 1560–1569. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2004.836225>
- Eremín, G. N. (2017). Improved standards regarding electrical steel and precision alloys. Steel in Translation, 47 (2), 144–147. doi: <https://doi.org/10.3103/s0967091217020048>

23. Tey, W. Y., Lee, K. M., Asako, Y., Tan, L. K., Arai, N. (2020). Multivariable power least squares method: Complementary tool for Response Surface Methodology. *Ain Shams Engineering Journal*, 11 (1), 161–169. doi: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.002>
24. Nekhaev, V. A., Nikolaev, V. A., Smalev, A. N., Vedruchenko, V. R. (2019). To the estimation of the locomotive power. *Journal of Transsib Railway Studies*, 3 (39), 14–31.
25. Gorobchenko, O., Fomin, O., Fomin, V., Kovalenko, V. (2018). Study of the influence of electric transmission parameters on the efficiency of freight rolling stock of direct current. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (3 (91)), 60–67. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121713>
26. Matyuk, V. F., Osipov, A. A. (2011). The mathematical models of the magnetization curve and the magnetic hysteresis loops. Part 1. Analysis of models. *Nerazrushayushchiy kontrol' i diagnostika*, 2, 3–35.
27. Kulinich, Y. M., Shukharev, S. A., Drogolov, D. Y. (2019). Simulation of the pulsating current traction motor. *Vestnik of the Railway Research Institute*, 78 (5), 313–319. doi: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-5-319>
28. Afanasov, A. M. (2014). Rational modes determination of traction motors loading-back for electric rolling stock in mainline and industrial transport. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 4 (52), 67–74. doi: <https://doi.org/10.15802/stp2014/27322>
29. Harlamov, V. V. (2002). *Metody i sredstva diagnostirovaniya tehnikeskogo sostoyaniya kollektorno-shchetchnogo uzla tyagovykh elektrovigateley i drugih kollektornykh mashin postoyannogo toka*. Omsk, 233.
30. Zavalishin, N. N., Nikolaev, E. V. (2017). Resistance test modes of traction motors of rolling stock in different types of excitation. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 1 (321), 139–145.
31. Kopylov, I. P. (2018). *Proektirovanie elektricheskikh mashin*. Ch. 2. Moscow: Yurayt, 276.
32. Kim, K. K., Ivanov, S. N. (2016). The influence of limiting factors on electric machines electromagnetic power. *Scholarly Notes of Komsomolsk-Na-Amure State Technical University*, 1 (2 (26)), 4–8. doi: [https://doi.org/10.17084/2016.ii-1\(26\).1](https://doi.org/10.17084/2016.ii-1(26).1)



DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220302

### ВПЛИВ ЗМІННИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОХРОМНИХ КОМПОЗИТНИХ ПЛІВОК $\text{Ni}(\text{OH})_2$ -ПВС (с. 6–14)

В. А. Коток, В. Л. Коваленко, И. Н. Анатайчук, А. В. Мочалов, Н. П. Макаренко, Р. К. Нафеев, В. В. Вербицкий

Електрохромне покриття – основа «розумних» вікон із змінними оптичними характеристиками. Проте не дивлячись на очевидні переваги при використанні «розумних» вікон в будівництві їх вартість висока.

Розглядані покриття отримані катодним темплатним методом, які більш економічні у виробництві. Представлені дослідження присвячені випробуванням при циклічних температурних навантаженнях – багаторазових охолодження і нагрівів. У статті показано вплив середовища і способу підведення (відведення) тепла до електрохромного електроду на основі композитного покриття  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ -ПВС, а також вплив підготовки поверхні перед її нанесенням.

Як середовище, в якій здійснювали циклічні температурні навантаження, використовували повітря або робочий електроліт – 0,1 М КОН. В якості попередньої підготовки прозорої електропровідної основи використовували електрохімічне травлення частини шару електропровідного прозорого покриття оксиду олова допованого фтором у розчині 1 М HCl.

Результатом серії експериментів стало виявлення сильного впливу температурних циклічних навантажень на кінцеві характеристики електрохромних плівок. Електрохромна плівка на зразку, який піддавали циклічним перепадам температур на повітрі і основі без травлення, практично повністю втратила електрохромні характеристики і адгезію. Зразок, який піддавали температурним навантаженням в розчині лугу, втратив рівномірність при фарбуванні.

З іншого боку, обидві плівки, які були отримані на травлених основах, показали в загальному випадку кращі характеристики, ніж зразки, осаджені без травлення, що піддавались температурним навантаженням на повітрі і в лузі. При цьому зразок, що був отриманий на основі з передобробкою травленням і піддавався температурному циклюванню в лузі за характеристиками був навіть дещо краще, ніж еталонний зразок.

**Ключові слова:** електрохромний пристрій, електрохімічне осадження, гідроксид нікелю, темплат, полівініловий спирт, температурні випробування.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.217282

### РОЗРОБКА БЕЗКОБАЛЬТОВОГО ОКСИДНОГО ( $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$ ) КАТОДА ДЛЯ СЕРЕДНЬОТЕМПЕРАТУРНИХ ТВЕРДОКСИДНИХ ПАЛИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ (СТ-ТОПЕ) (с. 15–20)

Iwan Susanto, Dianta Mustofa Kamal, Sidiq Ruswanto, Rahmat Subarkah, Fuad Zainuri, Sulaksana Permana, Johnny W Soedarsono, Adi Subardi, Yen-Pei Fu

Безкобальтовий перовскітний оксид  $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{0.8}\text{Cr}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$  (SSFC) використовувався в якості нового катода для середньотемпературних твердооксидних паливних елементів (СТ-ТОПЕ). Катодна модель була синтезована з додаванням елемента хрому на стороні Б композитної металоксидної системи, яка потім була сформована методом твердої реакції. Модельна система була детально охарактеризована для визначення поведінки властивостей. Твердотільна реакція системи SSFC спостерігалася за допомогою термогравіметричного аналізу. Тим часом структурні властивості досліджували методом рентгенівської дифракції, втрату ваги – за допомогою термогравіметричного аналізу. Крім того, коефіцієнт теплового розширення визначали за допомогою термомеханічного аналізу, а властивості провідності перевірялися за допомогою аналізу теплопровідності. Результат показав, що катод SSFC демонструє кристалічну структуру, засновану на конструкції з перовскітною фазою. Вміст кисню на модельній структурі після процесу прожарювання становив 2,98. Середній коефіцієнт теплового розширення при нагріванні до 800 °C досягав  $5.0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ . При цьому значення провідності досягало  $2 \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$  при 400 °C і збільшувалося до максимуму в  $7.5 \text{ См}\cdot\text{см}^{-1}$  при 700 °C. Крім того, наявність катіонної валентності  $\text{Cr}^{6+}$ , координованої з аніоном кисню, може привести до утворення великої концентрації кисневих вакансій на поверхні катода, полегшуючи перенесення аніону  $\text{O}^{2-}$  в катодній системі. Виходячи з цих результатів, катод SSFC володіє хорошими властивостями в якості композитної системи, перспективної для застосування СТ-ТОПЕ в майбутньому.

**Ключові слова:** твердооксидні паливні елементи, безкобальтовий катод, перовскітна структура, вміст кисню, провідність.

DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220489

### РОЗРОБКА СПОСОБУ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛІВКОВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ CdS/CdTe/Cu/Au, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ І КОНТРОЛЮ ОБ'ЄКТІВ (с. 21–27)

Н. В. Дейнеко, О. Г. Журавель, Л. М. Михайлова, О. В. Надьон, А. М. Онищенко, О. В. Савченко, В. М. Стрілець, Є. В. Юревич

Проведено дослідження впливу товщини шару телуриду кадмію на ефективність плівкових сонячних елементів CdS/CdTe/Cu/Au. Досліджені фізичні механізми зарядопереносу у сонячних елементах CdS/CdTe/Cu/Au, призначених для використання в якості резервного живлення систем безпеки і контролю об'єктів. Це важливо, тому що, незважаючи на зростання популярності використання сонячних елементів, ефективність лабораторних зразків значно відрізняється від теоретичного максимуму. Таким чином встановлено, що оптимальна товщина базового шару плівкових СЕ CdS/CdTe/Cu/Au становить 4 мкм. При зменшенні

товщини шару телуриду кадмію ефективність такої приладової структури знижується. Зниження ефективності відбувається в результаті зменшення шунтуючого електроопору, зростання щільності діодного струму насичення і послідовного електроопору. При збільшенні товщини шару телуриду більше 4 мкм спостерігається також зниження ефективності сонячного елемента за рахунок зменшення шунтуючого і зростання послідовного електроопорів. Погіршення зазначених світлових діодних характеристик SE CdS/CdTe/Cu/Au, яке відбувається при зменшенні товщини базового шару більш ніж 4 мкм, обумовлено дифузією міді з контакту в область сепаруючого бар'єру. Погіршення світлових діодних характеристик при збільшенні товщини базового шару телуриду кадмію пов'язане зі зниженням позитивного впливу «хлоридної» обробки. Дослідженні фізичні механізми зарядопереносу в сонячних елементах CdS/CdTe/Cu/Au дало можливість встановити висоту тильного потенційного бар'єру. В досліджуваних зразках висота тильного потенційного бар'єру становить 0,3 еВ. Наявність цього бар'єру призводить до термомісійного механізму зарядопереносу в таких сонячних елементах при прикладанні прямого зміщення понад 1В.

**Ключові слова:** телурид кадмію, підвищення ефективності, резервне живлення, системи безпеки і контролю, надзвичайна ситуація.

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.220445**

### **АНАЛІЗ ВПЛИВУ НАСИЧЕННЯ КОТУШКИ ІНДУКТИВНОСТІ НА РІВЕНЬ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЗАВАД DC/DC-ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ (с. 28–37)**

**В. В. Макаренко, О. Ю. Лукашев**

Наведено результати дослідження впливу конструктивних параметрів нелінійної котушки індуктивності на рівень створюваних DC/DC-перетворювачами електромагнітних завад. В роботі запропоновані моделі, призначені для роботи в середовищі LTspice XVII, що дозволяють досліджувати спектри кондуктивних завад, коефіцієнт корисної дії і рівень пульсацій вихідної напруги перетворювача. Результати моделювання показали, що на рівень кондуктивних завад впливають об'єм і матеріал осердя котушки індуктивності, а також наявність в осерді немагнітного зазору. Наведено результати вимірювання спектрів кондуктивних перешкод при різних значеннях площі поперечного перерізу осердя котушки DC/DC-перетворювача. При номінальній площі перетину осердя, розрахованої з урахуванням вихідної потужності перетворювача, проведені дослідження залежності рівня кондуктивних завад від ширини немагнітного зазору в осерді котушки індуктивності. В ході досліджень із застосуванням моделі Чана виконаний аналіз впливу матеріалу осердя котушки індуктивності, на рівень завад, створюваних при роботі DC/DC-перетворювача. Проведено аналіз впливу ширини немагнітного зазору в осерді котушки індуктивності на рівень кондуктивних завад. Показано, що ширина немагнітного зазору повинна вибиратися з урахуванням матеріалу осердя котушки індуктивності. Результати моделювання для ряду часто використовуваних матеріалів дозволили визначити найбільш ефективний з них, з точки зору створюваних завад.

Результати, отримані при аналізі роботи імпульсного перетворювача напруги з урахуванням нелінійності котушки індуктивності, дозволили сформулювати рекомендації, що дають можливість знизити рівень створюваних кондуктивних перешкод на величину від 4.5 до 6 дБ за рахунок вірного вибору матеріалу і конструктивних параметрів котушки.

**Ключові слова:** кондуктивна завада, спектр завади, нелінійна індуктивність, матеріал осердя, немагнітний зазор

---

**DOI: 10.15587/1729-4061.2020.218542**

### **УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛІ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ТЯГОВОГО ДВИГУНА ПУЛЬСУЮЧОГО СТРУМУ ЕЛЕКТРОВОЗА (с. 38–46)**

**С. О. Гулак, С. Ю. Сапронова, В. П. Ткаченко, Є. С. Рябов, Є. О. Батрак**

При дослідженні перехідних процесів в тягових двигунах пульсуючого струму важливим є врахування вихрових та гістерезисних втрат в сталі двигуна. Магнітні втрати є функцією частоти перемагнічування, яка, в свою чергу, є функцією частоти обертання валу двигуна. Іншими словами – магнітні втрати є функцією часу. Існуючі методики розрахунку не дозволяють отримати миттєві значення магнітних втрат, а основані на визначенні середніх втрат за період.

Запропоновано удосконалену модель магнітних втрат в сталі тягового двигуна пульсуючого струму, як функції часу, на основі рівнянь питомих втрат.

Обґрунтовано критерії адекватності методики визначення магнітних втрат в електротехнічній сталі: можливість отримання миттєвих значень магнітних втрат в магнітному матеріалі, як функції часу; можливість застосування для будь-якого магнітного матеріалу; простота реалізації. Адаптовано методику для визначення магнітних втрат в сталі тягового двигуна пульсуючого струму шляхом врахування магнітних властивостей сталі та геометрії магнітного ланцюга двигуна. З метою визначення коерцитивної сили, коефіцієнту врахування втрат на вихрові струми та коефіцієнту врахування втрат на гістерезис апроксимовано паспортні характеристики питомих втрат в сталі на прикладі тягового двигуна пульсуючого струму. На імітаційній моделі магнітних втрат тягового двигуна пульсуючого струму продемонстровано методику визначення середніх магнітних втрат та часових діаграм магнітних втрат.

Запропонована модель визначення магнітних втрат може застосовуватись для будь-якого магнітного матеріалу і будь-якої геометрії двигуна при умові відомих властивостей матеріалу і характеристик зміни щільності магнітного потоку в геометрії.

**Ключові слова:** магнітні втрати, вихрові струми, гістерезис, тяговий двигун, універсальна магнітна характеристика.