

- постійний обмін даними між транспортними засобами та мережами створює ризики щодо конфіденційності даних та потенційних кібератак;

Таким чином, в перспективі технології “від транспортного засобу до всього” V2X для сучасних електромобілів можуть надавати різноманітний набір мережових та автономних послуг, включаючи роботу V2G, V2H, V2L та V2V, як

Дослідження технологій «від транспортного засобу до всього» V2X для сучасних електромобілів є надзвичайно актуальним, оскільки вони є ключовою ланкою у створенні автономних транспортних засобів, інтелектуальних транспортних систем, «розумних міст» та стабілізації енергомереж.

Література

1. Kumar G. Critical Review of Vehicle-to-Everything (V2X) Topologies: Communication, Power Flow Characteristics, Challenges, and Opportunities. CPSS Transactions on Power Electronics and Applications. 2024. Vol. 9, no. 1. URL: <https://doi.org/10.24295/cpsstpea.2023.00042> (date of access: 30.03.2026).

2. A comprehensive overview of vehicle to everything (V2X) technology for sustainable EV adoption / M. A. Rehman et al. Journal of Energy Storage. 2023. Vol. 74. P. 109304. URL: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109304> (date of access: 30.03.2026).

3. Md Ariful Islam, Kazi N. Hasan, Geoff Lamb, Manoj Datta, Energy storage functions and technological developments of vehicle-to-everything enabled electric vehicle chargers: Converter designs, control strategies, services, and market readiness, Journal of Energy Storage, Volume 159, 2026, 121778, <https://doi.org/10.1016/j.est.2026.121778> (date of access: 30.03.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnovoleg@gmail.com

Тютюнников Олександр Юрійович, студент гр. АЕ-42-22, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЯТОРНО-СУПЕРКОНДЕНСАТОРНИХ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Аналіз сучасних технологій зберігання енергії продемонстрував, що для електромобілів оптимальним вибором є акумуляторно-суперконденсаторні гібридні системи зберігання енергії. Гібридні системи, відомі як Hybrid Energy Storage Systems (HESS), забезпечують підвищення екологічності, продуктивності, ефективності та довговічності електричних транспортних засобів.

У таблиці 1 подано порівняльні характеристики літій-іонних акумуляторів і суперконденсаторів, які допомагають проаналізувати їх основні переваги та недоліки.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики літій-іонних акумуляторів та суперконденсаторів

Технологія зберігання енергії	Питома енергія, Вт·год/кг	Питома потужність, Вт/кг	Кількість циклів заряд/розряд	ККД, %
Суперконденсатор	від 2,5 до 15	до 10 000	від 100 000 до 1 000 000	від 50 до 90
Літій-іонний акумулятор	від 200 до 700	від 150 до 1 000	від 500 до 1000	від 80 до 95

Отже, отримані дані свідчать про те, що суперконденсатори характеризуються нижчою питомою енергією, але забезпечують значно більшу питому потужність і надзвичайно тривалий термін служби. Натомість літій-іонні акумулятори вирізняються високою питомою енергією, хоча їх питома потужність і життєвий цикл є помірними. Поєднання цих двох технологій у гібридній системі дозволяє значно підвищити загальну ефективність електромобілів, розкриваючи їх повний потенціал.

Структурна схема електроприводу для електричного транспортного засобу може бути зображена в узагальненому вигляді, як представлено на рисунку 1. Літій-іонна акумуляторна батарея і блок суперконденсаторів підключаються до шини постійного струму за допомогою двох двонаправлених DC/DC перетворювачів постійного струму. Це забезпечує живлення для DC/AC інвертора, який інтегрований у систему керування електродвигуном. Завдяки інвертору постійний струм перетворюється на змінний, що дозволяє ефективно керувати електродвигуном. У результаті електродвигун через трансмісію забезпечує рух електромобіля.

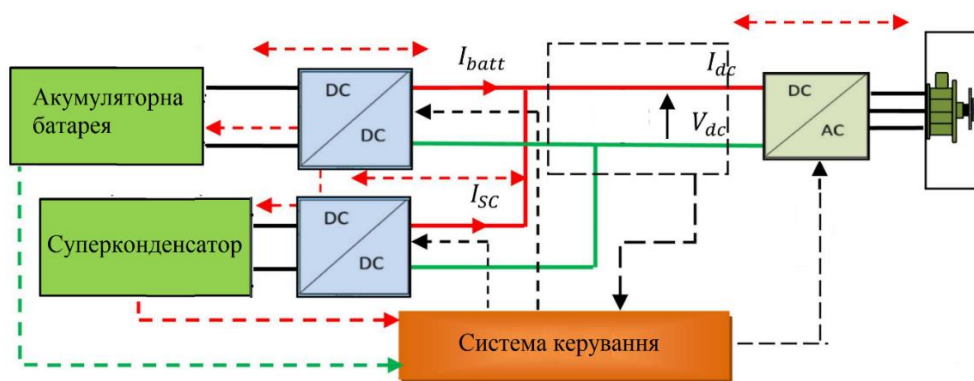


Рисунок 1 – Схема структурна електропривода електричного транспортного засобу [1]

На рисунку 2 наведено електричну схему електропривода, живлення якого забезпечується гібридною системою зберігання енергії.

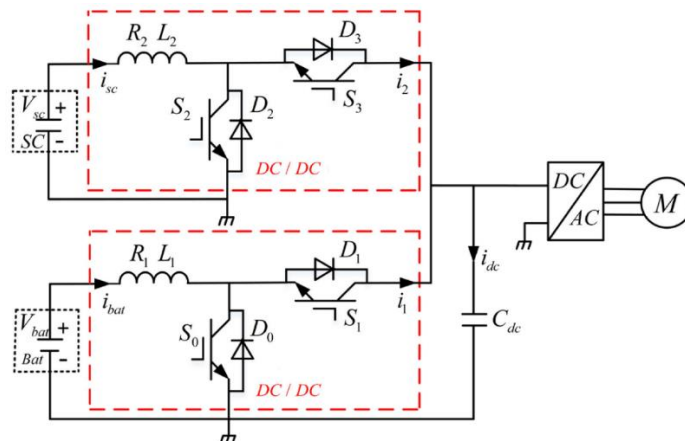


Рисунок 2 – Схема електрична електропривода електричного транспортного засобу [2]

У цій схемі літій-іонна акумуляторна батарея слугує основним джерелом енергії для покриття тривалих періодів роботи, тоді як суперконденсатор виконує функцію забезпечення короткочасних пікових навантажень і акумулювання енергії рекуперативного гальмування. Така конфігурація спрямована на зменшення робочого навантаження на батарею, що сприяє продовженню її експлуатаційного ресурсу та підвищенню дальності ходу.

Живлення тягового електродвигуна здійснюється за допомогою трифазного інвертора, який виконує функцію перетворення постійної напруги, отриманої від перетворювачів постійного струму типу DC/DC, у трифазну змінну напругу. Система керування енергоспоживанням забезпечує оптимальний розподіл і регулювання енергії між двома джерелами живлення залежно від рівня їхнього заряду, динаміки руху транспортного засобу та дорожніх умов. До таких умов належать різні режими експлуатації, зокрема початок руху, прискорення, гальмування, а також підйом та спуск.

У дослідженні [3] наведено аналіз переваг застосування суперконденсаторів у складі гібридної системи зберігання енергії для задоволення динамічних навантажень електромобіля. На рисунку 3 продемонстровано результати моделювання в середовищі MATLAB/Simulink, які ілюструють розподіл навантаження між акумуляторною батареєю і суперконденсатором через зміну струму в часі для різних сценаріїв динамічного навантаження.

Головною особливістю гібридної системи зберігання енергії в електромобілі, як показано у результатах моделювання, є її здатність ефективно регулювати напругу в колі постійного струму транспортного засобу. Завдяки цьому досягається мінімальне навантаження на акумуляторну батарею, що значно збільшує термін її служби, покращує динамічні характеристики автомобіля, а також сприяє збільшенню запасу ходу та загальної ефективності електромобіля.

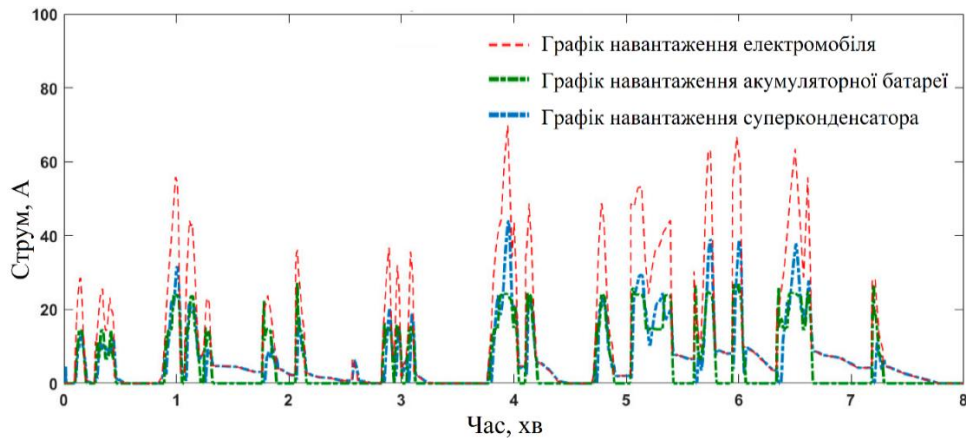


Рисунок 3 – Моделювання розподілу навантаження між суперконденсатором та акумуляторною батареєю електромобіля[3]

Література

4. Fuzzy Logic-based Energy Management System (EMS) of Hybrid power sources: Battery/Super capacitor for Electric Scooter Supply / S. Boumediene et al. Journal of Engineering Research. 2023. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.07.008> (date of access: 30.03.2026).
5. Energy management and nonlinear control strategy of hybrid energy storage system for electric vehicle / F. Chen et al. Energy Reports. 2022. Vol. 8. P. 11161–11173. URL: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.08.250> (date of access: 30.03.2026).
6. Design and Performance Analysis of Hybrid Battery and Ultracapacitor Energy Storage System for Electrical Vehicle Active Power Management / A. Kachhwaha et al. Sustainability. 2022. Vol. 14, no. 2. P. 776. URL: <https://doi.org/10.3390/su14020776> (date of access: 30.03.2026).

Науковий консультант: Смирнов Олег Петрович, д.т.н., професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, smirnov1oleg@gmail.com