

Особливості побудови пристроїв для заряджання електромобілів

Яма О.С., ORCID [0000-0002-9234-1990](https://orcid.org/0000-0002-9234-1990)

Олішевський Ю.С., ORCID [0000-0002-5955-5292](https://orcid.org/0000-0002-5955-5292)

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», ROR [00syn5v21](https://ror.org/00syn5v21)

Київ, Україна

Анотація—У цій роботі обґрунтована необхідність систематизації та аналізу обладнання для заряджання електромобіля. Розглянуті методи заряджання, особливості реалізації зарядних пристроїв, описані рівні потужності зарядних станцій. Особливу увагу приділено комунікаційній функції PILOT. В результаті аналізу виявлено переваги та недоліки кожного з методів. Авторами обґрунтована доцільність і перспектива використання зарядних пристроїв на базі відкритих проектів, та можливість їх покращення і подальшого розвитку на базі існуючих стандартів.

Ключові слова — електромобіль; зарядний пристрій; способи заряджання; стандарти заряджання.

I. ВСТУП

Ринок електромобілів (ЕМ) активно розвивається провідними виробниками автомобілів у всьому світі [1]. Основні зусилля розробників направлені на створення ефективного накопичувача енергії – акумуляторної батареї, адже її параметри багато в чому характеризують ЕМ: показники запасу ходу і розгону, потужність двигуна та ін. Але для комфортного існування ЕМ в міських умовах необхідна певна інфраструктура, яка містить зарядні станції (ЗС), що містять все необхідне обладнання для заряду батареї.

У літературі представлено багато робіт про зарядні пристрої для ЕМ. У них підкреслюються, переважно, різні топології зарядних пристроїв [1-3]. Заряджання сучасних електромобілів – порівняно нова технологія, яка стала активно розвиватися в Україні останні 4-6 років. Кількість невирішених питань у цій галузі достатньо велика, на що вказують як у СМІ, так і в науково-популярній та науковій літературі, та інших джерелах, тому тема є досить актуальною. В результаті чого одні ті самі поняття і визначення описані по різному, хоча і мають один і той самий сенс. Метою даної статті є огляд та систематизація існуючих технологій заряджання ЕМ та розкриття питань стосовно особливостей побудови пристроїв для їх заряджання. Також надано інформацію, що стосується комунікації ЕМ та зарядного пристрою.

II. МЕТОДИ ЗАРЯДЖАННЯ ЕМ

Як правило, існує три основних способи заряджання електромобіля: дротовий, бездротовий або індуктивний та заміна батареї.

В даний час як автомобільна промисловість, так і оператори зарядних станцій віддають перевагу провідному заряджанню, оскільки він набагато дешевший та ефективніший. Однак є кілька проектів [4,5]

досліджень та розробок, які зосереджені на подальшому вдосконаленні бездротового способу, оскільки це дає можливість підвищити комфорт користувача та може бути ключовою характеристикою електричної мобільності[4].

Останній метод полягає у заміні розряджених акумуляторів новими на спеціальних станціях заміни. Однак, щоб це стало можливим, розміри та внутрішні з'єднання батареї повинні бути стандартизованими. Кожен електромобіль від кожного виробника повинен мати практично однакові розміри, форму та тип акумулятора. Оскільки це зменшує свободу конструкції для виробника та зважаючи на те, що вибір розміщення батареї буде суттєво зменшений, більшість виробників розглядають можливість відхилення цього методу [6].

III. ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ

Зарядні пристрої для електромобілів можна класифікувати наступним чином: заряджання змінним струмом та заряджання постійним струмом.

Обидва способи заряджання ЕМ регламентовано різними стандартами у різних країнах. У США та Японії користуються стандартом SAE J1772 [7], він охоплює обидва зазначених вище способи заряджання. Його Європейською адаптацією є IEC 61851 [8]. Стандарт описує рівень потужності зарядних станцій та види розеток ЕМ.

Розглянемо докладніше рівні потужності зарядних станцій.

A. Некероване заряджання змінним струмом.

Для американського SAE J1772 - Level 1, для Європейського IEC 61851 Mode 1. Дозволяє підключати електромобіль до найбільш поширеної заземле-



ної розетки змінного струму (230 В, 60 Гц). Транспортний засіб має бути обладнаний бортовим зарядним пристроєм (станом на 2020 р. - всі обладнані), здатним приймати енергію від існуючої мережі змінного струму (рис.1). Електрична установка повинна відповідати правилам безпеки і мати систему заземлення, автоматичний вимикач для захисту від перевантаження і захист від витоків на землю. Розетки мають заслінки для запобігання випадкового контакту. Зараз практично не застосовується. За одну годину можна поповнити 20-40 км ходу. На повний заряд потребується 8-12 годин.

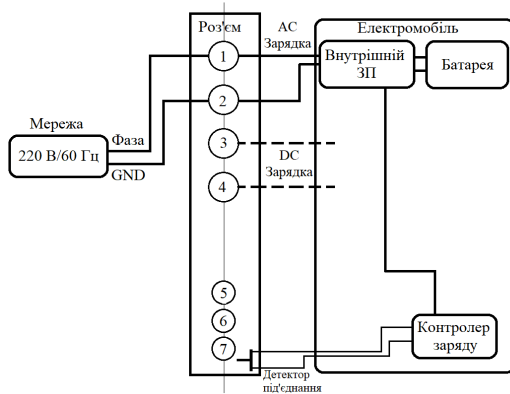


Рис. 1. Некероване зарядження змінним струмом.

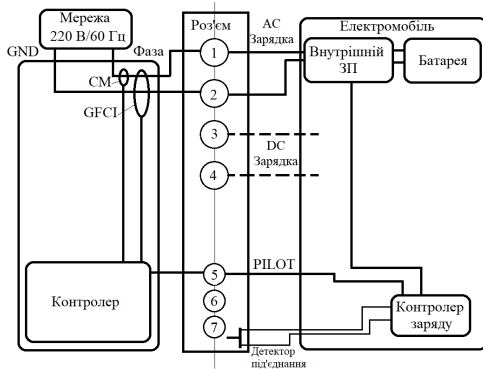


Рис. 2. Кероване зарядження змінним струмом.

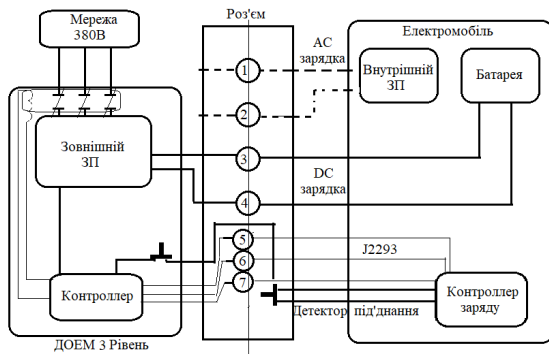


Рис. 3. Керована зарядка постійним струмом.

В. Кероване зарядження змінним струмом.

Для американського SAE J1772 - Level 2, для Європейського IEC 61851 Mode 2 та 3. Також використовує змінний струм. Транспортний засіб приймає енергію змінного струму від ДОЕМ (допоміжний зарядний пристрій, англ. EVSE) Інша назва - «Швидка зарядка змінним струмом» (рис.2), рівень потужності від 7 кВт (32 А, однофазний) або від 21 кВт (трифазний). Повна процес потребує 4-8 годин.

ДОЕМ забезпечує:

- захисне відключення;
- захист від надструмів 65 А;
- захист від перегріву;
- виявлення захисного заземлення (від розетки);

Електроенергія буде надходити до автомобіля тільки в тому випадку, якщо ДОЕМ виявить:

- Захисне заземлення - діє;
- Відсутні умови помилки (перевантаження по струму, перегрів і т.д.);
- Автомобіль підключений (виявлений по лінії Proximity PILOT);
- Автомобіль запросив потужність (виявлено через лінію PILOT);

Основний метод зарядження електромобіля, який передає потужність змінного струму від джерела живлення до бортового зарядного пристрою. Даний тип зарядного пристрою може використовуватися вдома, на робочому місці і в громадських місцях. В залежності від потужності поділяються на: стаціонарні та портативні (застосування в одному або декількох місцях).

С. Кероване зарядження постійним струмом.

Для американського SAE J1772 - Level 3, для Європейського IEC 61851 Mode 4, для китайського - CHAdeMO [9] та GB/T 20234. Використовує спеціальне обладнання для електроживлення постійним струмом (DC), що забезпечує подачу енергії від відповідного зовнішнього зарядного пристрою в електромобіль в приватних або громадських місцях.

Архітектура системи (рис.3) забезпечує спосіб отримання енергії від відповідного зовнішнього зарядного пристрою. Потужність, доступна для зарядження постійним струмом, може варіюватися від рівнів потужності, аналогічних рівнями 1 і 2 змінного струму, до дуже високих рівнів потужності, які можуть бути здатні заповнити більше половини ємності акумулятора електромобіля всього за 10 хвилин. Потужність до 400 кВт.

IV. ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ КЕРОВАНИХ ЗАРЯДНИХ ПРИСТРОЇВ ЗМІННОГО СТРУМУ

Найпоширенішим способом зарядження є керований зарядний пристрій змінного струму. Його пере-

вагами є порівняно низька ціна, простота у виробництві, відсутність особливих умов для підключення, необхідна лише захищена однофазна або трифазна розетка. Таким зарядним обладнанням забезпечує як сам виробник ЕМ (Nissan Leaf, Tesla, Renault Fluence/Zoe, Ford Focus, Citroen, Bio Auto), так і приватні фірми (в Україні - ChargeU, ТОКА, EVlink, ONCharger та ін.). Різниця серед переліченого обладнання лише в вартості, наявності зручного інтерфейсу, мобільного додатку та платіжної системи. Окрім промислових зразків є і відкриті проекти, наприклад Open EVSE який розроблений на основі відкритих стандартів [10]. OpenEVSE реалізує апаратні та програмні рішення для зарядних станцій з відкритим кодом для виробників та приватних осіб, які постійно покращують характеристики вже на базі існуючого устаткування.

Узагальнена блок схема зарядного пристрою на базі відкритого проекту Open EVSE зображена на рис.4.

Система складається з мікроконтролера, силового контактора, компонентів, що забезпечують захист та роботу допоміжного обладнання.

Пристрій живиться від загальної однофазної мережі. Перший блок - «Перетворювач на +5 / +12 В та аналізатор мережі». Складається з компактного AC/DC перетворювача з потужністю до 4 Вт. Діапазон вхідної змінної напруги від 90 В до 264 В, на виході отримуємо 12 В. В якості аналізатору мережі використано мікросхему, яка працює за схемою детектора з високим коефіцієнтом підсилення та генерує сигнал моніторингу.

Сигнал моніторингу, який генеруються мікросхемою, має умовну назву AC TEST, постійно надходить на цифровий вхід мікроконтролера і повинен постійно аналізуватися. AC TEST може приймати два логічних стани:

- Якщо поданий сигнал AC TEST, який сигналізує про ініціацію процесу заряду, приймає рівень логічного 0, тоді є несправність через

відсутність фазної напруги на вході, що в свою чергу забезпечить захист, у випадку обриву фази і ДОЕМ буде від'єднано від мережі та пристрій зупиниться.

- Якщо сигнал AC TEST приймає рівень логічного 1, тоді процес заряду відбувається в нормальних умовах.

Наступний блок - «Датчик стікання струму на землю», в свою чергу, виконує важливу функцію створення цифрового сигналу «Current Failure» (GFCI_INT). Логіка роботи приймає наступний характер: якщо приймається значення логічної 1, то присутня несправність через витік струму на землю на виході ДОЕМ. У нормальних умовах, коли такої несправності немає, сигнал GFCI_INT залишається на рівні логічного 0. Для цього в якості датчика використовується невеликий спеціальний трансформатор струму TC.

Блок «Перетворювач +12/-12В» перетворює вхідні +12 в симетричне вихідне джерело +12 і -12В. Це джерело забезпечує роботу одного компонента: подвійного операційного підсилювача (ОП), що використовується при обробці функції «PILOT». Загалом, ОП такого типу працюють, аналогічно невеликому твердотільному реле з перемикачем SPDT. Тому для нього існує всього два стани: подати на вихід напругу +12 В, або -12 В.

На платі керування функція «PILOT» починає спрацьовувати за допомогою пуску подвійного ОП. Функція являє собою прямокутний сигнал з частотою 1 кГц і амплітудою від +12 В до -12 В, де рівень напруги визначає стан (рис.5).

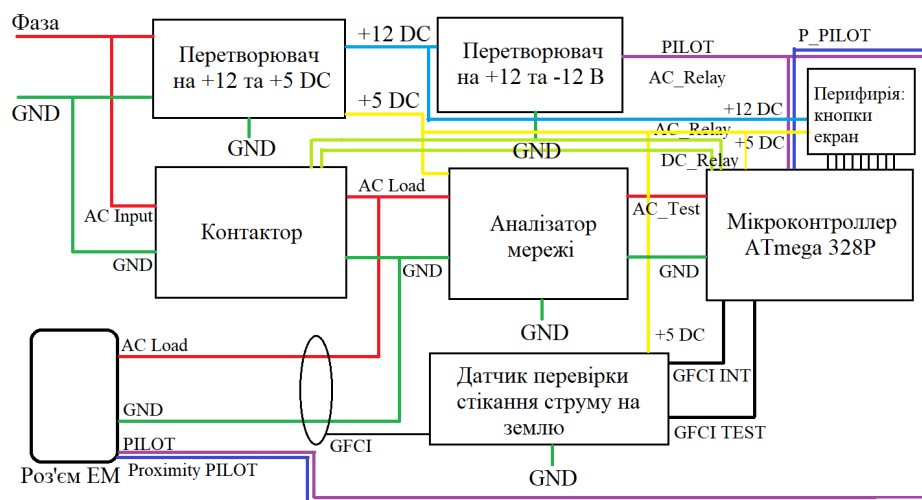


Рис. 4. Блок-схема ДОЕМ 2-го рівня на базі OPEN EVSE.

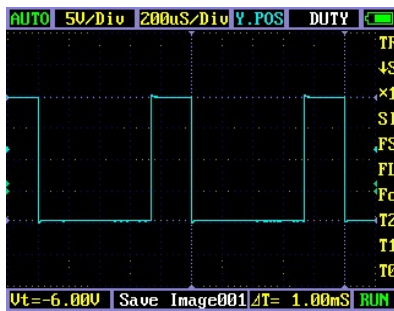


Рис. 5. Осцилограма функції PILOT.

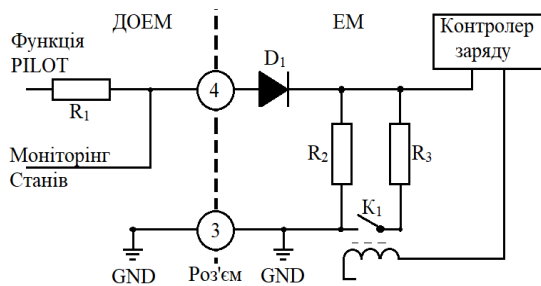


Рис. 6. Контур протікання функції PILOT.

Таблиця 1 Стани функції PILOT

Стан	Pilot High	Pilot Low	Частота	Опір, Ом	Опис
Стан А	+12В	Н/В	DC	Н/В	ЕМ не під'єднано
Стан В	+9 В	-12 В	1000 Гц	2740	ЕМ під'єднано (Готовий)
Стан С	+6 В	-12 В	1000 Гц	882	ЕМ заряджається
Стан Д	+3 В	-12 В	1000 Гц	246	ЕМ заряджено
Стан Е	0 В	0 В	Н/В		Помилка
Стан F	Н/В	-12 В	Н/В		Непід'єднано/Помилка

При під'єднанні ЕМ до ДОЕМ, в колі протікання функції PILOT формується ділянка напруги з резистора R_1 на боці ДОЕМ та резисторів R_2 та R_3 зі сторони електромобіля (див.рис.6). ДОЕМ зчитує напругу і відповідно змінює стан (табл.1).

Всі 6 станів регламентовано протоколом SAE J1772/IEC 61851 і вони незмінні. Коли ЕМ під'єднано до ДОЕМ з'являється контур протікання: R_1 - D_1 - R_2 , опір якого складає 2740 Ом, що спричиняє падіння напруги до +9 В і відповідає стану В. Якщо помилку не виявлено, і ЕМ запитує необхідну потужність, відбувається перехід до стану С, шляхом додавання резистору R_3 , опір ланцюга знижується до 882 Ом, що відповідає напрузі +6 В. Деякі виробники (наприклад Siemens) використовують стан Д, окрім сигналу про завершення процесу заряду, також і для включення вентиляції (обумовлено стандартами безпеки у деяких країнах, на рис.6 додатковий опір для цього стану не показаний).

Робочий цикл (відношення високого стану до низького стану) визначає максимально доступний

струм. ДОЕМ встановлює робочий цикл, якому електромобіль повинен відповідати згідно вихідних налаштувань або змін в робочому циклі.

Недоліком протоколу IEC 61851 є обмежений обмін даних ДОЕМ з ЕМ. Оскільки по каналу обміну передаються лише дані, стосовно ініціалізації, процесу та зупинки заряду. Зарядна станція не може оцінити тип електромобіля, його характеристики, ємність і стан батареї, максимальну швидкість зарядження, тощо. Реалізація вищезазначеного могла би бути корисною для створення таких речей як, розподілення навантаження і потенційно можлива зворотна подача електроенергії до мережі. Ідея створення розподіленого навантаження на базі ДОЕМ 2 рівня дасть можливість забезпечення електроенергією декількох ЕМ, керування струмом, який зможе споживати кожен із транспортних засобів. Спільна робота кількох точок зарядних пристроїв дозволить більшій кількості користувачів отримати доступ до зарядження ЕМ.

ВИСНОВКИ

Таким чином у роботі розглянуто методи зарядження електромобілів, впорядковано інформацію, щодо способів зарядження ЕМ, проведено паралелі між різними стандартами. Режим зарядження описує протокол зв'язку безпеки між електромобілем та зарядною станцією. З поміж багатьох варіантів керування зарядних пристроїв на змінному струмі, на думку авторів, найбільш перспективним є варіант на базі відкритого проекту. Перевагами є відкриті дані, щодо застосованих схемотехнічних рішень та коду, а також низька вартість, порівняно з промисловими зразками, наявність зручного інтерфейсу, можливість створення власного мобільного додатку та підключення платіжної системи. А також є можливість покращення характеристик вже на базі існуючого устаткування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] ZHONGQIAO Z., YANHONG Z., TINGTING L., XU C., 2011. "Analysis on Development Trend of Electric Vehicle Charging Mode", ICEOE 2011. DOI: [10.1109/ICEOE.2011.6013139](https://doi.org/10.1109/ICEOE.2011.6013139)
- [2] YILMAZ M., KREIN P. T., 2013. "Review of Battery Charger Topologies, Charging Power Levels, and Infrastructure for Plug-In Electric and Hybrid Vehicles", IEEE transactions on power electronics, vol. 28, no. 5, may 2013. DOI: [10.1109/TPEL.2012.2212917](https://doi.org/10.1109/TPEL.2012.2212917)
- [3] K. Throngnumchai, T. Kai, and Y. Minagawa, "A study on receiver circuit topology of a cordless battery charger for electric vehicles," in Proc. IEEE ECCE., Sep. 2016, pp. 843–850. DOI: [10.1109/ECCE.2011.6063858](https://doi.org/10.1109/ECCE.2011.6063858)
- [4] Rotterdam Municipality: Pilot Project on Wireless Charging of Electric Vehicles, November 2016, <https://www.elaad.nl/news/resultaten-proef-draadloos-laden-elektrische-autos-in-rotterdam-bekend>
- [5] Wirelessly Charged Electric Buses, <http://www.physicscentral.com/explore/action/electric-bus.cfm>
- [6] The Top 10 FAQ About Electric Cars – Green & Energy GmbH - Version 1,1 - November 2012, Page 11.
- [7] SAE J1772 Standard – Surface Vehicle Recommended Practice.
- [8] IEC 61851-1 "Electric Vehicle conductive charging system"



[9] CHAdeMO, <https://en.wikipedia.org/wiki/CHAdeMO>

[10] OpenEVSE - Electric Vehicle Charging Solutions, <https://www.openevse.com>

Надійшла до редакції 04 квітня 2021 р.

UDC 621.31

Construction Features of Devices for Charging Electric Vehicles

O. S. Yama, ORCID [0000-0002-9234-1990](https://orcid.org/0000-0002-9234-1990)

Yu. S. Olishevskii, ORCID [0000-0002-5955-5292](https://orcid.org/0000-0002-5955-5292)

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", ROR [00syn5v21](https://orcid.org/00syn5v21)
Kyiv, Ukraine

Abstract—The electric vehicle (EV) market is actively developing by leading car manufacturers around the world. The main efforts of developers are aimed at creating an efficient energy storage device - a rechargeable battery, because its parameters largely characterize the EV: power reserve and acceleration, engine power and others. But for the comfortable existence of EV in urban conditions requires a certain infrastructure, which includes charging stations, containing all the necessary equipment to charge the battery. In the results use many different terms and definitions that often describe the same phenomenon. This paper substantiates the need for systematization and analysis of equipment for charging electric vehicles. The methods of charging electric cars are considered in the work, the information on the ways of charging EV is arranged, parallels between different standards are made. Chargers for electric vehicles can be classified as follows: AC charging and DC charging. Both methods of EV charging are regulated by different standards in different countries. The US and Japan use the SAE J1772 standard, it covers both types of charging methods mentioned above. Its European adaptation is IEC 61851. The standard describes the power level of charging stations and types of EV sockets. The charging mode describes the safety communication protocol between the electric vehicle and the charging station. To establish a serial connection between the electric vehicle and the EVSE, there is a function "PILOT", which refers to the protocol IEC 61851, provides the necessary functions related to the communication of EV and EVSE. The connection detection sequence is performed automatically when the EVSE power control cable is physically connected to the EV. Of the many variants of controlled AC chargers, according to the authors, the most promising is the option based on an open project. The advantages are open data on the applied circuit solutions and code, as well as low cost compared to industrial designs, the availability of a user-friendly interface, the ability to create your own mobile application and connect a payment system. The disadvantage of the IEC 61851 protocol is the limited exchange of EVSE data with EV. Because only data on initialization, process and charge stop is transmitted via the exchange channel. The charging station cannot estimate the type of electric car, its characteristics, capacity and battery condition, maximum charging speed, etc. Implementing the above could be useful for creating things like load balancing and the potential for a possible return of electricity to the grid.

Keywords — *electric vehicle; charger; charging methods; charging standards.*

