

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Босак Андрія Васильовича на тему **«Оптимізація керування зарядними станціями електромобілів в реальному часі на основі нечіткої логіки в умовах обмеженого електропостачання»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Актуальність теми дисертації.

Станом на сьогодні в Україні відбувається розширення мережі електрозарядних станцій та збільшення навантаження на енергосистему. Виникає актуальна необхідність впровадження засобів керування процесом заряджання електромобілів при обмежених потужностях енергетичної інфраструктури та обмеженому електропостачанні електрозарядних станцій. Важливість розробки методу управління електрозарядними станціями в реальному часі підкреслюється основними принципами підключення зарядних станцій до мережі та потребою в правильній черговості заряджання електромобілів. Саме тому дисертаційне дослідження Босака Андрія Васильовича є *актуальним*.

У дисертаційному дослідженні розроблений алгоритм заряджання електромобілів при обмеженій потужності зарядної станції, що базується на коефіцієнті заряджання. Запропонована система забезпечує оптимальний контроль над процесом зарядки шляхом призначення вагового індексу заряджання для кожного підключеного транспортного засобу. Оптимізаційний крок допомагає знизити витрати на електроенергію та задовольнити попит на зарядку електромобіля без порушення обмежень мережі. Результати комп'ютерного моделювання підтверджують ефективність методу, який дозволяє заряджати електромобілі відповідно до запиту рівня заряду акумулятора майже для всіх підключених транспортних засобів, сприяючи зменшенню витрат під час пікових навантажень електричної мережі та перевантажень.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше розроблено нову модель оптимізації керування зарядними станціями в реальному часі, що відрізняється від наявних моделей тим, що дозволяє доставити більше енергії до батарей електромобілів при тих

самих обмеженнях споживання на місці підключення електрозарядних станцій.

2. Розроблено методику експертної системи пріоритетного заряджання на основі нечіткої логіки та вперше реалізовано цю систему керування на мікроконтролері плати Arduino Mega 2560.
3. Розроблено імітаційну модель та проведено моделювання процесу керованої зарядки з використанням розробленого методу для роботи в реальному часі в умовах обмеженого електропостачання в середовищі Matlab. Це дозволило встановити, що розроблений метод забезпечує оптимальне розподілення зарядної потужності між електромобілями з урахуванням обмежень мережі та індивідуальних потреб.

Практичне значення результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Розроблено систему керування електрозарядними станціями в реальному часі, засновану на нечіткій логіці та оптимізації цільової функції, при умовах обмеженого електропостачання.
2. Підтверджено ефективність роботи запропонованої системи в реальному часі порівняно з іншими алгоритмами, що базуються на плануванні та централізованому управлінні. Також встановлено, що запропонований метод відповідає накладеним обмеженням і забезпечує належне заряджання електромобілів в контексті розробленої системи.
3. Реалізація системи виконана на мікроконтролері Arduino Mega 2560, а також запропоновано схему його підключення до наявної електрозарядної станції.

Результати роботи впроваджено в освітній процес кафедри Автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів та використовуються в освітніх компонентах освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів та магістрів «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» а саме: дисципліна «Інжиніринг електротехнічних та мехатронних комплексів», «Автоматизований електропривод машин і установок».

Достовірність наукових результатів підтверджується практичною реалізацією запропонованого методу, а також чотирма додатками, що містять в собі вихідні дані та неосновні результати дослідження.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Босака Андрія Васильовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям Енергетика та енергоефективність.

Після аналізу звіту про подібність, який включав перевірку дисертаційної роботи на випадки текстового співпадіння, можна зробити висновок, що дослідження, представлене у дисертаційній роботі, є результатом самостійних зусиль автора і не містить ознак фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату або несанкціонованого використання ідей, результатів або текстів інших авторів. Всі використані концепції, результати і тексти інших авторів належним чином відзначені посиланнями на їх джерела.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Викладення матеріалу можливо охарактеризувати логічністю подання на змістовному та фактологічному рівнях. Дисертація написана науковим стилем мовлення, в тексті застосовуються загальноприйнятні терміни і скорочення, усі скорочення наведені в переліку умовних позначень.

Дисертація складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, основної частини, що містить 4 розділи та висновки, списку літератури та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації – 146 сторінок.

В анотації наведено структуру дисертації, основні висновки, мету та завдання дослідження та науковий доробок здобувача.

У першому розділі досліджено ринок електромобілів в Україні. Основні принципи підключення зарядних станцій до мережі та необхідність правильної черговості заряджання електромобілів підкреслюють важливість розробки методу управління електророзрядними станціями в реальному часі. Сприятливим напрямком для розробки такого методу вважається використання принципів та процедур нечіткої логіки.

У другому розділі визначено вхідні параметри для систем керування електророзрядними станціями, включаючи криві змін потужності споживання під час заряджання, напруги та струму, які залежать від рівня зарядження акумулятора і часу повного заряду. Експериментальні дані процесу зарядки використовуються для створення вихідних даних, що стають основою для функцій належності методу керування і формування профілю заряджання електромобіля в середовищі Matlab/Simulink.

У третьому розділі досліджено, що позиції та методи нечіткої логіки є найбільш відповідними математичними інструментами. Для визначення пріоритетності використовується ваговий індекс заряджання, який базується на функціях належності. Оптимізаційна частина методу ґрунтується на гравітаційному методі. Запропонований алгоритм працює в реальному часі та враховує обмеження як мережі, так і інтереси власників транспортних засобів при обмеженій потужності електроспоживання.

У цьому ж четвертому розділі описано процедуру впровадження нечіткого контролера в процес заряджання. Це дає можливість оцінити оптимальні параметри, невизначеності та нелінійності системи без математичної моделі. Нарешті, показано моделювання та реалізацію на мікроконтролері на платі Arduino Mega 2560 для перевірки дієвості запропонованої методології, а також теоретичних та експериментальних результатів.

Детальні висновки наведені після кожного розділу, а загальні висновки – після четвертого розділу.

У додатках наведені набір фазі-правил побудованої нечіткої системи, лістинг програми моделювання контролю заряджання, Код нечіткої логіки на C++, що був завантажений на плату Arduino а також акт впровадження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 6 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus, та віднесеного до першого квартилю Q1.

Апробація дисертації підтверджується 3 науковими фаховими конференціями.

Публікації здобувача виконані на високому науковому рівні, фактів порушення принципів академічної доброчесності не виявлено. Основні результати дослідження, що відображають особистий внесок здобувача, повністю відображені в наступних 4 розділах дисертації, а неосновні результати – достатньо прозоро описані у 4 додатках.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Моделювання та порівняння запропонованого методу заряджання порівнюється з іншими методами контролю заряджання в реальному часі: без обмежень зі сторони мережі та звичайним керованим методом заряджання з обмеженнями. Проте не порівняно з вже розглянутим у

дисертації методом керування з вирішенням оптимізаційної задачі (прогнозуванням).

2. Досліджено роботу оптимізованого методу заряджання на платі Arduino підключеної до ПК з моделлю зарядної станції, проте не перевірено на реальній зарядній станції в електромережі.
3. При розрахунку енергетичної ефективності доцільно було б розглядати та розрізняти величини миттєвого ККД як функція часу та інтегрального ККД, що характеризує весь процес заряджання.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.


Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Босака Андрія Васильовича на тему «Оптимізація керування зарядними станціями електромобілів в реальному часі на основі нечіткої логіки в умовах обмеженого електропостачання» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі 14 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Босак Андрій Васильович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

Офіційний опонент:

гол.н.с. відділу електроживлення технологічних систем
Інституту електродинаміки НАН України,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

 Олександр ПОДОЛЬЦЕВ

