

ВПЛИВ ШВИДКІСНИХ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У статті розглянуто вплив швидкісних зарядних станцій електромобілів на якість електроенергії в локальних розподільчих мережах. Показано, що зарядні пристрої потужністю 10–22 кВт є нелінійними навантаженнями, які генерують вищі гармоніки та спричиняють додаткові втрати і прискорене старіння розподільчих трансформаторів. Проаналізовано теплові режими роботи трансформаторів при некоординованому заряджанні електромобілів. Запропоновано основні заходи з мінімізації негативного впливу заряджання на системи розподілу електроенергії.

Ключові слова: електромобілі, швидкісні зарядні станції, якість електроенергії, локальні електричні мережі, вищі гармоніки, старіння трансформаторів, інтелектуальне заряджання.

Abstract

The paper considers the impact of fast charging stations for electric vehicles on power quality in local distribution networks. It is shown that charging units with a rated power of 10–22 kW represent nonlinear loads that generate higher-order harmonics and cause additional losses and accelerated aging of distribution transformers. The thermal operating conditions of transformers under uncoordinated electric vehicle charging are analyzed. The main measures for minimizing the negative impact of charging on power distribution systems are proposed.

Keywords: electric vehicles, fast charging stations, power quality, local distribution networks, higher harmonics, transformer aging, smart charging.

Вступ

Занепокоєння щодо збереження навколишнього середовища, зменшення викидів парникових газів та виснаження запасів природного газу й нафти є одними з основних стимулів для прискорення та підтримки зростання використання електромобілів (ЕМ). [1]

Завдяки розвитку технологій у сфері акумуляторів, силовій електроніки, мікроелектроніки та систем керування частка електромобілів у транспортному секторі стабільно зростає. За даними видання «Global Electric Vehicle Outlook» Міжнародного енергетичного агентства, у 2023 році продажі електромобілів досягли нового рекорду в 14 млн і інтерес продовжує зростати, незважаючи на перебої у світових ланцюгах постачання. [2]

Водночас існують серйозні побоювання щодо безпечної та надійної роботи систем розподілу електроенергії (СРЕ) у зв'язку з зростаючим проникненням ЕМ у електромережу. Заряджання акумуляторів споживає значно більше електроенергії порівняно зі звичайними побутовими приладами, особливо через широке застосування у багатьох сучасних житлових будинках потужних швидкісних зарядних пристроїв потужністю від 10 до 22 кВт, на відміну від традиційних зарядних пристроїв потужністю 3–6 кВт. При випадковому або некоординованому заряджанні високий рівень проникнення ЕМ може перевантажити лінії електропередач та трансформатори, що негативно вплине на ефективність та надійність мережі. Більше того, одночасна робота кількох потужних швидкісних зарядних пристроїв може призвести до відключення електропостачання у житлових районах, які обслуговуються трансформаторами, що не розраховані на такі навантаження. У цьому контексті розробка стратегій для збереження довговічності розподільчих трансформаторів набуває особливої важливості. [1, 3]

Результати дослідження

Згідно з дослідженнями, сучасні швидкісні зарядні пристрої електромобілів (ЕМ) потужністю від 10 до 22 кВт є значними нелінійними навантаженнями для локальних мереж. Їх функціонування супроводжується генерацією вищих гармонік, що призводить до спотворення напруги та струму. Це

зумовлює додаткові втрати на гістерезис та втрати від струмів Фуко в сталі розподільчих трансформаторів, а також викликає циркуляцію струмів нульової послідовності в обмотках.[3]

Аналіз режимів роботи показує, що неконтрольоване заряджання у години пікового споживання призводить до перегріву обмоток і прискореного старіння ізоляції силового обладнання. Встановлено, що при одночасному підключенні кількох ЕМ сумарне навантаження може критично перевищувати номінальну потужність трансформатора, скорочуючи його термін служби, який зазвичай розрахований на 20–30 років.[3, 4]

Фактор прискорення старіння. Відносне старіння трансформатора визначається за допомогою індексу прискорення старіння F_{AA} , який розраховується на основі температури Θ_{HS} :

$$F_{AA} = e^{\left(\frac{15000}{\Theta_{HS}^{ref} + 273} - \frac{15000}{\Theta_{HS} + 273}\right)} \quad [4]$$

Де Θ_{HS}^{ref} – референтна температура в найгарячішій точці обмотки, що дорівнює 110 °С для трансформаторів із середнім підвищенням температури обмотки на 65 °С і 95 °С для трансформаторів із підвищенням на 55 °С.

Окрім теплового перегріву, суттєвий внесок у прискорення деградації ізоляції вносять вищі гармоніки (3-го, 5-го та 7-го порядків), що генеруються імпульсними перетворювачами швидкісних зарядних станцій. Згідно з дослідженням, наявність цих гармонік призводить до додаткових втрат у залізі магнітопроводу трансформатора через вихрові струми та гістерезис.[3]

Варто також зауважити, що в локальних мережах із встановленими сонячними електростанціями (PV-інсталяціями) виникає ефект «реверсних потоків» енергії. При одночасному заряджанні ЕМ у денний час сонячна генерація може частково компенсувати навантаження, проте неконтрольований збіг піків генерації та споживання створює складні перехідні процеси, які потребують використання алгоритмів нечіткої логіки для стабілізації напруги.

Таким чином, основними стратегіями для мінімізації негативних впливів заряджання ЕМ на СРЕ є:

- посилення СРЕ за допомогою фотоелектричної генерації та технологій накопичення енергії;
- модернізація елементів СРЕ (наприклад, трансформаторів і кабельних ліній);
- компенсація реактивної потужності;
- перенесення заряджання ЕМ на непікові години;
- впровадження інтелектуального заряджання, режимів V2G та V2H.[3]

Висновки

На основі проведеного аналізу встановлено, що інтеграція потужних зарядних станцій вимагає адаптивного керування ресурсами мережі. Впровадження технологій компенсації реактивної потужності та оптимізації графіків заряджання дозволяють забезпечити стійкість розподільчих систем і подовжити термін експлуатації трансформаторного обладнання без значних витрат на модернізацію інфраструктури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Usman M. et al. A coordinated charging scheduling of electric vehicles considering optimal charging time for network power loss minimization. *Energies*. 2021. Vol. 14, no. 17. 5336. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14175336>.
2. Global Electric Vehicle Outlook 2023. IEA <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>
3. Ноздренков В. С. Методологія аналізу впливу сценаріїв заряджання електромобілів на старіння розподільних трансформаторів / В. С. Ноздренков, І. М. Дяговченко, М. В. Петровський та ін. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – 2024. – № 2 (9). – С. 36–46.
4. Impacts of plug-in hybrid electric vehicles on a residential transformer using stochastic and empirical analysis / G. Razeghi et al. *Journal of Power Sources*. 2014. Vol. 252. P. 277–285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.089>.

Кушніренко Дмитро Іванович — здобувач вищої освіти факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії група ІКІ-25МС Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, Україна e-mail: dimakusnirenko065@gmail.com

Науковий керівник: **Мартинюк Володимир Валерійович** кандидат технічних наук, доцент кафедри загальної фізики Вінницький національний технічний університет м. Вінниця, Україна

Kushnirenko Dmytro Ivanovich— Student of the Faculty of Information Technologies and Computer Engineering Group IKI-25MS Vinnytsia National Technical University Vinnytsia, Ukraine, e-mail: dimakusnirenko065@gmail.com

Scientific supervisor: **Volodymyr Valeriiovych Martyniuk** Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of General Physics Vinnytsia National Technical University Vinnytsia, Ukraine