

Облікова картка НДДКР

Державний обліковий номер: 0224U002875

Державний реєстраційний номер: 0121U109440

Відкрита

Дата реєстрації: 08-03-2024



1. Етапи виконання

Номер етапу: 1

Назва етапу: Аналіз світової практики реалізації енергоефективних систем електропостачання з активними напівпровідниковими перетворювачами, що реалізують компенсацію вищих гармонік та реактивної потужності. Синтез нових методів підвищення енергоефективності систем електропостачання шляхом використання активної компенсації вищих гармонік та реактивної складової потужності. Проведення досліджень енергоефективності електричних мереж з активними напівпровідниковими компенсаторами на комп'ютерних моделях та фізичних зразках

Початок етапу: 01-2021

Закінчення етапу: 12-2023

Вид звітнього документа: Остаточний звіт

2. Виконавець

Назва організації: Український державний університет залізничного транспорту

Код ЄДРПОУ/ІПН: 01116472

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Адреса: майдан Фейербаха, буд. 7, м. Харків, Харківський р-н., Харківська обл., 61050, Україна

Телефон: 380577301939

Телефон: 380577714683

WWW: <http://kart.edu.ua/>

3. Власник результатів НДДКР (продукції)

Назва організації: Міністерство освіти і науки України

Код ЄДРПОУ/ІПН: 38621185

Адреса: проспект Берестейський, буд. 10, м. Київ, 01135, Україна

Підпорядкованість: Кабінет Міністрів України

Телефон: 380444813221

E-mail: mon@mon.gov.ua

WWW: <https://mon.gov.ua/ua>

Назва організації: Український державний університет залізничного транспорту

Код ЄДРПОУ/ІПН: 01116472

Адреса: майдан Фейєрбаха, буд. 7, м. Харків, Харківський р-н., Харківська обл., 61050, Україна

Підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України

Телефон: 380577301939

Телефон: 380577714683

WWW: <http://kart.edu.ua/>

4. Джерела та напрями фінансування

Підстава для проведення робіт: 34 - договір (замовлення) з центральним органом виконавчої влади, академією наук (головними розпорядниками бюджетних коштів на проведення НДДКР)

КПКВК: 2201040

Напрямок фінансування: 2.7 - інше (Науково-технічна (експериментальна) розробка)

Джерела фінансування

Джерело фінансування: 7713 - кошти держбюджету

Фактичний обсяг фінансування за звітний етап: 2347.272 тис. грн.

5. Науково-технічна робота

Назва роботи (укр)

Розробка наукових основ підвищення енергетичної ефективності та покращення якості електроенергії в електричних мережах

Назва роботи (англ)

Development of scientific bases for improving energy efficiency and improving the quality of electricity in electricity networks

Реферат (укр)

Об'єкт дослідження: процеси і технології підвищення енергетичної ефективності та показників якості електроенергії систем електропостачання з енергозберігаючими напівпровідниковими перетворювачами, відновлюваними джерелами і енергоємними накопичувачами енергії. Предмет дослідження: напівпровідникові перетворювачі електроенергії, їх системи автоматичного регулювання, параметри якості електричної енергії та показники енергетичної ефективності систем електропостачання. Мета дослідження: створення наукових основ і практичних рекомендацій щодо підвищення енергоефективності та покращення показників якості електроенергії в системі електропостачання за рахунок застосування сучасних напівпровідникових перетворювачів. Методи дослідження та апаратура: для вирішення поставлених завдань використовувалися фундаментальні положення теорії електричних кіл, математичне, імітаційне та фізичне моделювання для розрахунків електромагнітних процесів, фізичний експеримент для експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів; достовірність результатів підтверджується зіставленням результатів розрахунків відповідно до запропонованих методик, результатів імітаційного моделювання з використанням розроблених моделей та експериментальних досліджень. Результати та їх новизна: отримано технічні рішення, що забезпечують економію електроенергії в лініях електропостачання за рахунок компенсації вищих гармонік струмів, напруги і реактивної складової потужності, а також відповідність якісних показників електроенергії в українських електричних мережах міжнародним стандартам; створено математичні моделі та аналітичні залежності, що описують взаємозв'язок між показниками якості електроенергії і кількісними показниками втрат потужності та коефіцієнта корисної дії системи електропостачання з урахування режимів несиметрії навантаження мережі, наявності вищих гармонік струмів та напруг, а також реактивної складової потужності; розроблено імітаційні моделі роботи напівпровідникових перетворювачів.

Реферат (англ)

The object of research: processes and technologies for improving energy efficiency and power quality indicators of power supply systems with energy-saving semiconductor converters, renewable sources and energy-intensive energy storage devices. The subject of research: semiconductor converters electricity, their automatic control systems, power quality parameters and energy efficiency indicators of power supply systems. The purpose of research: creation of scientific foundations and practical recommendations for increasing energy efficiency and improving electricity quality indicators in the power supply system due to the use of modern semiconductor converters. Research methods and equipment: fundamental provisions of the theory of electric circuits, mathematical, simulation and physical modeling for calculations of electromagnetic processes, physical experiment for experimental verification of the obtained theoretical results were used to solve the tasks; the reliability of the results is confirmed by comparing the results of calculations according to the proposed methods, the results of simulation modeling using the developed models and experimental studies. Results and their novelty: technical solutions have been obtained that ensure the saving of electricity in power supply lines due to the compensation of higher harmonics of currents, voltage and reactive component power, as well as compliance of quality indicators of electricity in Ukrainian electrical networks with international standards; mathematical models and analytical dependencies have been created that describe the relationship between power quality indicators and quantitative indicators of power loss and efficiency of the power supply system, taking into account network load asymmetry modes, the presence of higher harmonics of currents and voltages, as well as the reactive power component; simulation models of the operation of semiconductor converters were developed.

Індекс УДК: 621.311, 621.314.5

Коди тематичних рубрик НТІ: 44.29.29, 45.37.31

6. Науково-технічна продукція (НТП)

НТП 1

Назва продукції (укр): Наукові основи і практичні рекомендації щодо підвищення енергоефективності та покращення показників якості електроенергії в системі електропостачання за рахунок застосування активних напівпровідникових перетворювачів з компенсацією вищих гармонік та реактивної складової потужності.

Назва продукції (англ): Scientific foundations and practical recommendations for increasing energy efficiency and improving power quality indicators in the power supply system due to the use of active semiconductor converters with compensation of higher harmonics and reactive component power

Очікувані результати: Економія енергоресурсів

Галузь застосування: Загальнопромислові системи електропостачання, напівпровідникові перетворювачі електроенергії, силові перетворювальні установки, зарядні станції для електромобілів.

Опис продукції (укр): Перший етап було присвячено аналізу світової практики реалізації енергоефективних систем електропостачання з активними напівпровідниковими перетворювачами, що реалізують компенсацію вищих гармонік та реактивної складової потужності. Було проведено аналіз складових втрат потужності в системах електропостачання, викликаних вищими гармоніками струмів, напруги і незбалансованістю режимів навантаження; показників енергоефективності та показників якості електричної енергії систем електропостачання при роботі існуючих силових схем та алгоритмів керування послідовними та паралельними силовими активними фільтрами, коректорами коефіцієнту потужності, активними чотириквadrантними випрямлячами і здійснено пошук шляхів їх покращення алгоритмічними і схемотехнічними рішеннями. Другий етап було присвячено синтезу нових методів підвищення енергоефективності систем електропостачання за рахунок використання активної компенсації вищих гармонік та реактивної складової потужності. Було створено електричні схеми активних напівпровідникових компенсаторів вищих гармонік з кращими енергетичними показниками; визначено оптимальні типи регуляторів для активних компенсаторів за різниці критеріями; розроблено методики розрахунку коефіцієнтів запропонованих регуляторів в досліджуваних системах автоматичного керування; досліджено режими роботи і особливості інтеграції відновлюваних джерел енергії до електроенергетичної системи. Третій етап було присвячено проведенню досліджень енергоефективності електричних мереж з активними напівпровідниковими компенсаторами на комп'ютерних моделях та фізичних зразках. Було проведено синтез більш енергоефективних силових схем, алгоритмів модуляції та систем автоматичного керування напівпровідниковими перетворювачами, що забезпечують режими компенсації вищих гармонік та корекції коефіцієнта потужності, зі

створенням для пропонованих схем методик розрахунку номіналів компонентів схеми; розроблено математичні та комп'ютерні моделі напівпровідникових компенсаторів.

Соціально-економічна спрямованість НТП: Створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту, Поліпшення стану навколишнього середовища, Економія енергоресурсів, Поліпшення якості життя та здоров'я населення, ефективності діагностики та лікування хворих

Стадія завершеності НТП: Звіт по НДДКР

Впровадження НТП: Впроваджено

Строки впровадження: 01.2021-12.2023

Виробник продукції: УкрДУЗТ

Споживачі продукції: ТОВ «АКУТУК», ПРАТ «ЕЛАКС», Український державний університет залізничного транспорту, Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харківський центр професійної освіти регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця», ПАТ НЕК «УКРЕНЕРГО»

Перспективні ринки: Україна, країни Євросоюзу, Великобританія, Сполучені Штати Америки, Китай, Індія, Японія, Туреччина

Права інтелектуальної власності: Отримано патент, За договорами, Подано заявку на видачу охоронного документу, В Україні

Форми та умови передачі продукції: Спільні НДДКР

7. Бібліографічний опис

1. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Гордієнко Д. А., Хоружевський Г. А., Харін Р. О. Аналіз структур і динаміки систем керування вітровими генераторами. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2022. Вип. 201. С. 14–30. DOI: 10.18664/1994-7852.201.2022.267774.
2. Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А., Шелест Д. А., Синявський А. В. Динаміка, концепції та перспективи розвитку вітрової енергетики. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2022. Том 27, № 4. С. 3–14. DOI: 10.18664/iksz.v27i4.271395.
3. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Гордієнко Д. А., Синявський А. В., Шелест Д. А. Огляд конфігурацій і стратегії керування мікромережами на основі силової електроніки. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2023. Вип. 204. С. 101–115. DOI: 10.18664/1994-7852.204.2023.284141.
4. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Khoruzhevskyi H. Study of energy parameters in alternative power source microgrid systems with multi-level inverters. International scientific journal «Industry 4.0». 2020. Vol. 5, Issue 3. P. 118–121.
5. Hernandez-Aramburo C. A., Green T. C., Mugniot N. Fuel consumption minimization of a microgrid. IEEE Transactions on Industry Applications. 2005. Vol. 41, Iss. 3. P. 673–681. DOI: 10.1109/TIA.2005.847277.
6. Timbus A., Liserre M., Teodorescu R., Rodriguez P., Blaabjerg F. Evaluation of current controllers for distributed power generation systems. IEEE Transactions on Power Electronics. 2009. Vol. 24, Iss. 3. P. 654–664. DOI: 10.1109/TPEL.2009.2012527.
7. Lasseter R. H. Smart distribution: Coupled microgrids. Proceedings of the IEEE. 2011. Vol. 99, Iss. 6. P. 1074–1082. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2114630.
8. Barnes M., Kondoh J., Asano H., Oyarzabal J., Venkataramanan G., Lasseter R., Hatziaargyriou N., Green T. Real-world microgrids – an overview. 2007 IEEE International Conference on System of Systems Engineering. 2007. P. 1–8. DOI: 10.1109/SYSOSE.2007.4304255.
9. Chakraborty S., Weiss M. D., Godoy Simoes M. Distributed intelligent energy management system for a single-phase high-frequency AC microgrid. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2007. Vol. 54, Iss. 1. P. 97–109. DOI: 10.1109/TIE.2006.888766.

10. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Control and accounting of parameters of electricity consumption in distribution networks. 2021 XXXI International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA). Proceedings. 2021. P. 114–117. DOI: 10.1109/MMA52675.2021.9610907.
11. Lasseter R. H., Eto J. H., Schenkman B., Stevens J., Vollkommer H., Klapp D., Linton E., Hurtado H., Roy J. CERTS microgrid laboratory test bed. IEEE Transactions on Power Delivery. 2011. Vol. 26, Iss. 1. P. 325–332. DOI: 10.1109/TPWRD.2010.2051819.
12. Peng F. Z. Z-source inverter. IEEE Transactions on Industry Applications. 2003. Vol. 39, Iss. 2. P. 504–510. DOI: 10.1109/TIA.2003.808920.
13. Gonzalez R., Gubia E., Lopez J., Marroyo L. Transformerless single-phase multilevel-based photovoltaic inverter. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2008. Vol. 55, Iss. 7. P. 2694–2702. DOI: 10.1109/TIE.2008.924015.
14. Maharjan L., Inoue S., Akagi H., Asakura J. State-of-charge (SOC) balancing control of a battery energy storage system based on a cascade PWM converter. IEEE Transactions on Power Electronics. 2009. Vol. 24, Iss. 6. P. 1628–1636. DOI: 10.1109/TPEL.2009.2014868.
15. Watson A. J., Dang H., Mondal G., Clare J., Wheeler P. W. Experimental implementation of a multilevel converter for power system integration. 2009 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition. 2009. DOI: 10.1109/ECCE.2009.5316176.
16. Pai F. An improved utility interface for microturbine generation system with stand-alone operation capabilities. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2006. Vol. 53, Iss. 5. P. 1529–1537. DOI: 10.1109/TIE.2006.882000.
17. Kim H., Yu T., Choi S. Indirect current control algorithm for utility interactive inverters in distributed generation systems. IEEE Transactions on Power Electronics. 2008. Vol. 23, Iss. 3. P. 1342–1347. DOI: 10.1109/TPEL.2008.920879.
18. Guerrero J. M., Huang L., Uceda J. Control of distributed uninterruptible power supply systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2008. Vol. 55, Iss. 8. P. 2845–2859. DOI: 10.1109/TIE.2008.924173.
19. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Mashura A., Hordiienko D. The analysis of mathematical models of charge-discharge characteristics in lithium-ion batteries. 2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Proceedings. 2020. P. 635–640. DOI: 10.1109/ELNANO50318.2020.9088827.
20. Scherbak Ya., Plakhtii O., Nerubatskyi V., Hordiienko D., Shelest D., Semenenko Yu. Analysis of exact and approximating dependences of the active resistance of conductor on the frequency of current under the action of skin effect. IEEE EUROCON 2021 – 19th International Conference on Smart Technologies. Proceedings. 2021. P. 438–442. DOI: 10.1109/EUROCON52738.2021.9535581.
21. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Гордієнко Д. А., Хоружевський Г. А., Філіп'єва М. В. Аналіз точних і апроксимуючих залежностей активного опору провідника від частоти струму під дією шкіні-ефекту. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2021. Вип. 197. С. 99–112. DOI: 10.18664/1994-7852.197.2021.248216.
22. Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Шелест Д. А., Цибульник В. Р. Дослідження впливу шкіні-ефекту на втрати потужності в системах тягового електропостачання постійного струму. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2021. Том 26, № 4. С. 3–14. DOI: 10.18664/iksz.v26i4.247224.
23. Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P., Kavun V. Ye., Hordiienko D. A. Active single-phase four-quadrant rectifier with improved hysteresis modulation algorithm. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019. No. 5 (173). P. 93–98. DOI: 10.29202/nvngu/2019-5/16.
24. Vamanan N., John V. Dual-comparison one-cycle control for single-phase bidirectional power converters. IEEE Transactions on Industry Applications. 2018. Vol. 54, Iss. 5. P. 4621–4631. DOI: 10.1109/TIA.2018.2836359.
25. Venkatramanan D., Bharadwaj P., Adapa A. K., John V. Power Conversion Technologies for High-Performance AC Micro-grid. INAE Letters. 2019. Vol. 4, Iss. 6. P. 27–35. DOI: 10.1007/s41403-018-00062-6.
26. Torre J. L., Barros L. A. M., Afonso J. L., Pinto J. G. Development of a Proposed Single-Phase Series Active Power Filter without External Power Sources. 2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). 2019. DOI: 10.1109/sest.2019.8849010.

27. Asiminoaei L., Rodriguez P., Blaabjerg F., Malinowski M. Reduction of Switching Losses in Active Power Filters with a New Generalized Discontinuous-PWM Strategy. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2008. Vol. 55, Iss. 1. P. 467–471. DOI: 10.1109/tie.2007.896554.
28. Artemenko M. Y., Batrak L. M., Polishchuk S. Y., Mykhalskyi V. M., Shapoval I. A. The effect of load power factor on the efficiency of three-phase four-wire power system with shunt active filter. 2016 IEEE 36th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). 2016. DOI: 10.1109/elnano.2016.7493067.
29. Marcu M., Popescu F.-G., Niculescu T., Pana L., Handra A. D. Simulation of power active filter using instantaneous reactive power theory. 2014 16th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP). 2014. P. 581–585. DOI: 10.1109/ichqp.2014.6842783.
30. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Sushko D., Hordiienko D., Khoruzhevskyi H. Improving the harmonic composition of output voltage in multilevel inverters under an optimum mode of amplitude modulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2, No. 8 (104). P. 17–24. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.200021.
31. Shruti K. K., Valsalan T., Poorani S. Single phase active front end rectifier system employed in three phase variable frequency drive. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*. 2017. P. 121–129. DOI: 10.17148/IJIREICE.
32. Plakhtii O., Tsybulnyk V., Nerubatskyi V., Mittsel N. The analysis of modulation algorithms and electromagnetic processes in a five-level voltage source inverter with clamping diodes. 2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). Proceedings. 2019. P. 294–297. DOI: 10.1109/MEES.2019.8896567.
33. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Гладка А. В. Покращення електромагнітної сумісності тягового електропривода змінного струму шляхом застосування 4QS-випрямлячів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2018. Вип. 178. С. 21–28. DOI: 10.18664/1994-7852.178.2018.138906.
34. Плахтий А. А., Нерубацький В. П., Силантьев А. С. Анализ энергоэффективности активного выпрямителя с улучшенной гистерезисной системой управления. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. № 3. С. 10–16. DOI: 10.18664/ikszt.v0i3.107677.
35. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Ryshchenko I., Zinchenko O., Tykhonravov S., Hordiienko D. Determining additional power losses in the electricity supply systems due to current's higher harmonics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1, No. 8 (97). P. 6–13. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.155672.
36. Плахтий А. А., Нерубацький В. П., Кавун В. Е., Машура А. В. Компенсация высших гармоник входных токов в системах с параллельным включением автономных инверторов. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2018. № 27 (103). С. 65–74. DOI: 10.15276/eltecs.27.103.2018.07.
37. Arcega F. J., Pardina A. Study of harmonics thermal effect in conductors produced by skin effect. *IEEE latin america transactions*. 2014. Vol. 12, No. 8. P. 1488–1495. DOI: 10.1109/TLA.2014.7014518.
38. Tsuchiya A., Onodera H. Impact of skin effect on loss modeling of on-chip transmission-line for terahertz integrated circuits. 2013 IEEE International Meeting for Future of Electron Devices, Kansai. 2013. DOI: 10.1109/IMFEDK.2013.6602261.
39. Zagirnyak M., Maliakova M., Kalinov A. Analysis of operation of power components compensation systems at harmonic distortions of mains supply voltage. 2015 Intl Aegean Conference on Electrical Machines & Power Electronics (ACEMP), 2015 Intl Conference on Optimization of Electrical & Electronic Equipment (OPTIM) & 2015 Intl Symposium on Advanced Electromechanical Motion Systems (ELECTROMOTION). 2016. DOI: 10.1109/OPTIM.2015.7426958.
40. Akimzhanov T. B., Kharlov N. N., Borovikov V. S., Ushakov V. Ya. Development of calculation methods for additional electrical power losses during transportation. 2014 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST). 2014. DOI: 10.1109/IFOST.2014.6991138.
41. Al-Mashakbeh A. S., Zagirnyak M., Maliakova M., Kalinov A. Improvement of compensation method for non-active current components at mains supply voltage unbalance. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 1, No. 8 (85). P. 41–49. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.87316.
42. Ben C. J. The practical issues involved in designing, specifying and installing skin effect current tracing systems. 2012

43. Zaikin D. I. Round and tubular wire skin effect modeling and usage SPICE as Maxwell's equations solver. 2015 23rd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR). 2015. DOI: 10.1109/TELFOR.2015.7377551.
44. Blahnik V., Talla J. Single-phase synchronization for traction active rectifier. International Conference on Applied Electronics (AE). 2016. DOI: 10.1109/ae.2016.7577233.
45. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Khoruzhevskiy H. Prospects for the development of power electronics by application of technologies for production of power semiconductor switches based on silicon carbide. International scientific journal «Industry 4.0». 2020. Vol. 5, Iss. 4. P. 170–173.
46. Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A., Khoruzhevskiy H. A. Calculation of static and dynamic losses in power IGBT-transistors by polynomial approximation of basic energy characteristics. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2020. No. 2 (176). P. 82–88. DOI: 10.33271/nvngu/2020-82.
47. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Kotlyarov V. Analysis of topologies of active four-quadrant rectifiers for implementing the INDUSTRY 4.0 principles in traffic power supply systems. International scientific journal «Industry 4.0». 2019. Vol. 4, Iss. 3. P. 106–109.
48. Bouzida A., Abdelli R., Ouadah M. Calculation of IGBT power losses and junction temperature in inverter drive. 2016 8th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC). 2016. DOI: 10.1109/ICMIC.2016.7804216.
49. Gervasio F., Mastromauro R., Liserre M. Power losses analysis of two-levels and three-levels PWM inverters handling reactive power. 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). 2015. DOI: 10.1109/ICIT.2015.7125248.
50. Madhu Shobini M., Kamala J., Rathna R. Analysis and simulation of flying capacitor multilevel inverter using PDPWM strategy. 2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA). 2017. DOI: 10.1109/ICIMIA.2017.7975578.
51. Scherback Ya. V., Plakhtiy O. A., Nerubatskiy V. P. Control characteristics of active four-quadrant converter in rectifier and recovery mode. Technical Electrodynamics. 2017. No. 6. P. 26–31. DOI: 10.15407/techned2017.06.026.
52. Ahmadzadeh T., Sabahi M., Babaei E. Modified PWM control method for neutral point clamped multilevel inverters. 2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON). 2017. DOI: 10.1109/ECTICon.2017.8096351.
53. Plakhtii O., Nerubatskyi V. Analyses of energy efficiency of interleaving in active voltage-source rectifier. 2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). Proceedings. 2018. P. 253–258. DOI: 10.1109/IEPS.2018.8559514.
54. Zhao L, Wang Q., Li G., Chen Q., Hu C. Analyze and compare the efficiency of two-level and three-level inverter in SVPWM. 2014 9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. 2014. DOI: 10.1109/ICIEA.2014.6931488.
55. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Hordiienko D., Scherbak Ya., Podnebenna S., Synyavskiy A. The research and development of a digital meter of parameters of a three-phase network on ADC ADS131E08. 2021 IEEE 16th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). Proceedings. 2021. P. 25–29. DOI: 10.1109/CADSM52681.2021.9385255.
56. Rodder S., Biswas M., Khan Z. A modified PWM technique to improve total harmonic distortion of multilevel inverter. 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE). 2016. DOI: 10.1109/ICECE.2016.7853970.
57. Ferdowsi F., Yazdankhah A. S., Rohani H. A combinative method to control output power fluctuations of large gridconnected photovoltaic systems. 2014 14th International Conference on Environment and Electrical Engineering. 2014. DOI: 10.1109/EEEIC.2014.6835875.
58. Ferdowsi F., Edrington C. S., El-mezyani T. Real-time stability assessment utilizing non-linear time series analysis. 2015 North American Power Symposium (NAPS). 2015. DOI: 10.1109/NAPS.2015.7335189.
59. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Mykhalkiv S., Ravlyuk V. A method for calculating the parameters of the sine filter

of the frequency converter, taking into account the criterion of starting current limitation and pulse-width modulation frequency. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 1, No. 8 (109). P. 6–16. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.225327.

60. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Tugay D. V., Hordiienko D. A. Method for optimization of switching frequency in frequency converters. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. No. 1 (181). P. 103–110. DOI: 10.33271/nvngu/2021-1/103.

61. Gupta K. K., Ranjan A., Bhatnagar P., Sahu L. K., Jain S. Multilevel inverter topologies with reduced device count: A review. *IEEE Trans. Power Electron.* 2016. Vol. 31, Iss. 1. P. 135–151. DOI: 10.1109/TPEL.2015.2405012.

62. Ahmed B., Aganah K., Ndoeye M., Arif M. A., Luciano C., Murphy G. Single-phase cascaded multilevel inverter topology for distributed DC sources. 2017 IEEE 8th Annual Ubiquitous Computing, Electronics and Mobile Communication Conference (UEMCON). 2017. DOI: 10.1109/uemcon.2017.8248980.

63. Rashid M. H. *Power electronics handbook: devices, circuits, and applications*. Third edition. Elsevier. 2007. P. 250–251.

64. Maurya S., Mishra D., K. Singh, Mishra A., Pandey Y. An efficient technique to reduce total harmonics distortion in cascaded h- bridge multilevel inverter. 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT). 2019. DOI: 10.1109/icecct.2019.8869424.

65. Deng F., Chen Z. Voltage-balancing method for modular multilevel converters switched at grid frequency. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2015. Vol. 62, Iss. 5. P. 2835–2847. DOI: 10.1109/tie.2014.2362881.

66. Martinez-Rodrigo F., Ramirez D., Rey-Boue A., de Pablo S., Herrero-de Lucas L. Modular Multilevel Converters: Control and Applications. *Energies*. 2017. Vol. 10, Iss. 11. 1709. DOI: 10.3390/en10111709.

67. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Adaptive modulation frequency selection system in power active filter. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). Proceedings. 2022. P. 341–346. DOI: 10.1109/ESS57819.2022.9969261.

68. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Карпенко Н. П., Гордієнко Д. А., Цибульник В. Р. Аналіз енергетичних процесів у семирівневому автономному інверторі напруги при різних алгоритмах модуляції. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2019. Том 24, № 5. С. 8–18. DOI: 10.18664/iksz.v24i5.181286.

69. Mali S. M., Patil Dr. B. THD minimization in multilevel inverter using optimization approach. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2018. Vol. 7, Iss. 6. P. 97–100.

70. Sonia K., Seshadri G. Analysis and modelling of a multilevel inverter in distribution system with FACTS capability. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. 2015. Vol. 4, Iss. 5. P. 3015–3021. DOI: 10.15680/IJRSET.2015.0405072.

71. Kurwale M. V., Sharma P. G., Bacher G. Performance analysis of modular multilevel converter (MMC) with continuous and discontinuous pulse width modulation (PWM). *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. 2014. Vol. 3, Iss. 2. P. 7463–7474.

72. Yang H., Saeedifard M. A capacitor voltage balancing strategy with minimized ac circulating current for the DC-DC modular multilevel converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2017. Vol. 64, Iss. 2. P. 956–965. DOI: 10.1109/tie.2016.2613059.

73. Du V., Dekka A., Wu B., Zargari N. *Modular multilevel converters: analysis, control and applications*. Wiley-IEEE Press. 2018. 368 p. DOI: 10.1002/9781119367291

74. Bashir S. B., Beig A. R. An improved voltage balancing algorithm for grid connected MMC for medium voltage energy conversion. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2018. Vol. 95. P. 550–560. DOI: 10.1016/j.ijepes.2017.09.002

75. Zhemerov G. G., Krylov D. S. Concept of construction of power circuits of a multilevel modular converter and its transistor modules. *Electrical Engineering & Electromechanics*. 2018. No. 6. P. 26–32. DOI: 10.20998/2074-272X.2018.6.03.

76. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Гордієнко Д. А., Хоружевський Г. А., Філіп'єва М. В. Дослідження точності

модельовання втрат потужності в силових діодах і транзисторах. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2023. Вип. 203. С. 73–87. DOI: 10.18664/1994-7852.203.2023.277905.

77. Zhu K., Deng F., Chen S., Hou J., Abulanwar S., Ufa R. An AC-side start-up scheme for thyristor-based modular multilevel converters. 2022 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC). 2022. DOI: 10.1109/PEAC56338.2022.9959105.

78. Godoy M. P., Uberti V. A., Abaide A., Guidali G. D., Prade L. R., Keller A. L. Identifying and reducing harmonic distortion in an industrial uninterruptible power supply system. 2020 6th International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS). 2020. DOI: 10.1109/EPECS48981.2020.9304969.

79. Nerubatskyi V., Hordiienko D. Analysis of the control system of a wind plant connected to the AC network. Power engineering: economics, technique, ecology. 2023. No. 1. P. 87–91. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2023.276028.

80. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Khoruzhevskyi H. Simulation of surge protection according IEC 61000-4-5. International scientific journal «Industry 4.0». 2019. Vol. 4, Iss. 6. P. 293–296.

81. Cho N., Lee H., Bhat R., Heo K. Analysis of harmonic hosting capacity of IEEE Std. 519 with IEC 61000-3-6 in distribution systems. 2019 IEEE PES GTD Grand International Conference and Exposition Asia (GTD Asia). 2019. DOI: 10.1109/GTDAsia.2019.8715918.

82. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Efficiency analysis of DC-DC converter with pulse-width and pulse-frequency modulation. 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Proceedings. 2022. P. 571–575. DOI: 10.1109/ELNANO54667.2022.9926762.

83. Chen X., Batarseh I. A fixed switching frequency dual-input LLC converter with PWM controlled semi-active rectifiers for PV applications. 2021 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). 2021. DOI: 10.1109/APEC42165.2021.9487039.

84. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A. Increasing the energy indicators of converters of electric vehicle charging stations. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2023. Вип. 204. С. 124–137. DOI: 10.18664/1994-7852.204.2023.284153.

85. Ballo A., Grasso A. D., Privitera M. Demystifying regulating active rectifiers for energy harvesting systems: a tutorial assisted by Verilog-A models. IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 43891–43908. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3272504.

86. Purgat P., Bandyopadhyay S., Qin Z., Bauer P. Power flow decoupling controller for triple active bridge based on fourier decomposition of transformer currents. 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). 2020. DOI: 10.1109/APEC39645.2020.9124006.

87. Zhang J., Liu J., Yang J., Zhao N., Wang Y., Zheng T. Q. A modified DC power electronic transformer based on series connection of full-bridge converters. IEEE Transactions on Power Electronics. 2018. Vol. 34, Iss. 3. P. 2119–2133. DOI: 10.1109/TPEL.2018.2842728.

88. Rajendran G., Vaithilingam C., Misron N., Naidu K., Ahmed M. Voltage oriented controller based vienna rectifier for electric vehicle charging stations. IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 50798–50809. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3068653.

89. Soyed A., Kadri A., Hassnaoui O., Bacha F. Voltage oriented control of indirect matrix converter applied to wind energy conversion system using PMSM generator. 2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). 2020. DOI: 10.1109/CoDIT49905.2020.9263781.

90. Jamil Asghar M. S. Digital control of thyristor switched reactors using discontinuous phase controlled switching. 2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON). 2020. DOI: 10.1109/GUCON48875.2020.9231064.

91. Jamil Asghar M. S. Discontinuous phase controlled (DPC) convertors for charging of batteries of electrical vehicles. 2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON). 2020. DOI: 10.1109/GUCON48875.2020.9231082.

92. Lamterkati J., Khafallah M., Ouboubker L., Aziz E. Comparison of DPC methods using two-level and three-level rectifiers.

93. Yousefi-Talouki A., Zalzar S., Pouresmaeil E. Direct power control of matrix converter-fed DFIG with fixed switching frequency. *Sustainability*. 2019. Vol. 11, Iss. 9. 2604. DOI: 10.3390/su11092604.
94. Haque M. M., Wolfs P., Alahakoon S. Active power flow control of three-port converter for virtual power plant applications. 2020 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid and Renewable Energy (PESGRE2020). 2020. DOI: 10.1109/PESGRE45664.2020.9070350.
95. Abdelateef M. M., El-Hay E. A., Elkholy M. M. Recent trends in wind energy conversion system with grid integration based on soft computing methods: comprehensive review, comparisons and insights. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2023. Vol. 30. P. 1439–1478. DOI: 10.1007/s11831-022-09842-4.
96. Najafzadeh M., Ahmadihangar R., Husev O., Roasto I., Jalakas T., Blinov A. Recent contributions, future prospects and limitations of interlinking converter control in hybrid AC/DC microgrids. *IEEE Access*. 2021. Vol. 9. P. 7960–7984. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3049023.
97. Manganaro G. An introduction to high sample rate nyquist analog-to-digital converters. *IEEE Open Journal of the Solid-State Circuits Society*. 2022. Vol. 2. P. 82–102. DOI: 10.1109/OJSSCS.2022.3212028.
98. Komurcugil H., Biricik S., Bayhan S., Zhang Z. Sliding mode control: overview of its applications in power converters. *IEEE Industrial Electronics Magazine*. 2021. Vol. 15, Iss. 1. P. 40–49. DOI: 10.1109/MIE.2020.2986165.
99. Fallaha C., Saad M., Ghommam J., Kali Y. Sliding mode control with model-based switching functions applied on a 7-DOF exoskeleton arm. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2021. Vol. 26, Iss. 1. P. 539–550. DOI: 10.1109/TMECH.2020.3040371.
100. Guo Y., Liu M., Fang X., Li Z., Zhang X. Model predictive control for three-phase PWM rectifier with active power decoupling circuit under unbalanced grid voltages. 2019 IEEE International Symposium on Predictive Control of Electrical Drives and Power Electronics (PRECEDE). 2019. DOI: 10.1109/PRECEDE.2019.8753277.
101. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Hordiienko D., Sushko D., Syniavskyi A., Shelest D. Thermal-powerloss approximation method for determination of efficiency in semiconductor devices. 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO). Proceedings. 2022. P. 456–461. DOI: 10.1109/ELNANO54667.2022.9926756.
102. Hashemzadeh S., Rostami R., Marzang V., Hosseini S. Direct power control of PWM three-phase rectifier using the predictive method: aims to reduce THD. 2020 28th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE). 2020. DOI: 10.1109/ICEE50131.2020.9261070.
103. Shcherbak Y., Semenenko Y., Semenenko O., Karpenko N., Suprun O., Plakhtii O., Nerubatskyi V. Synthesis of the transfer function of the voltage controller in an active filter-stabilizer converter. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 2, No. 2 (110). P. 71–77. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229827.
104. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Машура А. В., Гордієнко Д. А., Варв'янська В. В. Синтез регулятора вихідної напруги активного чотириквadrантного випрямляча. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2021. Вип. 198. С. 131–144. DOI: 10.18664/1994-7852.198.2021.256643.
105. Jadli U., Mohd-Yasin F., Moghadam H., Nicholls J., Pande P., Dimitrijevic S. The correct equation for the current through voltage-dependent capacitors. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 98038–98043. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2997906.
106. Guo K., Yang M., Li X., Shi P., Wang P. Research on a new adaptive integral sliding mode controller based on a small BLDC. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 73204–73213. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3188665.
107. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Регулятор вихідної напруги активного випрямляча на основі ковзного режиму. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2023. Том 28, № 3. С. 53–66. DOI: 10.18664/ikszt.v28i3.290128.
108. Feng S., Lei J., Zhao J., Chen W., Deng F. Improved reference generation of active and reactive power for matrix converter with model predictive control under input disturbances. *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 97001–97012. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929792.
109. Zenteno-Torres J., Cieslak J., Davila J., Henry D. Sliding mode control with application to fault-tolerant control: assessment

and open problems. Automation. 2021. Vol. 2, Iss. 1. P. 1–30. DOI: 10.3390/automation2010001.

110. Jin S., Lv Z., Xiong X., Yu J. A chattering-free sliding mode filter enhanced by first order derivative feedforward. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 41175–41185. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2976737.

111. Driesen J., Katiraei F. Design for distributed energy resources. IEEE Power and Energy Magazine. 2008. Vol. 6, Iss. 3. P. 30–40. DOI: 10.1109/MPE.2008.918703.

112. Nikkhajoei H., Lasseter R. H. Distributed generation interface to the CERTS microgrid. IEEE Transactions on Power Delivery. 2009. Vol. 24, Iss. 3. P. 1598–1608. DOI: 10.1109/TPWRD.2009.2021040.

113. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D. Improving the energy efficiency of traction power supply systems by means the implementation of alternative power sources. 26th International Scientific Conference Transport Means 2022. Part I. P. 459–464.

114. Chen Z., Guerrero J. M., Blaabjerg F. A review of the state of the art of power electronics for wind turbines. IEEE Transactions on Power Electronics. 2009. Vol. 24, Iss. 8. P. 1859–1875. DOI: 10.1109/TPEL.2009.2017082.

115. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Syniavskyi A. V., Philipjeva M. V. Use of modern technologies in the problems of automation of data collection in intellectual power supply systems. Modern engineering and innovative technologies. 2022. Iss. 19. P. 38–51. DOI: 10.30890/2567-5273.2022-19-01-058.

116. Inoue S., Akagi H. A bidirectional isolated DC-DC converter as a core circuit of the next-generation medium-voltage power conversion system. IEEE Transactions on Power Electronics. 2007. Vol. 22, Iss. 2. P. 535–542. DOI: 10.1109/TPEL.2006.889939.

117. Song Y. J., Chung S.-K., Enjeti P. N. A current-fed link direct DC/AC converter with active harmonic filter for fuel cell power systems. Conference Record of the 2004 IEEE Industry Applications Conference, 2004. 39th IAS Annual Meeting. 2004. DOI: 10.1109/IAS.2004.1348397.

118. Tirumala R., Mohan N., Henze C. Seamless transfer of grid- connected PWM inverters between utility-interactive and stand-alone modes. APEC. Seventeenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. 2002. DOI: 10.1109/APEC.2002.989378.

119. Teodorescu R., Blaabjerg F. Flexible control of small wind turbines with grid failure detection operating in stand-alone and grid-connected mode. IEEE Transactions on Power Electronics. 2004. Vol. 19, Iss. 5. P. 1323–1332. DOI: 10.1109/TPEL.2004.833452.

120. Katiraei F., Iravani R., Hatziargyriou N., Dimeas A. Microgrids management. IEEE Power and Energy Magazine. 2008. Vol. 6, Iss. 3. P. 54–65. DOI: 10.1109/MPE.2008.918702.

121. Pogaku N., Prodanovic M., Green T. C. Modeling, analysis and testing of an inverter-based microgrid. IEEE Transactions on Power Electronics. 2007. Vol. 22, Iss. 2. P. 613–625. DOI: 10.1109/TPEL.2006.890003.

122. Burlaka V., Gulakov S., Podnebennaya S., Kudinova E., Plakhtii O., Nerubatskyi V. An universal bidirectional three-port DC/DC/AC converter with isolated AC port. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). Proceedings. 2021. P. 367–372. DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575381.

123. Chitransh A., Kumar S. The Different Type of MPPT techniques for photovoltaic system. Indian Journal of Engineering and Materials Sciences. 2021. Vol. 1, Iss. 2. P. 1–4. 2021. DOI: 10.35940/ijee.A1809.111221.

124. Ryu D., Kim Y., Kim H. Optimum MPPT control period for actual insolation condition. 2018 IEEE International Telecommunications Energy Conference (INTELEC). 2018. DOI: 10.1109/intlec.2018.8612419.

125. Louzazni M., Al-Dahidi S. Approximation of photovoltaic characteristics curves using Bézier Curve. Renewable Energy. 2021. Vol. 174, P. 715–732. DOI: 10.1016/j.renene.2021.04.103.

126. Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А. Дослідження системи перетворення енергії на сонячних електростанціях за рахунок використання розподіленого відстеження максимальної потужності фотоелектричної панелі. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2023. Вип. 205. С. 111–122. DOI: 10.18664/1994-7852.205.2023.288833.

127. Choi W., Jung K., Sarlioglu B. Power control of hybrid grid-connected inverter to improve power quality. 2020 IEEE Energy

Conversion Congress and Exposition (ECCE). 2020. DOI: 10.1109/ECCE44975.2020.9235627.

128. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Conceptual model of a micronetwork with distributed energy resources. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 16–20. DOI: 10.15407/publishing2023.66.016.

129. Devie R. S., Alagammal S., Prabha N. R. Efficient single switch isolated high step up DC-DC converter with constant output voltage for solar energy sources. 2017 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS). 2017. DOI: 10.1109/ITCOSP.2017.8303150.

130. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Hordiienko D., Podnebenna S. Synthesis of a regulator recuperation mode a DC electric drive by creating a process of finite duration. 2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON). Proceedings. 2021. P. 272–277. DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575792.

131. Lahooti Eshkevari A., Mosallanejad A., Sepasian M. Design, analysis, and implementation of a new highgain P-type step-up DC/DC converter with continuous input current and common ground. *IET Power Electronics*. 2021. Vol. 14, Iss. 1. P. 225–238. DOI: 10.1049/pel2.12027.

132. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Khoruzhevskyi H. A. Study of the energy parameters of the system “solar panels – solar inverter – electric network”. 4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF-2023). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. Vol. 1254. 012092. P. 1–12. DOI: 10.1088/1755-1315/1254/1/012092.

133. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Scherbak Ya., Mashura A., Khomenko I. Energy efficiency criterion of power active filter in a three-phase network. 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Proceedings. 2020. P. 165–170. DOI: 10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250073.

134. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Кавун В. Є., Машура А. В., Гордієнко Д. А., Цибульник В. Р. Аналіз показників енергоефективності автономних інверторів напруги з різними типами модуляції. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2018. Вип. 180. С. 106–120.

135. Ganesh P., Shanmugavadivu N., Santha K. Single-phase 63-level modular multilevel inverter fed induction motor drive for solar PV applications. 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES). 2018. DOI: 10.1109/icees.2018.8443287.

136. Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A. Energy efficient ways of using energy accumulators in the Smart Grid concept. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2023. Вип. 66. С. 11–15. DOI: 10.15407/publishing2023.66.011.

137. Rajesh B. Manjesh. Comparison of harmonics and THD suppression with three and 5 level multilevel inverter-cascaded H-bridge. 2016 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT). 2016. DOI: 10.1109/ICCPCT.2016.7530116.

138. Piao C., Hung J. Y. A novel SVPWM overmodulation technique for three-level NPC VSI. 2015 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC). 2015. DOI: 10.1109/itec.2015.7165744.

139. Raval K. Y., Ruvavara V. J. Novel multilevel inverter design with reduced device count. 2018 International Conference on Current Trends Towards Converging Technologies (ICCTCT). 2018. DOI: 10.1109/icctct.2018.8550867.

140. Todkar R. R., Shinde S. M. A solar photovoltaic system for ATM by using buck-boost integrated full bridge inverter. 2016 2nd International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB). 2016. DOI: 10.1109/AEEICB.2016.7538304.

141. Vdovin V. V., Kotin D. A., Pankratov V. V. Parameters determination in the sine filters for AFE converters and VSI with PWM. 2014 15th International Conference of Young Specialists on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 2014. DOI: 10.1109/edm.2014.6882553.

142. Schobre T., Mallwitz R. Automated design method for sine wave filters in motor drive applications with SiC-inverters. 2020 22nd European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'20 ECCE Europe). 2020. DOI: 10.23919/EPE20ECCEurope43536.2020.9215952.

143. Westgeest A., Brett L. Improving safety and performance testing for EV batteries. 2013 World Electric Vehicle Symposium

and Exhibition (EVS27). 2013. DOI: 10.1109/evs.2013.6914940.

144. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Hordiienko D. Research of operating modes and features of integration of renewable energy sources into the electric power system. 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). Proceedings. 2022. P. 133–138. DOI: 10.1109/ESS57819.2022.9969337.
145. Zhemerov G., Plakhtii O., Mashura A. Efficiency analysis of charging station for electric vehicles using the active rectifier in microgrid system. 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems IEPS-2020. 2020. DOI: 10.1109/IEPS51250.2020.9263182.
146. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Mashura A., Hordiienko D., Khoruzhevskyi H. Improving energy indicators of the charging station for electric vehicles based on a three-level active rectifier. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3, No. 8 (105). P. 46–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.204068.
147. Garg A., Das M. High efficiency three phase interleaved buck converter for fast charging of EV. 2021 1st International Conference on Power Electronics and Energy (ICPEE). 2021. DOI: 10.1109/icpee50452.2021.9358486.
148. Rodriguez J. R., Dixon J. W., Espinoza J. R., Pontt J., Lezana P. PWM regenerative rectifiers: state of the art. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2005. Vol. 52, Iss. 1. P. 5–22. DOI: 10.1109/tie.2004.841149.
149. Lu D., Wang X., Blaabjerg F. Investigation on the AC/DC interactions in voltage-source rectifiers and current-source rectifiers. 2018 IEEE 19th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL). 2018. DOI: 10.1109/compel.2018.8460150.
150. Qawaqzeh M. Z., Zaitsev R. V., Miroshnyk O. O., Kirichenko M. V., Danylchenko D. O., Zaitseva L. V. High-voltage DC converter for solar power station. International Journal of Power Electronics and Drive System. 2020. Vol. 11, Iss. 4. P. 2135–2144.
151. ЦЕ-0009 Правила улаштування системи тягового електропостачання залізниць України. Затверджено Наказ Укрзалізниці від 24.12.2004 р. № 1010-ЦЗ.
152. Tolbert L. M., Peng F. Z., Habetler T. G. Multilevel converters for large electric drives. IEEE Transactions on Industry Applications. 1999. Vol. 35, Iss. 1. P. 36–44. DOI: 10.1109/28.740843.
153. Nerubatskyi V. P., Plakhtii O. A., Hordiienko D. A., Shelest D. A. Mathematical model of three-phase AC-DC active voltage converter with pulse-width modulation. Modern scientific researches. 2021. Iss. 15. Part 1. P. 10–25. DOI: 10.30889/2523-4692.2021-15-01-033.
154. Meynard T. A., Fadel M., Aouda N. Modeling of multilevel converters. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 1997. Vol. 44, Iss. 3. P. 356–364. DOI: 10.1109/41.585833.
155. Rodriguez J., Lai J. S., Peng F. Z. Multilevel inverters: a survey of topologies, controls and applications. IEEE Transactions on Industrial Applications. 2002. Vol. 49, Iss. 4. P. 724–738. DOI: 10.1109/TIE.2002.801052.
156. Gupta K. K., Jain S. A multilevel voltage source inverter (VSI) to maximize the number of levels in output waveform. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2013. Vol. 44, Iss. 1. P. 25–36. DOI: 10.1016/j.ijepes.2012.07.008.
157. Midavaine H., Moigne P. L. Multilevel three-phase rectifier with sinusoidal input currents. PESC Record. 27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference. 1996. DOI: 10.1109/PESC.1996.548794.
158. Brovanov S., Pacas M. Space vector PWM technique for three-level neutral point clamped converters with taking into account DC-voltage unbalance. 2008 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering. 2008. DOI: 10.1109/SIBIRCON.2008.4602637.
159. Hoshi N., Tanaka T., Kubota T., Oguchi K., Sakakibara K. A novel PWM method of three-level rectifier for controlling input-current harmonics at lower switching frequencies. Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference. 36th IAS Annual Meeting. 2001. DOI: 10.1109/IAS.2001.955483.
160. Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А., Шелест Д. А., Синявський А. В. Дослідження системи керування пристрою плавного пуску асинхронного двигуна. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2022. Вип. 202. С. 62–77. DOI: 10.18664/1994-7852.202.2022.273622.

161. Nerubatskyi V., Hordiienko D. Study of the influence of sliding mode regulator on spectrum higher harmonics of the SEPIC converter. 2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES). Proceedings. 2023. P. 1–4. DOI: 10.1109/MEES61502.2023.10402454.
162. Li Y. W., Pande M., Zargari N., Wu B. Power-factor compensation for PWM CSR–CSI–Fed high-power drive system using flux adjustment. IEEE Transactions on Power Electronics. 2009. Vol. 24, Iss. 12. P. 3014–3019. DOI: 10.1109/tpel.2009.2030949.
163. Zhang Y., Li Y. W. Grid harmonics compensation using high-power PWM converters based on combination approach. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2016. Vol. 4, Iss. 1. P. 186–197. DOI: 10.1109/jestpe.2015.2463230.
164. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Цибульник В. Р., Гордієнко Д. А., Хоружевський Г. А. Аналіз показників енергоефективності автономних інверторів напруги з імпедансною і квазіімпедансною ланками у вхідному колі при застосуванні різних алгоритмів модуляції. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2020. Том 25, № 3. С. 19–31. DOI: 10.18664/iksz.v25i3.214089.
165. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Гордієнко Д. А., Філіп'єва М. В., Багач Р. В. Підвищення точності моделювання перехідних процесів і розрахунку втрат потужності напівпровідникових перетворювачів у програмному середовищі NI Multisim. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2023. Том 28, № 2. С. 22–35. DOI: 10.18664/iksz.v28i2.283312.
166. Adapa A. K., John V. An auxiliary-capacitor-based active phase converter with reduced device current stress. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2019. Vol. 66, Iss. 9. P. 6925–6935. DOI: 10.1109/TIE.2018.2877087.
167. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Karpenko N., Hordiienko D., Butova O., Khoruzhevskyi H. Research into energy characteristics of single-phase active four-quadrant rectifiers with the improved hysteresis modulation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 5, No. 8 (101). P. 36–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.179205.
168. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Karpenko N., Ananieva O., Khoruzhevskyi H., Kavun V. Studying a voltage stabilization algorithm in the cells of a modular six-level inverter. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 6, No. 8 (102). P. 19–27. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.185404.
169. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Sushko D., Ryshchenko I., Tsybulnyk V., Hordiienko D. Improving energy characteristics of AC electric rolling stock by using the three-level active four-quadrant rectifiers. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 4, No. 8 (100). P. 6–14. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174112.
170. Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P., Hordiienko D. A., Tsybulnyk V. R. Analysis of the energy efficiency of a two-level voltage source inverter in the overmodulation mode. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. 2019. No. 4 (172). P. 68–72. DOI: 10.29202/nvngu/2019-4/9.
171. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Khomenko I., Tsybulnyk V., Syniavskyi A. Comprehensive study of cascade multilevel inverters with three level cells. 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). Proceedings. 2020. P. 277–282. DOI: 10.1109/ESS50319.2020.9160258
172. Khomenko I., Piskurevy M., Plakhtii O., Stasiuk I., Karpenko N., Nerubatskyi V. Theoretical and practical studies of electrical systems operation modes at reactive power compensation. 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS). Proceedings. 2020. P. 92–97. DOI: 10.1109/IEPS51250.2020.9263225.
173. Плахтій О. А., Нерубацький В. П., Гордієнко Д. А., Хоружевський Г. А., Орлов М. Е. Методи боротьби з кондуктивною завадоємисією у зворотноходових перетворювачах. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2020. Том 25, № 1. С. 3–13. DOI: 10.18664/iksz.v25i1.198645.
174. Chaudhari H. N., Chandwani H. Optimization angle control technique for multilevel inverter. 2015 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT). 2015. DOI: 10.1109/icecct.2015.7226008.
175. Aghdam M., Fathi S., Gharehpetian G. B. Harmonic Optimization Techniques in Multi-Level Voltage-Source Inverter with Unequal DC Sources. Journal of Power Electronics. 2008. Vol. 8, Iss. 2. P. 171–180.
176. Ziar H., Afjei E., Siadatan A., Mansourpour S. Optimization of voltage levels in multilevel inverters. International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion, Joint Conference. 2011. DOI: 10.1109/ACEMP.2011.6490598.

177. Pareek S., Sujil A., Ratna S., Kumar R. Electric vehicle charging station challenges and opportunities: a future perspective. 2020 International Conference on Emerging Trends in Communication, Control and Computing (ICONC3). 2020. DOI: 10.1109/ICONC345789.2020.9117473.
178. Saldarini A., Barelli L., Pelosi D., Miraftabzadeh S., Longo M., Yaici W. Different demand for charging infrastructure along a stretch of highway: italian case study. 2022 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2022 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). 2022. DOI: 10.1109/EEEIC/ICPSEurope54979.2022.9854643.
179. Pliakostathis K. Research on EMI from modern electric vehicles and their recharging systems. 2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC EUROPE. 2020. DOI: 10.1109/EMCEUROPE48519.2020.9245742.
180. Oliinyk M., Dzmura J., Pal D. The impact of a electric vehicle charging on the distribution system. 2020 21st International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). 2020. DOI: 10.1109/EPE51172.2020.9269213.
181. Weiss M., Zerfass A., Helmersb E. Fully electric and plug-in hybrid cars. An analysis of learning rates, user costs, and costs for mitigating CO₂ and air pollutant emissions. Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 212. P. 1478–1489. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.12.019.
182. Bodo N., Levi E., Subotic I., Espina J., Empringham L., Johnson C. M. Efficiency Evaluation of Fully Integrated On-Board EV battery chargers with nine-phase machines. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2017. Vol. 32, Iss. 1. P. 257–266. DOI: 10.1109/tec.2016.2606657.
183. Taylor A., Lu J., Zhu L., Bai K., McAmmond M., Brown A. Comparison of SiC MOSFET-based and GaN HEMT-based high-efficiency high-power-density 7.2 kW EV battery chargers. IET Power Electronics. 2018. Vol. 11, Iss. 11. P. 1849–1857. DOI: 10.1049/iet-pel.2017.0467.
184. Huang Z., Lam C.-S., Mak P.-I., Martins R. P., Wong S.-C., Tse C. K. A single-stage inductive-power-transfer converter for constant-power and maximum-efficiency battery charging. IEEE Transactions on Power Electronics. 2020. Vol. 35, Iss. 9. P. 8973–8984. DOI: 10.1109/TPEL.2020.2969685.
185. Kim D.-H., Kim M.-J., Lee B.-K. An integrated battery charger with high power density and efficiency for electric vehicles. IEEE Transactions on Power Electronics. 2017. Vol. 32, Iss. 6. P. 4553–4565. DOI: 10.1109/TPEL.2016.2604404.
186. Lee W.-S., Kim J.-H., Lee J.-Y., Lee I.-O. Design of an isolated DC/DC topology with high efficiency of over 97% for EV fast chargers. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2019. Vol. 68, Iss. 12. 11725–11737. DOI: 10.1109/TVT.2019.2949080.
187. Nerubatskyi V., Plakhtii O., Ananieva O., Zinchenko O. Analysis of the Smart Grid concept for DC power supply systems. International scientific journal «Industry 4.0». 2019. Vol. 4, Iss. 4. P. 179–182.
188. Kumar K. V., Radhakrishnan P., Kalaivani R., Devadoss V., Anand L. D. V., Vinodha K. Implementation of smart electric vehicle charging station driven using experimental investigation. 2021 2nd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT). 2021. DOI: 10.1109/GCAT52182.2021.9587788.
189. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Philipjeva M., Mashura A. Research of mathematical models of lithium-ion storages. International scientific journal «Mathematical modeling». 2019. Vol. 3, Iss. 4. P. 127–130.
190. Aggarwal S., Bajaj M., Singh A. K. Analysis of electric vehicle charging station allocation in deregulated electric power system. 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON). 2020. DOI: 10.1109/PIICON49524.2020.9113022.
191. Srdic S., Lukic S. Toward extreme fast charging: challenges and opportunities in directly connecting to medium-voltage line. IEEE Electrification Magazine. 2019. Vol. 7, Iss. 1. P. 22–31. DOI: 10.1109/MELE.2018.2889547.
192. Nuamkoksung P., Buayai K., Kongjeen Y., Bhumkittipich K., Kerdchen K., Mithulanathan N. Impact of fast charging on lithium-ion battery in electric vehicle application. 2020 8th International Electrical Engineering Congress (iEECON). 2020. DOI: 10.1109/iEECON48109.2020.244120.
193. Akpolat A. N., Yang Y., Blaabjerg F., Dursun E., Kuzucuoglu A. E. Li-ion-based battery pack designing and sizing for electric vehicles under different road conditions. 2020 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST). 2020. DOI: 10.1109/SEST48500.2020.9203196.

194. Нерубацький В. П., Плахтій О. А., Машура А. В., Гордієнко Д. А. Аналіз технічних характеристик акумуляторних батарей і систем заряджання електромобілів. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2019. Том 24, № 6. С. 11–19. DOI: 10.18664/iksz.v24i6.185510.
195. Park M., Seo M., Song Y., Kim S. W. Capacity estimation of Li-Ion batteries using constant current charging voltage with multilayer perceptron. IEEE Access. 2020. Vol. 8. 180762–180772. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3028095.
196. Huang X., Li Y., Acharya A. B., Sui X., Meng J., Teodorescu R., Stroe D.-I. A review of pulsed current technique for lithium-ion batteries. Energies. 2020. Vol. 13, Iss. 10. 2458. DOI: 10.3390/en13102458.
197. Milushev G. Measurement of the efficiency of electric vehicle charging stations. 2020 XXX International Scientific Symposium 'Metrology and Metrology Assurance (MMA). 2020. DOI: 10.1109/MMA49863.2020.9254255.
198. Plakhtii O., Nerubatskyi V., Mykhalkiv S., Hordiienko D., Shelest D., Khomenko I. Research of energy characteristics of three-phase voltage source inverters with modified pulse width modulation. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Proceedings. 2021. P. 422–427. DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570071.

8. Звітна документація

Кількість сторінок в звіті: 440

Мова звіту: Українська

Кількість файлів у звіті: 1

9. Заключні відомості

Перелік осіб-виконавців

Гордієнко Денис Анатолійович

Ель Кассем Олена Володимирівна

Коростельов Євген Миколайович (к. т. н., доц.)

Ловська Альона Олександрівна (д. т. н., професор)

Машура Артем Вячеславович

Мямлін Сергій Сергійович (к. т. н.)

Неділько Ганна Романівна

Нерубацький Володимир Павлович (к. т. н., доц.)

Плахтій Олександр Андрійович (к. т. н.)

Поднебенна Світлана Костянтинівна (д. т. н., доц.)

Синявський Андрій Владиславович

Філіп'єва Марина Віталіївна

Харін Руслан Олександрович

Хоружевський Григорій Анатолійович

Цибульник Владислав Романович

Шелест Дмитро Андрійович

Шкурпела Олександр Олександрович (к. т. н.)

Керівник організації:

Панченко Сергій Володимирович (д. т. н., професор)

Керівники роботи:

Плахтій Олександр Андрійович (к. т. н.)

**Керівник відділу реєстрації наукової діяльності
УкрІНТЕІ**



Юрченко Т.А.