

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267265**  
**DEVELOPMENT OF CONTROL ALGORITHMS FOR**  
**MAGNETOELECTRIC GENERATOR WITH AXIAL**  
**MAGNETIC FLUX AND DOUBLE STATOR BASED ON**  
**MATHEMATICAL MODELING (p. 6–17)**

**Mykola Ostroverkhov**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7322-8052>

**Vadim Chumack**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8401-7931>

**Maksym Falchenko**

Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0964-7164>

**Mykhailo Kovalenko**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5602-2001>

The object of this research is electromechanical processes in a generator with an axial magnetic flux and a double stator and an additional non-contact excitation winding operating as part of autonomous electric power systems. The power of the additional excitation system is about 2 % of the generator power.

The presence of an additional non-contact winding, which is powered by direct current, makes it possible to control the generator voltage by changing the excitation current. This resolves the task to stabilize the output voltage of the generator with permanent magnets when the load and shaft speed change.

This paper reports the construction of a three-dimensional field axisymmetric mathematical model of the generator under study, which has made it possible to calculate and investigate its characteristics and parameters, in particular the magnitude of magnetic induction in all structural elements. The model built takes into account the influence of finite effects, magnetic scattering fields, and the radial-axial nature of the closure of the main magnetic flux and the magnetic flux of the additional excitation winding. The use of a structure with a double stator makes it possible to more efficiently utilize the usable volume of the generator and to increase its power.

A mathematical model of the generator in the d-q coordinate system was built, which has made it possible to synthesize algorithms for controlling the automatic voltage stabilization system of the generator voltage under conditions of change in load and shaft speed. Control algorithms were developed on the basis of the concept of inverse dynamics problems in combination with minimizing local functionalities of instantaneous energy values, which ensures that the system is robust when changing generator parameters and that regulators are implemented in a simple way, due to the lack of differentiation operations.

Based on the models built and algorithms developed, the quality of control of the generator’s output voltage when the load and fre-

quency of the generator change was investigated by modeling in the MATLAB/Simulink environment. When setting a jump in the rated load and changing the rotational speed within  $\pm 15\%$  of the rated value, the automatic stabilization system provides astatic voltage control at a given level of 48 V.

The results can be practically used in the design of autonomous electric power systems with high energy conversion efficiency, in particular wind turbines and hydraulic units.

**Keywords:** magnetoelectric generators with axial magnetic flux, double stator, mathematical modeling.

### References

- Zakir, M. R., Ikram, J., Shah, S. I., Bukhari, S. S. H., Ali, S., Marignetti, F. (2022). Performance Improvement of Axial Flux Permanent Magnet Machine with Phase Group Concentrated Coil Winding. *Energies*, 15 (19), 7337. doi: <https://doi.org/10.3390/en15197337>
- Radwan-Pragłowska, N., Węgiel, T., Borkowski, D. (2020). Modeling of Axial Flux Permanent Magnet Generators. *Energies*, 13 (21), 5741. doi: <https://doi.org/10.3390/en13215741>
- Gołębiowski, L., Gołębiowski, M., Mazur, D., Smoleń, A. (2019). Analysis of axial flux permanent magnet generator. *COMPEL - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 38 (4), 1177–1189. doi: <https://doi.org/10.1108/compel-10-2018-0415>
- Zhao, J., Shi, G., Du, L. (2015). Miniaturized Air-Driven Planar Magnetic Generators. *Energies*, 8 (10), 11755–11769. doi: <https://doi.org/10.3390/en81011755>
- Ma, J., Shi, L., Golmohammadi, A.-M. (2022). Voltage-Stabilizing Method of Permanent Magnet Generator for Agricultural Transport Vehicles. *Processes*, 10 (9), 1726. doi: <https://doi.org/10.3390/pr10091726>
- Espitia, H., Machón, I., López, H. (2021). Optimization of a Fuzzy Automatic Voltage Controller Using Real-Time Recurrent Learning. *Processes*, 9 (6), 947. doi: <https://doi.org/10.3390/pr9060947>
- Cao, Y., Zhu, S., Yu, J., Liu, C. (2022). Optimization Design and Performance Evaluation of a Hybrid Excitation Claw Pole Machine. *Processes*, 10 (3), 541. doi: <https://doi.org/10.3390/pr10030541>
- Wei, H., Yu, J., Zhang, Y., Ai, Q. (2020). High-speed control strategy for permanent magnet synchronous machines in electric vehicles drives: Analysis of dynamic torque response and instantaneous current compensation. *Energy Reports*, 6, 2324–2335. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.08.016>
- Zhu, J., Chu, X. (2020). Research on Control Methods of Six-phase Permanent Magnet Synchronous Motor. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 790 (1), 012173. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/790/1/012173>
- Kamel, T., Abdelkader, D., Said, B., Iqbal, A. (2020). Sliding mode control of grid-connected wind energy system driven by 2 five-phase permanent magnet synchronous generators controlled by a new fifteen-switch converter. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30 (9). doi: <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12480>
- Chumack, V., Bazenov, V., Tymoshchuk, O., Kovalenko, M., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, I., Tkachuk, I. (2021). Voltage stabilization of a

controlled autonomous magnetoelectric generator with a magnetic shunt and permanent magnet excitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (5 (114)), 56–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246601>

12. Chumack, V., Tsyvinskyi, S., Kovalenko, M., Ponomarev, A., Tkachuk, I. (2020). Mathematical modeling of a synchronous generator with combined excitation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (103)), 30–36. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.193495>
13. Ostroverkhov, M., Chumack, V., Kovalenko, M., Kovalenko, I. (2022). Development of the control system for taking off the maximum power of an autonomous wind plant with a synchronous magnetoelectric generator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (118)), 67–78. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263432>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.270316**

**DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT VOLTAGE REGULATION MECHANISM FOR SWITCHED CAPACITOR CONVERTER WITH EXPONENTIAL GAIN (p. 18–28)**

**Mohamed N. Abdul Kadir**

University of Mosul, Mosul, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9971-801X>

**Yasir M. Y. Ameen**

University of Mosul, Mosul, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2878-8165>

**Harith Al-Badrani**

Ninevah University, Ninevah, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6478-2417>

The compact switched-capacitor converter with exponential gain and modular design has been adopted in this paper. Two approaches have been applied to improve the efficiency by providing multiple no-load voltages. The first modifies the switching strategy to bypass the gain of one or more stages. The second introduces modified design that provide additional no-load voltages through alternative current paths. The voltage regulation is implemented by two control loops: The outer loop is designed to produce the minimum feasible no-load voltage and the inner loop adjusts the duty ratio of the switching signals to regulate the voltage to meet the desired reference. Switched capacitor converters have been used as voltage multipliers with constant voltage gain. The efficiency of a switched capacitor converter depends on the ratio between regulated to unregulated output voltage. Therefore, output voltage adjustment of these converters causes a significant efficiency reduction. By providing multiple no-load voltages within the output voltage range the efficiency of the switched capacitor converter can be improved. The proposed design has been applied to a three-stage converter to provide six no-load voltages. Simulation results demonstrate that the average efficiency over the entire output voltage range is more than 90 % of its maximum efficiency of the unregulated switched capacitor converter which reflects the effectiveness of the proposed scheme. This paper offers an efficient method to regulate the voltage of a modular switched capacitor converter with exponential gain. The advantages of the proposed design are small number of added components, does not require additional sources and suitable for higher power range.

**Keywords:** DC-DC converter, switched capacitor, power conditioning, inductor-less converter, voltage multiplier.

**References**

1. Loranca-Coutiño, J., Villarreal-Hernandez, C. A., Mayo-Maldonado, J. C., Valdez-Resendiz, J. E., Lopez-Núñez, A. R., Ruiz-Martinez, O. F., Rosas-Caro, J. C. (2020). High Gain Boost Converter with Reduced Voltage in Capacitors for Fuel-Cells Energy Generation Systems. *Electronics*, 9 (9), 1480. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics9091480>
2. Bakeer, A., Chub, A., Vinnikov, D. (2020). Step-Up Series Resonant DC–DC Converter with Bidirectional-Switch-Based Boost Rectifier for Wide Input Voltage Range Photovoltaic Applications. *Energies*, 13 (14), 3747. doi: <https://doi.org/10.3390/en13143747>
3. Truong, V.-A., Luong, X.-T., Nguyen, P.-T., Quach, T.-H. (2020). The Improvement Switching Technique for High Step-Up DC-DC Boost Converter. *Electronics*, 9 (6), 981. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics9060981>
4. Wong, Y.-S., Chen, J.-F., Liu, K.-B., Hsieh, Y.-P. (2017). A Novel High Step-Up DC-DC Converter with Coupled Inductor and Switched Clamp Capacitor Techniques for Photovoltaic Systems. *Energies*, 10 (3), 378. doi: <https://doi.org/10.3390/en10030378>
5. Ameen, Y. M. Y., Al-Badrani, H., Abdul Kadi, M. N. (2021). Design and simulation of a high-power double-output isolated Cuk converter. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (5 (113)), 30–38. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238984>
6. Seeman, M. D., Sanders, S. R. (2008). Analysis and Optimization of Switched-Capacitor DC–DC Converters. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23 (2), 841–851. doi: <https://doi.org/10.1109/tpe.2007.915182>
7. Axelrod, B., Berkovich, Y., Ioinovici, A. (2008). Switched-Capacitor/Switched-Inductor Structures for Getting Transformerless Hybrid DC–DC PWM Converters. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 55 (2), 687–696. doi: <https://doi.org/10.1109/tcsi.2008.916403>
8. Padhee, S., Pati, U. C., Mahapatra, K. (2016). Overview of High-Step-Up DC–DC Converters for Renewable Energy Sources. *IETE Technical Review*, 35 (1), 99–115. doi: <https://doi.org/10.1080/02564602.2016.1255571>
9. Eguchi, K., Do, W., Shibata, A. (2021). Analysis of a High Step-Down DC/DC Converter Topology with a Single Inductor. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 14 (1), 552–565. doi: <https://doi.org/10.22266/ijies2021.0228.51>
10. Veerabathini, A., Furth, P. M. (2020). High-Efficiency Switched-Capacitor DC-DC Converter with Three Decades of Load Current Range Using Adaptively-Biased PFM. *Journal of Low Power Electronics and Applications*, 10 (1), 5. doi: <https://doi.org/10.3390/jlpea10010005>
11. Qian, W., Peng, F. Z., Shen, M., Tolbert, L. M. (2009). 3X DC-DC Multiplier/Divider for HEV Systems. 2009 Twenty-Fourth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. doi: <https://doi.org/10.1109/apec.2009.4802802>
12. Khan, F. H., Tolbert, L. M. (2009). Multiple-Load–Source Integration in a Multilevel Modular Capacitor-Clamped DC–DC Converter Featuring Fault Tolerant Capability. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24 (1), 14–24. doi: <https://doi.org/10.1109/tpe.2008.2006055>

13. Qian, W., Cao, D., Cintron-Rivera, J. G., Gebben, M., Wey, D., Peng, F. Z. (2012). A Switched-Capacitor DC–DC Converter With High Voltage Gain and Reduced Component Rating and Count. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 48 (4), 1397–1406. doi: <https://doi.org/10.1109/tia.2012.2199731>
14. Tran, V.-T., Nguyen, M.-K., Choi, Y.-O., Cho, G.-B. (2018). Switched-Capacitor-Based High Boost DC-DC Converter. *Energies*, 11 (4), 987. doi: <https://doi.org/10.3390/en11040987>
15. Shoyama, M., Ninomiya, T. (2007). Output Voltage Control of Resonant Boost Switched Capacitor Converter. 2007 Power Conversion Conference - Nagoya. doi: <https://doi.org/10.1109/pcon.2007.373073>
16. Natheer, S. K., Abdul Kadir, M. N. (2022). Maximum resolution of switched capacitor converter: a graphical approach. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 13 (1), 330. doi: <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v13.i1.pp330-339>
17. Abraham, C., Rakhee, R., Jose, B. R. (2014). A Multiple Input Multiple Output Switched Capacitor DC-DC Converter with Reduced Switch Count. 2014 Fifth International Symposium on Electronic System Design. doi: <https://doi.org/10.1109/ised.2014.29>
18. Gunasekaran, D., Qin, L., Karki, U., Li, Y., Peng, F. Z. (2017). A Variable (n/m)X Switched Capacitor DC–DC Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32 (8), 6219–6235. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2016.2621105>
19. Priyadarshi, A., Kar, P., Karanki, S. (2019). Switched Capacitor Based High Gain DC-DC Converter Topology for Multiple Voltage Conversion Ratios with Reduced Output Impedance. *Journal of Power Electronics*, 19 (3), 676–690. doi: <https://doi.org/10.6113/JPE.2019.19.3.676>
20. Huang, Y., Xiong, S., Tan, S.-C., Hui, S.-Y. (2016). Compact modular switched-capacitor DC/DC converters with exponential voltage gain. 2016 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). doi: <https://doi.org/10.1109/apec.2016.7468127>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.270314**

**DESIGN OF THE INVERTER IN HIGH ACCURACY AND DEVELOPMENT OF WORK THEREIN BY USING COMPOUND LIGATION (p. 29–41)**

**Muhammed Hussein Baqir**

University Putra Malaysia, Selangor, Malaysia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4896-4207>

**Nor Mohd Haziq**

University Putra Malaysia, Selangor, Malaysia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7523-1821>

**Noor Izzri Abdul Wahab**

University Putra Malaysia, Selangor, Malaysia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9042-9796>

A ligation (CL) system with a very high frequency in an inverter was used, it is a novelty in this study. We also employed a three-phase dynamic load (positive sequence voltage) to correct the power factor and account for active and reactive power in the output system this work is a novelty. The technique through compound ligation (CL) can improve inverter output waveform by reducing losses caused by ingrained agents in voltage source inverters (VSI), such as dead time caused by overload or voltage drop in an inverter's output, or abnormal load current conditions such as a short circuit current occur in the output stage of the inverter, and so on. The invention

relates to the conversion of D.C. to A.C. power inverters, it is preferable to use compound ligation to achieve high efficiency, the device is lightweight, and has low losses and good precision. In addition, the present invention relates to improving an inverter load request sensation circuit, smoothing operational current, inverter response, and inverter spontaneous power factor improvement, as well as correction of the reactive power of passive components. In addition, an inverter with high active power (P) equal to ( $2.6 \times 10^6$  Watt), reactive power (Q) ( $5.4 \times 10^7$  VAR), was designed, and used positive sequence voltage ( $1.6 \times 10^8$  Watt), as well as the switching period (10 $\mu$ s), The system's total harmonic distortion (THD) in voltage and current was 0.11 percent, while the system's accuracy was 99 percent. This is developed by using FPGA and oscillator circuit and programmable peripheral interface 8255 A as well as, ultrasonic PWM with a high-frequency range of (20–500 kHz) as demonstrated evidenced by the results obtained.

**Keywords:** Compound ligation (CL), three-phase dynamic load, VSI, FPGA, PPI 8255A, Ultrasonic PWM, Oscillator circuit.

**References**

1. Cheng, T.-C., Hsu, C.-W. C., Wang, H.-C., Tsai, T.-H. (2016). A low-power oscillator-based readout interface for medical ultrasonic sensors. 2016 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT). doi: <https://doi.org/10.1109/vlsi-dat.2016.7482523>
2. Meng, X., Zhou, L., Lin, F., Heng, C.-H. (2019). A Low-Noise Digital-to-Frequency Converter Based on Injection-Locked Ring Oscillator and Rotated Phase Selection for Fractional-N Frequency Synthesis. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 27 (6), 1378–1389. doi: <https://doi.org/10.1109/tvlsi.2019.2898258>
3. Xu, H., Xu, L., Wang, K., Zheng, Z., Li, Y. (2019). Switching Losses Reduction of Grid-tied Inverters With Variable Switching Frequency Discontinuous PWM. 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). doi: <https://doi.org/10.1109/ecce.2019.8913206>
4. Mohammadi, M., Moghani, J. S., Milimonfared, J. (2018). A Novel Dual Switching Frequency Modulation for Z-Source and Quasi-Z-Source Inverters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65 (6), 5167–5176. doi: <https://doi.org/10.1109/tie.2017.2784346>
5. Attia, H., Al Zarooni, M., Cazan, A. (2019). Ultrasonic Frequency Inverter for Piezoelectric Transducer Driving: The Negative Effects on Grid and the Intelligent Solution. 2019 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA). doi: <https://doi.org/10.1109/icecta48151.2019.8959609>
6. Rymarski, Bernacki, Dyga, Davari (2019). Passivity-Based Control Design Methodology for UPS Systems. *Energies*, 12 (22), 4301. doi: <https://doi.org/10.3390/en12224301>
7. Yue, X., Boroyevich, D., Lee, F. C., Chen, F., Burgos, R., Zhuo, F. (2018). Beat Frequency Oscillation Analysis for Power Electronic Converters in DC Nanogrid Based on Crossed Frequency Output Impedance Matrix Model. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 33 (4), 3052–3064. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2017.2710101>
8. Chen, Y., Liu, Y.-H., Zong, Z., Dijkhuis, J., Dolmans, G., Staszewski, R. B., Babaie, M. (2019). A Supply Pushing Reduction Technique for LC Oscillators Based on Ripple Replication and Cancellation. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 54 (1), 240–252. doi: <https://doi.org/10.1109/jssc.2018.2871195>

9. You, J., Vilathgamuwa, D. M., Ghasemi, N., Malan, W. L. (2019). An Active Power Decoupling Method for Single Phase DC/AC DAB Converters. *IEEE Access*, 7, 12964–12972. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2893286>
10. Qian, W., Zhang, X., Jin, F., Bai, H., Lu, D., Cheng, B. (2018). Using High-Control-Bandwidth FPGA and SiC Inverters to Enhance High-Frequency Injection Sensorless Control in Interior Permanent Magnet Synchronous Machine. *IEEE Access*, 6, 42454–42466. doi: <https://doi.org/10.1109/access.2018.2858199>
11. Ueta, H., Yokoyama, T. (2018). 1MHz multisampling deadbeat control with disturbance compensation method for three phase PWM inverter. 2018 International Power Electronics Conference (IPEC-Niigata 2018 -ECCE Asia). doi: <https://doi.org/10.23919/ipec.2018.8507418>
12. He, N., Chen, M., Wu, J., Zhu, N., Xu, D. (2019). 20-kW Zero-Voltage-Switching SiC-mosfet Grid Inverter With 300 kHz Switching Frequency. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 34 (6), 5175–5190. doi: <https://doi.org/10.1109/tpel.2018.2866824>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269127**

**ENHANCING MECHANICAL CHARACTERISTICS BY ADDING NANOPARTICLES AND EMPLOYING LASERS IN HEAT TREATMENT (p. 42–53)**

**Lamyaa Mahdi Asaad**

University of Technology - Iraq, Al-Wehda neighborhood, Baghdad, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2848-0758>

**Iqbal Alshalal**

University of Technology - Iraq, Al-Wehda neighborhood, Baghdad, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0948-7460>

**Faten N. Al Zubaidi**

University of Technology - Iraq, Al-Wehda neighborhood, Baghdad, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3083-8624>

**Muna Khalil Asmail**

University of Technology - Iraq, Al-Wehda neighborhood, Baghdad, Iraq

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1589-1112>

With the development of laser technology in various fields of engineering and manufacturing in terms of many uses in these areas and in the field of improving the mechanical properties of different metals for their ability to withstand different thermal and mechanical stresses and stresses. Wherein this research paper the addition of nanomaterials and laser heat shedding on them and knowing their ability to improve. The design process of the simple model that complies with the requirements of the simulation process was in the solid works program. The investigated dimensions were  $(100 \times 100 \times 10) \text{ mm}^3$  in height, split up in the form of two portions. The partition itself is the path of the laser used. It is necessary to check the reliability of the mesh to form an appropriate mesh that can give accurate results. The nanoparticles where  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and TIC were used in different proportions with the base material. Which is steel, where these ratios were (0.3, 0.6, 1) wt %, where the results proved the process of adding nanomaterials has positive effects in terms of the materials' tolerance to heat, mechanical stress, and the surrounding conditions. Seen through the results with the increase

in the concentration values of adding nanoparticles, get a significant effect on the results and the values of thermal and mechanical properties. The TIG (Tungsten inert gas) nanomaterial led to an increase in temperatures in the solid by 1 wt % compared to the rest of the concentrations and nanomaterials. The addition of nanomaterials in heat treatments has a positive effect on the amount of deformation, as the lowest value of deformation was obtained in nanomaterials at 1 wt % compared to the rest of the concentrations. As for the stresses, the largest stress obtained is 10.502 Gpa.

**Keywords:** static structural, nanomaterials, heat treatment, tungsten inert gas, thermal stress.

**References**

1. D'Urso, L., Nicolosi, V., Compagnini, G., Puglisi, O. (2004). Size distribution of silver nanoclusters induced by ion, electron, laser beams and thermal treatments of an organometallic precursor. *Applied Surface Science*, 226 (1-3), 131–136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2003.11.012>
2. Badini, C., Pavese, M., Fino, P., Biamino, S. (2009). Laser beam welding of dissimilar aluminium alloys of 2000 and 7000 series: effect of post-welding thermal treatments on T joint strength. *Science and Technology of Welding and Joining*, 14 (6), 484–492. doi: <https://doi.org/10.1179/136217108x372559>
3. Padovano, E., Badini, C., Pantarelli, A., Gili, F., D'Aiuto, F. (2020). A comparative study of the effects of thermal treatments on Al-Si10Mg produced by laser powder bed fusion. *Journal of Alloys and Compounds*, 831, 154822. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154822>
4. Sanz, C., García Navas, V. (2013). Structural integrity of direct metal laser sintered parts subjected to thermal and finishing treatments. *Journal of Materials Processing Technology*, 213 (12), 2126–2136. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.06.013>
5. Van den Eynde, M., Strobbe, D., Verkinderen, O., Verbelen, L., Goderis, B., Kruth, J.-P., Van Puyvelde, P. (2018). Effect of thermal treatments on the laser sinterability of cryogenically milled polybutene-1. *Materials & Design*, 153, 15–23. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.04.072>
6. Delgado, T., Nieto, D., Flores-Arias, M. T. (2015). Fabrication of microlens arrays on soda-lime glass using a laser direct-write technique and a thermal treatment assisted by a CO<sub>2</sub> laser. *Optics and Lasers in Engineering*, 73, 1–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2015.03.026>
7. DiBernardo, B. E., Reyes, J., Chen, B. (2009). Evaluation of tissue thermal effects from 1064/1320-nm laser-assisted lipolysis and its clinical implications. *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, 11 (2), 62–69. doi: <https://doi.org/10.1080/14764170902792181>
8. Haedersdal, M., Moreau, K. E. R., Beyer, D. M., Nymann, P., Alsbjorn, B. (2009). Fractional nonablative 1540 nm laser resurfacing for thermal burn scars: A randomized controlled trial. *Lasers in Surgery and Medicine*, 41 (3), 189–195. doi: <https://doi.org/10.1002/lsm.20756>
9. Aboshi, A., Kurumoto, N., Yamada, T., Uchino, T. (2007). Influence of Thermal Treatments on the Photoluminescence Characteristics of Nanometer-Sized Amorphous Silica Particles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111 (24), 8483–8488. doi: <https://doi.org/10.1021/jp0718505>
10. Mazzera, M., Zha, M., Calestani, D., Zappettini, A., Lazzarini, L., Salviati, G., Zanotti, L. (2007). Low-temperature In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>nanow-

ire luminescence properties as a function of oxidizing thermal treatments. *Nanotechnology*, 18 (35), 355707. doi: <https://doi.org/10.1088/0957-4484/18/35/355707>

11. Stepanov, A. L., Hole, D. E., Townsend, P. D. (1999). Modification of size distribution of ion implanted silver nanoparticles in sodium silicate glass using laser and thermal annealing. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 149 (1-2), 89–98. doi: [https://doi.org/10.1016/s0168-583x\(98\)90733-9](https://doi.org/10.1016/s0168-583x(98)90733-9)
12. Ropyak, L., Schuliar, I., Bohachenko, O. (2016). Influence of technological parameters of centrifugal reinforcement upon quality indicators of parts. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (5 (79)), 53–62. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.59850>
13. Kasenov, S., Askerbekova, J., Tleulesova, A. (2022). Algorithm construction and numerical solution based on the gradient method of one inverse problem for the acoustics equation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2 (5 (116)), 43–52. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253568>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269844**

**SYNTHESIS OF NANOCOMPOSITES REDUCED GRAPHENE OXIDE-SILVER NANOPARTICLES PREPARED BY HYDROTHERMAL TECHNIQUE USING SODIUM BOROHYDRIDE AS A REDUCTOR FOR PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF Pb IONS IN AQUEOUS SOLUTION (p. 54–62)**

**Nurhayati Indah Ciptasari**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
National Research and Innovation Agency (BRIN), Building,  
Tangerang Selatan, Banten, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6755-2705>

**Murni Handayani**

National Research and Innovation Agency (BRIN), Building,  
Tangerang Selatan, Banten, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0478-2121>

**Caesart Leonardo Kaharudin**

Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1894-4507>

**Afif Akmal Afkauni**

Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2770-4772>

**Adhi Dwi Hatmanto**

Universitas Gadjah Mada, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4412-3216>

**Isa Anshori**

Bandung Institute of Technology, Kota Bandung,  
Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5134-7264>

**Ahmad Maksun**

Politeknik Negeri Jakarta, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1800-9137>

**Rini Riastuti**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3431-0413>

**Johny Wahyuadi Soedarsono**

Universitas Indonesia, Jawa Barat, Indonesia  
**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6051-2866>

Heavy metals are pollutants that are harmful to living things and the environment can be degraded by microbes or understood by other living things so that they can cause health problems. One of the heavy metals that is often found in wastewater is lead. Lead is widely used in the manufacture of batteries, metal products such as ammunition, cable coatings, Polyvinyl Chloride (PVC) tubing, solder, chemicals and dyes

This use causes humans to be exposed to large amounts of lead. One method to deal with lead pollution is to use photocatalysts. Photocatalysts react with heavy metals and reduce them so that the level of toxicity becomes lower than before through photocatalytic reactions. In this study, synthesis of reduced graphene oxide/silver nanoparticle nanoparticles was performed by facile hydrothermal methods for photocatalytic degradation of Pb ion. The characterization results indicate that the synthesis has been successfully carried out. The successful result of rGO/AgNPs nanocomposites synthesis was proved by several techniques such as X-ray diffraction analysis, Raman, UV-Vis spectroscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-Ray analysis (EDX). This indicates the presence of these groups in the graphene oxide and rGO/AgNPs samples, respectively. The resulting rGO/AgNPs nanocomposite has an absorbance peak at a wavelength of 267 nm. The diffraction peaks for nanocomposites rGO/AgNPs and their Miller indices were 38.08° (111), 44.16° (200), 64.44° (220), and 77.44° (311). The Raman spectra of rGO/AgNPs exhibits D bands at 1334,13 with intensity of 630,60 cm<sup>-1</sup> and G band at 1594,61 with intensity of 477,29 cm<sup>-1</sup>. The I<sub>D</sub>/I<sub>G</sub> ratio rGO/AgNPs-NaBH<sub>4</sub> is ~1,32. Furthermore, the photocatalytic activity test results showed that the rGO/AgNPs nanocomposite was able to reduce Pb<sup>2+</sup> to Pb with a maximum exposure time of 1.5 hours.

**Keywords:** lead, reduced graphene oxide, silver nanoparticles, rGO/AgNPs nanocomposite, sodium borohydrate.

## References

1. Masindi, V., Muedi, K. L. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. *Heavy Metals*. doi: <https://doi.org/10.5772/intechopen.76082>
2. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., Beer-egowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7 (2), 60–72. doi: <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
3. Litter, M. I. (2015). Mechanisms of removal of heavy metals and arsenic from water by TiO<sub>2</sub>-heterogeneous photocatalysis. *Pure and Applied Chemistry*, 87 (6), 557–567. doi: <https://doi.org/10.1515/pac-2014-0710>
4. Gusain, R., Kumar, N., Ray, S. S. (2020). Factors Influencing the Photocatalytic Activity of Photocatalysts in Wastewater Treatment. *Photocatalysts in Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment*, 229–270. doi: <https://doi.org/10.1002/9781119631422.ch8>
5. Fröschl, T., Hörmann, U., Kubiak, P., Kučerová, G., Pfanzelt, M., Weiss, C. K. et al. (2012). High surface area crystalline titanium dioxide: potential and limits in electrochemical energy storage and catalysis. *Chemical Society Reviews*, 41 (15), 5313. doi: <https://doi.org/10.1039/c2cs35013k>
6. Setvín, M., Aschauer, U., Scheiber, P., Li, Y.-F., Hou, W., Schmid, M. et al. (2013). Reaction of O<sub>2</sub> with subsurface oxygen vacancies on TiO<sub>2</sub> anatase (101). *Science*, 341 (6149), 988–991. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1239879>

7. Wang, L., Wei, H., Fan, Y., Liu, X., Zhan, J. (2009). Synthesis, Optical Properties, and Photocatalytic Activity of One-Dimensional CdS@ZnS Core-Shell Nanocomposites. *Nanoscale Research Letters*, 4 (6). doi: <https://doi.org/10.1007/s11671-009-9280-3>
8. Chen, P., Wang, F., Chen, Z.-F., Zhang, Q., Su, Y., Shen, L. et al. (2017). Study on the photocatalytic mechanism and detoxicity of gemfibrozil by a sunlight-driven TiO<sub>2</sub>/carbon dots photocatalyst: The significant roles of reactive oxygen species. *Applied Catalysis B: Environmental*, 204, 250–259. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.11.040>
9. Lv, N., Li, Y., Huang, Z., Li, T., Ye, S., Dionysiou, D. D., Song, X. (2019). Synthesis of GO/TiO<sub>2</sub>/Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> nanocomposites with enhanced visible light photocatalytic degradation of ethylene. *Applied Catalysis B: Environmental*, 246, 303–311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.068>
10. Fan, W., Zhou, Z., Wang, W., Huo, M., Zhang, L., Zhu, S. et al. (2019). Environmentally friendly approach for advanced treatment of municipal secondary effluent by integration of micro-nano bubbles and photocatalysis. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117828. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117828>
11. Kumar, A., Khan, M., Fang, L., Lo, I. M. C. (2019). Visible-light-driven N-TiO<sub>2</sub>@SiO<sub>2</sub>@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanophotocatalysts: Synthesis, characterization, and photocatalytic degradation of PPCPs. *Journal of Hazardous Materials*, 370, 108–116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.07.048>
12. Kar, P., Zeng, S., Zhang, Y., Vahidzadeh, E., Manuel, A., Kisslinger, R. et al. (2019). High rate CO<sub>2</sub> photoreduction using flame annealed TiO<sub>2</sub> nanotubes. *Applied Catalysis B: Environmental*, 243, 522–536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.08.002>
13. Méndez-Medrano, M. G., Kowalska, E., Lehoux, A., Herissan, A., Ohtani, B., Bahena, D. et al. (2016). Surface Modification of TiO<sub>2</sub> with Ag Nanoparticles and CuO Nanoclusters for Application in Photocatalysis. *The Journal of Physical Chemistry C*, 120 (9), 5143–5154. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b10703>
14. Kamat, P. V. (2011). Graphene-Based Nanoassemblies for Energy Conversion. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2 (3), 242–251. doi: <https://doi.org/10.1021/jz101639v>
15. Yuan, L., Zhang, C., Zhang, X., Lou, M., Ye, F., Jacobson, C. R. et al. (2019). Photocatalytic Hydrogenation of Graphene Using Pd Nanococones. *Nano Letters*, 19 (7), 4413–4419. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.9b01121>
16. Guo, H., Jiang, N., Wang, H., Shang, K., Lu, N., Li, J., Wu, Y. (2019). Enhanced catalytic performance of graphene-TiO<sub>2</sub> nanocomposites for synergetic degradation of fluoroquinolone antibiotic in pulsed discharge plasma system. *Applied Catalysis B: Environmental*, 248, 552–566. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.01.052>
17. Russo, P., Hu, A., Compagnini, G. (2013). Synthesis, Properties and Potential Applications of Porous Graphene: A Review. *Nano-Micro Letters*, 5 (4), 260–273. doi: <https://doi.org/10.1007/bf03353757>
18. Pastrana-Martínez, L. M., Morales-Torres, S., Figueiredo, J. L., Faria, J. L., Silva, A. M. T. (2018). Graphene photocatalysts. *Multi-functional Photocatalytic Materials for Energy*, 79–101. doi: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101977-1.00006-5>
19. Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W., Hone, J. (2008). Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene. *Science*, 321 (5887), 385–388. doi: <https://doi.org/10.1126/science.1157996>
20. Mayorov, A. S., Gorbachev, R. V., Morozov, S. V., Britnell, L., Jalil, R., Ponomarenko, L. A. et al. (2011). Micrometer-Scale Ballistic Transport in Encapsulated Graphene at Room Temperature. *Nano Letters*, 11 (6), 2396–2399. doi: <https://doi.org/10.1021/nl200758b>
21. Park, S., Ruoff, R. S. (2009). Chemical methods for the production of graphenes. *Nature Nanotechnology*, 4 (4), 217–224. doi: <https://doi.org/10.1038/nnano.2009.58>
22. Morales-Torres, S., Pastrana-Martínez, L. M., Figueiredo, J. L., Faria, J. L., Silva, A. M. T. (2012). Design of graphene-based TiO<sub>2</sub> photocatalysts – a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 19 (9), 3676–3687. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0939-4>
23. Kamat, P. V. (2009). Graphene-Based Nanoarchitectures. Anchoring Semiconductor and Metal Nanoparticles on a Two-Dimensional Carbon Support. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 1 (2), 520–527. doi: <https://doi.org/10.1021/jz900265j>
24. Handayani, M., Mulyaningsih, Y., Aulia Anggoro, M., Abbas, A., Setiawan, I., Triawan, F. et al. (2022). One-pot synthesis of reduced graphene oxide/chitosan/zinc oxide ternary nanocomposites for supercapacitor electrodes with enhanced electrochemical properties. *Materials Letters*, 314, 131846. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131846>
25. Handayani, M., Suwaji, B. I., Ihsantia Ning Asih, G., Kusumaningsih, T., Kusumastuti, Y., Rochmadi, Anshori, I. (2022). In-situ synthesis of reduced graphene oxide/silver nanoparticles (rGO/AgNPs) nanocomposites for high loading capacity of acetylsalicylic acid. *Nanocomposites*, 8 (1), 74–80. doi: <https://doi.org/10.1080/20550324.2022.2054210>
26. Wang, N., Zhang, F., Mei, Q., Wu, R., Wang, W. (2020). Photocatalytic TiO<sub>2</sub>/rGO/CuO Composite for Wastewater Treatment of Cr(VI) Under Visible Light. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231 (5). doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04609-8>
27. Chong, M. N., Jin, B., Chow, C. W. K., Saint, C. (2010). Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review. *Water Research*, 44 (10), 2997–3027. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.039>
28. Sarina, S., Waclawik, E. R., Zhu, H. (2013). Photocatalysis on supported gold and silver nanoparticles under ultraviolet and visible light irradiation. *Green Chemistry*, 15 (7), 1814. doi: <https://doi.org/10.1039/c3gc40450a>
29. Tarcan, R., Todor-Boer, O., Petrovai, I., Leordean, C., Astilean, S., Botiz, I. (2020). Reduced graphene oxide today. *Journal of Materials Chemistry C*, 8 (4), 1198–1224. doi: <https://doi.org/10.1039/c9tc04916a>
30. Latiff, N. M., Fu, X., Mohamed, D. K., Veksha, A., Handayani, M., Lisak, G. (2020). Carbon based copper(II) phthalocyanine catalysts for electrochemical CO<sub>2</sub> reduction: Effect of carbon support on electrocatalytic activity. *Carbon*, 168, 245–253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2020.06.066>
31. Ciptasari, N. I., Darsono, N., Handayani, M., Soedarsono, J. W. (2021). Synthesis of graphite oxide using hummers method: Oxidation time influence. *AIP Conference Proceedings*. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0061586>
32. Aliyev, E., Filiz, V., Khan, M. M., Lee, Y. J., Abetz, C., Abetz, V. (2019). Structural Characterization of Graphene Oxide: Surface Functional Groups and Fractionated Oxidative Debris. *Nanomaterials*, 9 (8), 1180. doi: <https://doi.org/10.3390/nano9081180>
33. Handayani, M., Sulistiyono, E., Rokhmanto, E., Darsono, N., Fransisca, P. L., Erryani, A., Wardono, J. T. (2019). Fabrication of Graphene Oxide/Calcium Carbonate/Chitosan Nanocomposite Film with

- Enhanced Mechanical Properties. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 578 (1), 012073. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/578/1/012073>
34. Handayani, M., Kepakisan, K. A. A., Anshori, I., Darsono, N., Nugraha T., Y. (2021). Graphene oxide based nanocomposite modified screen printed carbon electrode for qualitative cefixime detection. AIP Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0060625>
  35. Zhang, L., Tan, Q., Kou, H., Wu, D., Zhang, W., Xiong, J. (2019). Highly Sensitive NH<sub>3</sub> Wireless Sensor Based on Ag-RGO Composite Operated at Room-temperature. Scientific Reports, 9 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-46213-9>
  36. Krisnandi, Y. K., Abdullah, I., Prabawanta, I. B. G., Handayani, M. (2020). In-situ hydrothermal synthesis of nickel nanoparticle/reduced graphene oxides as catalyst on CO<sub>2</sub> methanation. AIP Conference Proceedings. doi: <https://doi.org/10.1063/5.0007992>
  37. Liu, G., Huang, L., Wang, Y., Tang, J., Wang, Y., Cheng, M. et al. (2017). Preparation of a graphene/silver hybrid membrane as a new nanofiltration membrane. RSC Adv., 7 (77), 49159–49165. doi: <https://doi.org/10.1039/c7ra07904d>
  38. Gurunathan, S., Han, J. W., Park, J. H., Kim, E., Choi, Y., Kwon, D., Kim, J. (2015). Reduced graphene oxide–silver nanoparticle nanocomposite: a potential anticancer nanotherapy. Int J Nanomedicine, 10 (1), 6257–6276. doi: <https://doi.org/10.2147/ijn.s92449>
  39. Ciotta, E., Proposito, P., Tagliatesta, P., Lorecchio, C., Stella, L., Kaciulis, S. et al. (2018). Discriminating between Different Heavy Metal Ions with Fullerene-Derived Nanoparticles. Sensors, 18 (5), 1496. doi: <https://doi.org/10.3390/s18051496>

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267265****РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИМ ГЕНЕРАТОРОМ З АКсіАЛЬНИМ МАГНІТНИМ ПОТОКОМ І ПОДВІЙНИМ СТАТОРОМ НА ОСНОВІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ (с. 6–17)****М. Я. Островерхов, В. В. Чумак., М. Ю. Фальченко, М. А. Коваленко**

Об'єктом дослідження є електромеханічні процеси в генераторі з аксіальним магнітним потоком та подвійним статором і додатковою безконтактною обмоткою збудження, що працює у складі автономних електроенергетичних комплексів. Потужність додаткової системи збудження становить близько 2 % від потужності генератора.

Наявність додаткової безконтактної обмотки, яка живиться постійним струмом, дозволяє керувати напругою генератора за допомогою зміни струму збудження. Таким чином вирішується проблема стабілізації вихідної напруги генератора із постійними магнітами при зміні навантаження та частоти обертання вала.

В роботі розроблено тривимірну польову віссиметричну математичну модель досліджуваного генератора, що дозволило розрахувати і дослідити його характеристики та параметри, зокрема величини магнітної індукції у всіх конструкційних елементах. Розроблена модель враховує вплив кінцевих ефектів, магнітних полів розсіювання та радіально-аксіальний характер замикання основного магнітного потоку та магнітного потоку додаткової обмотки збудження. Застосування конструкції із подвійним статором дозволяє ефективніше використовувати корисний об'єм генератора та підвищити його потужність.

Розроблено математичну модель генератора в системі координат d-q, що дозволило синтезувати алгоритми керування системи автоматичної стабілізації напруги генератора в умовах зміни навантаження та частоти обертання вала. Алгоритми керування розроблено на основі концепції зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергії, що забезпечує робастність системи при зміні параметрів генератора, а також просту реалізацію регуляторів, обумовлену відсутністю операцій диференціювання.

На основі розроблених моделей та алгоритмів досліджено шляхом моделювання в середовищі Matlab/Simulink якість керування вихідною напругою генератора при зміні навантаження та частоти обертання генератора. При накиданні стрибком номінального навантаження та зміні частоти обертання в межах  $\pm 15$  % від номінального значення система автоматичної стабілізації забезпечує астатичне керування напругою на заданому рівні 48 В.

Отримані результати можуть мати практичне застосування при створенні автономних електроенергетичних комплексів з високою ефективністю перетворення енергії, зокрема у вітроустановках та гідроагрегатах.

**Ключові слова:** магнітоелектричні генератори з аксіальним магнітним потоком, подвійний статор, математичне моделювання.

**DOI: 10.15587/1729-4061.2022.270316****РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОГО МЕХАНІЗМУ РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА, ЩО ПЕРЕМИКАЄТЬСЯ, З ЕКСПОНЕНЦІЙНИМ ПОСИЛЕННЯМ (с. 18–28)****Mohamed Abdul Kadir, Yasir Ameen, Harith Al-Badrani**

У цій статті використовується компактний перетворювач з конденсаторами, що перемикаються, з експоненційним коефіцієнтом посилення і модульною конструкцією. Для підвищення ефективності було застосовано два підходи за рахунок забезпечення кількох напруг холостого ходу. Перший змінює стратегію перемикавання, щоб обійти посилення одного чи кількох каскадів. Другий є модифікованою конструкцією, яка забезпечує додаткову напругу холостого ходу за рахунок альтернативних шляхів струму. Регулювання напруги здійснюється двома контурами управління: зовнішній контур призначений створення мінімально можливої напруги холостого ходу, а внутрішній контур регулює коефіцієнт заповнення сигналів перемикавання, щоб регулювати напруга відповідно до необхідним завданням. Перетворювачі з конденсаторами, що перемикаються, використовувалися в якості помножувачів напруги з постійним коефіцієнтом посилення по напрузі. Ефективність перетворювача з конденсаторами, що перемикаються, залежить від співвідношення між регульованою і нестабілізованою вихідною напругою. Тому регулювання вихідної напруги цих перетворювачів призводить до значного зниження ККД. За рахунок забезпечення декількох напруг холостого ходу в діапазоні вихідних напруг можна підвищити ефективність перетворювача з конденсаторами, що перемикаються. Запропонована конструкція була застосована до трикаскадного перетворювача для забезпечення шести напруг холостого ходу. Результати моделювання показують, що середній ККД у всьому діапазоні вихідних напруг становить більше 90 % від його максимального ККД нерегульованого перетворювача з конденсаторами, що перемикаються, що відображає ефективність запропонованої схеми. У цій статті пропонується ефективний метод регулювання напруги модульного перетворювача з конденсаторами, що перемикаються, з експоненційним коефіцієнтом посилення. Переваги запропонованої конструкції полягають у малій кількості компонентів, що додаються, не вимагає додаткових джерел і підходить для більш високого діапазону потужностей.



**Ключові слова:** DC-DC перетворювач, комутований конденсатор, регулювання потужності, безіндукторний перетворювач, множувач напруги.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.270314

### ПРОЄКТУВАННЯ ІНВЕРТОРА ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ І РОЗРОБКА РОБОТИ В НЬОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНОГО ЛІГУВАННЯ (с. 29–41)

Muhammed Hussein Baqir, Nor Mohd Haziq, Izzri Wahab

Використовувалася система лігування із дуже високою частотою в інверторі, також використовувалось трифазне динамічне навантаження (напруга прямої послідовності) для корекції коефіцієнта потужності та обліку активної та реактивної потужності у вихідній системі. Метод комплексного лігування може покращити форму вихідного сигналу інвертора за рахунок зменшення втрат, спричинених агентами, що проникають в інвертори джерел напруги, таких як мертвий час, спричинений перевантаженням або падінням напруги на виході інвертора, або ненормальними умовами струму навантаження, коли у вихідному каскаді інвертора виникає струм короткого замикання тощо. Винахід відноситься до перетворення інверторів постійного струму (ППС) на змінний струм, для досягнення високої ефективності переважно використовувалось комплексне лігування, пристрій має малу вагу, малі втрати і хорошу точність. Крім того, даний винахід відноситься до удосконалення схеми визначення навантаження інвертора, згладжування робочого струму, реакції інвертора та поліпшення спонтанного коефіцієнта потужності інвертора, а також корекції реактивної потужності пасивних компонентів. Крім того, був розроблений інвертор з високою активною потужністю, що дорівнює ( $2,6 \times 10^6$  Вт), реактивною потужністю ( $5,4 \times 10^7$  ВАР), а також використовувалася напруга прямої послідовності ( $1,6 \times 10^8$  Вт), а також період перемикання (10 мкс). Загальне гармонічне спотворення системи за напругою та струмом становило 0,11 відсотка, а точність системи становила 99 відсотків. В цій роботі використовувались ПЛІС та схеми генератора, а також програмований периферійний інтерфейс (ППІ) 8255 А. як ультразвукова ШІМ з високочастотним діапазоном (20-500 кГц), про що свідчать отримані результати.

**Ключові слова:** комплексне лігування, трифазне динамічне навантаження, ППС, ПЛІС, ППІ 8255А, ультразвукова ШІМ, ланцюг генератора.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269127

### ПОЛІПШЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОДАВАННЯМ НАНОЧАСТИНОК І ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРІВ ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ (с. 42–53)

Lamyaa Mahdi Asaad, Iqbal Alshalal, Faten N. Al Zubaidi, Muna Khalil Asmail

З розвитком лазерної техніки в різних галузях машинобудування та виробництва з'явилася безліч застосувань у цих галузях та в галузі поліпшення механічних властивостей різних металів за їх здатністю протистояти різним термічним та механічним впливам та напругам. У цьому дослідженні додавання наноматеріалів та лазерного випромінювання тепла на них та знання їхньої здатності покращуватися. Процес проєктування простої моделі, що відповідає вимогам процесу моделювання, був виконаний у програмі Solid Works. Досліджувані розміри становили ( $100 \times 100 \times 10$ ) мм<sup>3</sup> заввишки та були розділені на частини. Сама перегородка – це шлях лазера. Необхідно перевірити надійність сітки, щоб сформувати відповідну сітку, яка може дати точні результати. Наночастинки, де Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та TiC використовувалися у різних пропорціях з основним матеріалом – це сталь, де ці співвідношення становили (0,3, 0,6, 1) мас. %. Результати показали, що процес додавання наноматеріалів позитивно впливає з точки зору стійкості матеріалів до тепла, механічних навантажень і навколишніх умов. Видно, що через результати зі збільшенням концентраційних значень додаванням наночастинок отримують суттєвий вплив на результати та значення термічних та механічних властивостей. Наноматеріал TiG (вольфрамний інертний газ) призвів до підвищення температури у твердому тілі на 1 мас.% порівняно з іншими концентраціями та наноматеріалами. Додавання наноматеріалів при термообробці позитивно впливає величину деформації, оскільки найменше значення деформації було отримано в наноматеріалах при 1 wt % проти інших концентрацій. Що стосується напруги, найбільша отримана напруга становить 10,502 ГПа.

**Ключові слова:** статична конструкція, наноматеріали, термообробка, вольфрам, інертний газ, термічна напруга.

DOI: 10.15587/1729-4061.2022.269844

### СИНТЕЗ НАНОКОМПЗИТИВ, ВІДНОВЛЕНИХ НАНОЧАСТИНКАМИ ОКСИДУ ГРАФЕНУ-СРІБЛА, ОТРИМАНИХ ГІДРОТЕРМАЛЬНИМ МЕТОДОМ З ВИКОРИСТАННЯМ БОРГІДРИДУ НАТРІЮ В ЯКОСТІ ВІДНОВНИКА ДЛЯ ФОТОКАТАЛІТИЧНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ІОНІВ Pb У ВОДНОМУ РОЗЧИНІ (с. 54–62)

Nurhayati Indah Ciptasari, Murni Handayani, Caesart Leonardo Kaharudin, Afif Akmal Afkauni, Adhi Dwi Hatmanto, Isa Anshori, Ahmad Maksun, Rini Riastuti, Johny Wahyuadi Soedarsono

Важкі метали є забруднювальними речовинами, які шкідливі для живих істот, і навколишнього середовища, що може бути зруйноване мікробами або іншими живими істотами, що може викликати проблеми зі здоров'ям. Одним із важких металів, який часто

зустрічається у стічних водах, є свинець. Свинець широко використовується у виробництві акумуляторів, металевих виробів, таких як боеприпаси, кабельні покриття, трубки із полівінілхлориду (ПВХ), припою, хімікатів та барвників.

Це використання призводить до того, що люди зазнають впливу великої кількості свинцю. Одним із способів боротьби із забрудненням свинцем є використання фотокаталізаторів. Фотокаталізатори реагують з важкими металами і відновлюють їх так, що рівень токсичності стає нижчим, ніж раніше, за допомогою фотокаталітичних реакцій. У цьому дослідженні синтез відновлених наночастинок оксиду графену/наночастинок срібла здійснювався простими гідротермальними методами фотокаталітичного розкладання іона Pb. Результати характеристики свідчать про успішне проведення синтезу. Успішний результат синтезу нанокompatитів rGO/AgNP був підтверджений кількома методами, такими як рентгеноструктурний аналіз, раманівська спектроскопія, ультрафіолетова спектроскопія, скануюча електронна мікроскопія (СЕМ) і енергодисперсійний рентгенівський аналіз (ЕРА). Це свідчить про наявність цих груп у зразках оксиду графену та rGO/AgNP відповідно. Отриманий нанокompatит rGO/AgNPs має пік поглинання за довжини хвилі 267 нм. Дифракційні піки для нанокompatитів rGO/AgNP та їх індекси Міллера склали  $38,08^\circ$  (111),  $44,16^\circ$  (200),  $64,44^\circ$  (220) та  $77,44^\circ$  (311). Спектри комбінаційного розсіювання rGO/AgNP демонструють смугу D при 1334,13 з інтенсивністю  $630,60 \text{ cm}^{-1}$  та смугу G при 1594,61 з інтенсивністю  $477,29 \text{ cm}^{-1}$ . Співвідношення ID/IG rGO/AgNPs-NaBH<sub>4</sub> становить ~1,32. Крім того, результати випробувань фотокаталітичної активності показали, що нанокompatит rGO/AgNPs здатний відновлювати Pb<sup>2+</sup> до Pb за максимального часу дії 1,5 години.

**Ключові слова:** свинець, відновлений оксид графену, наночастинок срібла, нанокompatит rGO/AgNPs, борогідрат натрію.