

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Виконав:

здобувач вищої освіти денної форми
навчання освітнього ступеня «Магістр»,
освітньо-професійної програми
«Енергетичний менеджмент» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

_____ **Едуард ФЕРЛЕВИЧ**

**Керівник: доктор с.-г. наук, канд. техн.
наук, доцент**

_____ **Олег ТКАЧ**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

« _____ » _____ 2023 р.

Керівник проектної групи
(гарант освітньої програми)

«Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

доктор сільськогосподарських наук,
кандидат технічних наук, доцент

_____ **Олег ТКАЧ**

Кам'янець-Подільський, 2023 р.

ЗМІСТ

<u>ВСТУП</u>	10
<u>1. СТАНЦІ ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ</u>	11
<u>1.1 Роль електромобілів в концепції Smart Grid</u>	11
<u>1.2 Режими та типи зарядки електромобілів</u>	20
<u>1.3 Акумулятори в сучасних електромобілях</u>	24
<u>1.4 Швидкість заряджання електромобілів</u>	29
<u>2. ДИНАМІЧНА ТАРИФІКАЦІЯ В СИСТЕМАХ SMART ЗАРЯДКИ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ</u>	33
<u>2.1 Структура керування Smart системами</u>	33
<u>2.2 Види динамічної тарифікації</u>	38
<u>2.3 Вплив нестабільності споживання на енергетичний баланс</u>	45
<u>2.4 Узгоджене заряджання</u>	51
<u>3. SMART СИТЕМИ</u>	56
<u>3.1 Модель заряду літій-іонного акумулятора</u>	56
<u>3.2 Лінійна апроксимація графіка потужності</u>	59
<u>3.3 Аналіз похибки апроксимації</u>	64
<u>3.4 Моделювання процесу заряджання електромобілів</u>	71
<u>4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ</u>	83
<u>4.1 Поняття стартапу</u>	83
<u>4.2 Опис ідеї проекту</u>	83
<u>4.3 Технологічний аудит проекту</u>	85
<u>4.4 Аналіз ринкових можливостей проекту</u>	86
<u>4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту</u>	88
<u>4.6 Розроблення маркетингової програми стартап проекту</u>	88

<u>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</u>	91
<u>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</u>	83
<u>ДОДАТКИ</u>	99

ВСТУП

Актуальність теми. Електромобілі грають ключову роль у модернізації транспортної системи, сприяючи зменшенню викидів за рахунок використання альтернативних джерел енергії та акумуляції. Зараз більшість виробників автомобілів поступово переходять на електричні технології, що призводить до різкого зростання попиту на цей вид транспорту.

Збільшення попиту на електромобілі призводить до значного збільшення споживання електроенергії, особливо під час пікових годин, що створює необхідність модернізації систем електропостачання. Однак більш ефективним рішенням цієї проблеми є впровадження "розумних" систем зарядки, які дозволяють заощадити кошти.

Власники електромобілів зможуть скористатися змінними тарифами, які пропонують знижені ціни на електроенергію у певні періоди доби, зокрема в години мінімального навантаження, щоб значно заощадити кошти та отримувати додаткові бонуси.

Крім того, за допомогою концепції Vehicle-to-grid (V2G), більшість електромобілів можуть підключатися до мережі як для заряджання, так і для надання енергії до мережі. Власники електромобілів з технологією V2G матимуть можливість продавати електроенергію в мережу у години, коли автомобіль не використовується, і заряджати його у години, коли електроенергія є дешевою.

Отже, впровадження "розумних" систем зарядки дозволить:

- ефективно використовувати можливості електромобілів з оптимізацією та плануванням процесу заряджання;
- дозволити власникам електромобілів економити кошти, використовуючи інформацію про стан авто та нічні тарифи на електроенергію;

- зменшити вплив на навантаження мережі за рахунок динамічної тарифікації.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є проведення дослідження існуючих систем Smart станцій зарядки, що спрямовані на оптимізацію навантаження на електричну мережу. Це досягається шляхом збору та аналізу інформації про споживану потужність в окремих точках локальних зарядних станцій з метою впровадження динамічної тарифікації.

Об'єктом дослідження є процес заряджання електромобіля в умовах контрольованого збору даних для оптимізації роботи мережі.

Предметом дослідження є Smart системи станцій зарядки на основі збору локальних даних та динамічної зміни цін.

Методи дослідження. Дослідження засновані на методах обчислювальної математики, теорії надійності, системному аналізі, прикладному статистичному аналізі, використанні сучасних комп'ютерних програм, а саме MatCad.

Наукова новизна результатів дослідження.

Під час дослідження були проаналізовані режими роботи Smart систем станцій зарядки в умовах динамічної зміни тарифів. Це дозволило ідентифікувати можливості для ефективної оптимізації процесу заряджання, враховуючи параметри навантаження на мережу.

Був розроблений алгоритм оптимізації заряджання електромобілів, який включає моделювання графіків зарядки. Ці графіки відображають змінний струм та зарядну потужність, що є актуальними для розробки Smart станцій зарядки та регулювання тарифів в часі.

Практичне значення отриманих результатів.

Отримані результати моделювання можуть бути використані наступним чином:

- для вдосконалення існуючих Smart систем зарядки електромобілів та оптимізації процесу заряджання;

- для впровадження тарифних зон, що залежать від загального графіка навантаження та потужності локальних електростанцій;
- під час дослідження графіків заряду різних типів електромобілів;
- при впровадженні концепції V2G для інтеграції електроавтомобілів у роботу мережі.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської роботи були отримані з використанням комп'ютерних програм та оприлюдненні на II Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції.

Ключові слова: SMART СИСТЕМА, ЕЛЕКТРОМБІЛЬ, ДИНАМІЧНА ТАРИФІКАЦІЯ, АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ЗАРЯДЖАННЯ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу графіка заряду літій-іонного акумулятора було знайдено потужність заряду та побудовано графік залежності потужності від часу. Оскільки графік не є лінійним, була проведена його апроксимація.

2. Після апроксимації було отримано одну постійну та дві лінійно-спадаючі функції з власними рівняннями. Проведений розрахунок для кожної функції та проведений аналіз похибки апроксимації. Виявлено, що точність апроксимації не залежить від часового інтервалу, а отримані величини похибки визначаються параметрами «а» і «b».

3. Були змодельовані процеси заряджання електромобілів з однаковою та різною потужністю. Розглянуто 3 варіанти заряджання «а» і «b». Для кожного з варіантів знайдені діючий та середній струми. Було досліджено графіки діючих значень для різних варіантів заряджання, які необхідно використати при розробці Smart станції зарядки електромобілів.

4. Аналіз проекту показав, що попит на електромобілі має стрімку тенденцію до зростання, що свідчить про високі перспективи його реалізації.

5. Незважаючи на високий потенціал проекту, перешкодою є необхідність залучення інвесторів через значні початкові витрати та ринкову конкуренцію серед компаній, які спеціалізуються на зарядних станціях. Однак при правильній стратегії виведення продукту на ринок проект може принести значний дохід та отримати підтримку клієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The history of the electric car. *Energy.gov*. URL: <https://www.energy.gov/articles/history-electric-car> (дата звернення: 18.09.2023).
2. Спецпроект: Що таке Smart Grid?. *Новини України та Світу. Головні і останні новини - НВ*. URL: <https://nv.ua/ukr/ukraine/so-skorostyu-sveta/shcho-take-smart-grid-50055452.html> (дата звернення: 18.09.2023).
3. The role of electric vehicles in a smart grid - regen. *Regen*. URL: <https://www.regen.co.uk/the-role-of-electric-vehicles-in-a-smart-grid/> (дата звернення: 18.09.2023).
4. *Regen renewable energy not-for-profit*. URL: https://www.regen.co.uk/wp-content/uploads/BNEF_EVO_2017_ExecutiveSummary.pdf (дата звернення: 18.09.2023).
5. В законодавстві України з'явиться визначення поняття електричного транспортного засобу | Юридичний Факт. *Юридичний Факт - Правові новини України та Світу*. URL: <https://www.yurfact.com.ua/fakty-ukrainy/v-zakonodavstvi-ukrainy-z-iavytsia-poniattia-elektrychnoho-transportnoho-zasobu> (дата звернення: 18.09.2023).
6. What are the different types of electric vehicles?. *NRMA Roadside Assistance, Car Batteries, Loans & Benefits*. URL: <https://www.mynrma.com.au/cars-and-driving/electric-vehicles/buying/types-of-evs> (дата звернення: 18.09.2023).
7. What are the different methods of charging an electric vehicle? | Kia Go Electric. *Startseite / Kia Deutschland GmbH*. URL: <https://www.kia.com/eu/about-kia/experience-kia/technology/electrification/charging-methods-for-electric-cars/> (дата звернення: 18.09.2023).

8. Wasef B. Every EV Charging Standard and Connector Type Explained. *Lifewire*. URL: <https://www.lifewire.com/every-ev-charging-standard-and-connector-type-explained-5201160> (дата звернення: 18.09.2023).
9. How long do electric car batteries last?. *Midtronics*. URL: <https://www.midtronics.com/blog/do-electric-car-ev-batteries-degrade-over-time/> (дата звернення: 18.09.2023).
10. How electric car batteries work. *EV Charging Software Solutions / Go To-U*. URL: <https://go-tou.com/en/news/how-electric-car-batteries-work> (дата звернення: 18.09.2023).
11. Voelcker J. EVs explained: battery capacity, gross versus net. *Car and Driver*. URL: <https://www.caranddriver.com/features/a36051980/evs-explained-battery-capacity-gross-versus-net/> (дата звернення: 18.09.2023).
12. How long does it take to charge an electric car? | pod point. *Pod Point*. URL: <https://pod-point.com/guides/driver/how-long-to-charge-an-electric-car> (дата звернення: 18.09.2023).
13. Ltd V. Smart charging of electric vehicles: the ultimate guide . *The Electric Vehicle Charging Platform / Virta*. URL: <https://www.virta.global/smart-charging> (дата звернення: 18.09.2023).
14. P. Kulshrestha, Lei Wang, Mo-Yuen Chow, S. Lukic, “Intelligent energy management system simulator for PHEVs at municipal parking deck in a smart grid environment,”Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES ‘09. IEEE
15. A. Sheikhi, Sh. Bahrami, A.M. Ranjbar, H. Oraee, “Strategic charging method for plugged in hybrid electric vehicles in smart grids; a game theoretic approach,”International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 53, December 2013, Pages 499-506
16. W. Su, M. Chow, “Computational intelligence-based energy management for a large-scale PHEV/PEV enabled municipal parking deck,” Applied Energy, Volume 96, August 2012, Pages 171-182
17. C. Y. Chung, A. Shepelev, C. Qiu, C. C. Chu, Rajit Gadh, “Design of

- RFID Mesh Network for Electric Vehicle Smart Charging Infrastructure”, 2013 IEEE International Conference on RFID Technologies and Applications, In press
18. C. Y. Chung, J. Chynoweth, C. Qiu, C. C. Chu, Rajit Gadh, “Safety Design for Smart Electric Vehicle Charging with Current and Multiplexing Control”, 2013 IEEE International Conference on Smart Grid Communications, Inpress
19. United States Department of Transportation - Federal Highway Administration. (2013, August) 2010 Status of the Nation’s Highways, Bridges, and Transit: Conditions & Performance. [Online]. <http://www.fhwa.dot.gov/policy/2010cpr/execsum.htm>
20. Advanced Energy Economy. Rate Design for a DER Future: Designing Rates to Better Integrate and Value Distributed Energy Resources; Technical Report; Advanced Energy Economy: Washington, DC, USA, 2018. Available online: <https://info.aee.net/hubfs/PDF/Rate-Design.pdf> (accessed on 18 September 2019).
21. Alliance to Save Energy. Utility Rate Design Initiative: Analysis Narrative; Technical Report; Alliance to Save Energy: Washington, DC, USA, 2016. Available online: https://www.ase.org/sites/ase.org/files/rdi_analysis_narrative.pdf (accessed on 18 September 2019).
22. Hove, A.; Sandalow, D. Electric Vehicle Charging in China and the United States. Technical Report; Center on Global Energy Policy: New York, NY, USA, February 2019.
23. Smart Electric Power Alliance. Utilities and Electric Vehicles: Evolving to Unlock Grid Value; Technical Report; Smart Electric Power Alliance: Washington, DC, USA, March 2018.
24. Zethmayr, J.; Kolata, D. Charge for Less: An Analysis of Hourly Electricity Pricing for Electric Vehicles. *World Electr. Veh. J.* 2019, 10, 6, doi:10.3390/wevj10010006.
25. Spector, J. EMotorWerks Is Using Its Network of 10,000 EV Chargers to Bid Into Wholesale Markets. 2018. Available online:

<https://www.greentechmedia.com/articles/read/emotorwerks-wholesale-markets-evcharger-network#gs.qg9dl4> (accessed on 18 September 2019).

26. Berman, B. The Ultimate Guide to Electric Car Charging Networks. 2018. Available online: <https://www.plugincars.com/ultimate-guide-electric-car-charging-networks-126530.html> (accessed on 18 September 2019).
27. Berman, B. The Real Price of EV Public Charging. 2019. Available online: <https://www.plugincars.com/guide-to-public-charging-costs.html> (accessed on 18 September 2019).
28. EV Archive. Who Pays for Electric Car Charging Stations? 2019. Available online: <https://evarchive.com/who-pays-for-electric-car-charging-stations/> (accessed on 18 September 2019).
29. Muratori, M.; Kontou, E.; Eichman, J. Electricity Rates for Electric Vehicle Direct Current Fast Charging in the United States. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 113, 1–10, doi:10.1016/j.rser.2019.06.042
30. International Energy Agency. Global EV Outlook 2018; International Energy Agency: Paris, France, 2018, doi:10.1787/9789264302365-en.
31. International Energy Agency. Global EV Outlook 2019; International Energy Agency: Paris, France, 2019, doi:10.1787/35fb60bd-en.
32. Qian, K.; Zhou, C.; Allan, M.; Yuan, Y. Modeling of Load Demand Due to EV Battery Charging in Distribution Systems. *IEEE Trans. Power Syst.* 2011, 26, 802–810, doi:10.1109/TPWRS.2010.2057456
33. van der Burgt, J.; Vera, S.P.; Wille-Hausmann, B.; Andersen, A.N.; Tambjerg, L.H. Grid Impact of Charging Electric Vehicles; Study Cases in Denmark, Germany and The Netherlands. In Proceedings of the 2015 IEEE Eindhoven PowerTech, Eindhoven, The Netherlands, 29 June–2 July 2015; pp. 1–6, doi:10.1109/PTC.2015.7232234.
34. Yilmaz, M.; Krein, P.T. Review of Benefits and Challenges of Vehicle-to-grid Technology. In Proceedings of the 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Raleigh, NC, USA, 15–20 September 2012; pp. 3082–3089, doi:10.1109/ECCE.2012.6342356.

35. Hilson, D. Managing the Impacts of Renewably Powered Electric Vehicles on Distribution Networks; Technical Report; Evenergi: Sydney, Australia, 2019.
36. International Renewable Energy Agency. Innovation Outlook: Smart Charging for Electric Vehicles; International Energy Agency: Paris, France, 2019.
37. Guo, Y.; Liu, X.; Yan, Y.; Zhang, N.; Su, W. Economic Analysis of Plug-in Electric Vehicle Parking Deck with Dynamic Pricing. In Proceedings of the 2014 IEEE PES General Meeting | Conference Exposition, National Harbor, MD, USA, 27–31 July 2014, pp. 1–5, doi:10.1109/PESGM.2014.6938798.
38. Guo, Y.; Hu, J.; Su, W. Stochastic Optimization for Economic Operation of Plug-in Electric Vehicle Charging Stations at a Municipal Parking Deck Integrated with On-site Renewable Energy Generation. In Proceedings of the 2014 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Dearborn, MI, USA, 15–18 June 2014; pp. 1–6, doi:10.1109/ITEC.2014.6861799.
39. Guo, Y.; Xiong, J.; Xu, S.; Su, W. Two-Stage Economic Operation of Microgrid-Like Electric Vehicle Parking Deck. IEEE Trans. Smart Grid 2016, 7, 1703–1712, doi:10.1109/TSG.2015.2424912.
40. Soltani, N.Y.; Kim, S.; Giannakis, G.B. Real-Time Load Elasticity Tracking and Pricing for Electric Vehicle Charging. IEEE Trans. Smart Grid 2015, 6, 1303–1313, doi:10.1109/TSG.2014.2363837.
41. Ban, D.; Michailidis, G.; Devetsikiotis, M. Demand Response Control for PHEV Charging Stations by Dynamic Price Adjustments. In Proceedings of the 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), Washington, DC, USA, 16–20 January 2012; pp. 1–8, doi:10.1109/ISGT.2012.6175601.
42. Virta. What's the effect of electric cars on the power grid?. The Electric Vehicle Charging Platform | Virta. URL: <https://www.virta.global/blog/effect-of-electric-cars-on-power-grid> (date of access: 18.09.2023).
43. The potential impact of electric vehicles on global energy systems / H. Engel et al. McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our->

[insights/the-potential-impact-of-electric-vehicles-on-global-energy-systems](#) (date of access: 18.09.2023).

44. R.Liu, L.Dow, and E.Liu, “A Survey of PEV Impacts on Electric Utilities”, in Proc. ISGT’11, pp.1-8, Oct.2011.
45. R.A.Verzijlbergh, M.O.W.Gron, Z.Lukszo, J.G.Slootweg, M.D.Ilic, “Network Impacts and Cost Savings of Controlled EV Charging”, IEEE Transactions on Smart Grid, vol.3, no.3, pp.1203-12, Sep.2012.
46. S.Deilami,A.S.Masoum,P.S.Moses,and M.S.Masoum, “Realtime coordination of plug-in electric vehicle charging in smart grids to minimize power losses and improve voltage profile”, IEEE Trans. on Smart Grid, vol.2, no.3, pp.456-67, Sep.2011.
47. Salman Habib et al. “Impact analysis of vehicle-to-grid technology and charging strategies of electric vehicles on distribution networks – A review”, Journal of Power Sources 277 (2015) 205-214