

ЗАРЕЖДАНЕ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ПРЕВОЗНИ СРЕДСТВА

**Райчо Иларионов¹, Иван Симеонов¹, Христо Килифарев^{1*},
Егнар Йоздикилилер², Борислав Недев¹**

¹Технически университет - Габрово, Х. Димитър 4, Габрово, България

²Истанбулски технически университет, Кампус Аязага, Маслак, Истанбул, Турция

*кореспондиращ автор: hri.100@gmail.com

CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES

**Raycho Ilarionov¹, Ivan Simeonov¹, Hristo Kilifarev^{1*},
Egnar Özdikililer², Borislav Nedev¹**

¹Technical University of Gabrovo, 4 Hadji Dimitar str., Gabrovo, Bulgaria

²Istanbul Technical University, Ayazağa Kampüsü, Maslak, Istanbul, Turkey

*Corresponding author: hri.100@gmail.com

Abstract

In recent decades, electric vehicles (EVs) have become a leading technology for sustainable transport, driven by the need to reduce harmful emissions and dependence on fossil fuels. A key element in EVs infrastructure is the charging systems, which determines both their efficiency and usage convenience. The report presents an overview of the main types of electric vehicles and their charging systems. Various charging methods are reviewed - from standard AC charging stations to fast DC stations, as well as bidirectional ones. The architectures of charging stations (on-board and off-board), classifications by charging standards (Mode 1–4, XFC) and types of connectors used in different regions are analyzed. Typical block diagram of chargers with a brief description of their functioning is also presented. This paper can be useful for the end user of EV, because presents different technical means and approaches to charge EV.

Keywords: electric vehicles; charging stations; charging standards; EV charging connector types.

ВЪВЕДЕНИЕ

Преминаването към зелена (шадяща природата и ресурсите на Земята) енергия изисква замяната на автомобилите, използващи горива като бензин, дизел, пропан-бутан и други на базата на фосилни ресурси като нефт, въглища, природен газ. Този преход към превозни средства, чиято енергия се добива предимно от съхранена (акумулирана) по химически път батерии с възможност за презареждане с електрически ток, не може да се осъществи без осигуряване на необходимите зарядни станции.

През последните години електрическите автомобили постигат масова достъпност благодарение на напредъка в технологиите за батерии, управление на енергията и инфраструктурата за зареждане.

Системите за зареждане на електрически превозни средства представляват комплекс от устройства и технологии, осигуряващи пренос на електрическа енергия от електроразпределителната мрежа към акумулаторния блок на превозното средство. Ефективността, скоростта и безопасността на зареждането

зависят от типа на зарядната станция, стандарта на зареждане, използвания тип конектор и комуникацията между зарядното устройство и бордовата електроника на автомобила.

Разграничават се няколко основни категории зарядни решения:

АС зарядни станции, които подават променлив ток и изискват вградени зарядни устройства в автомобила (on-board chargers);

DC станции за бързо зареждане, при които преобразуването на напрежението се извършва извън превозното средство (off-board chargers);

Двупосочни зарядни системи (V2G/V2H), позволяващи обмен на енергия между превозното средство и мрежата.

Настоящият доклад има за цел да представи обзор на технологиите, свързани със зареждането на електрически превозни средства, техните класификации, основни принципи на работа, съществуващи международни стандарти.

ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Класификация на електрическите превозни средства

Електрическите превозни средства (EV – Electric Vehicles) представляват транспортни средства, които използват изцяло или частично електрическа енергия за задвижване. В зависимост от начина на съхранение и използване на енергията, както и от наличието на допълнителен двигател с вътрешно горене, електрическите превозни средства могат да бъдат класифицирани в няколко основни категории [1-4].

1.1. Изцяло електрически превозни средства (BEV – Battery Electric Vehicles)

BEV са напълно електрически автомобили, при които единствен източник на енергия е акумулаторната батерия с високо напрежение и голям капацитет. Електродвигателят осигурява задвижването, а цялата необходима енергия за движение и спомагателни системи се

подава от батерията. Зареждането се извършва чрез външен източник – зарядна станция или мрежово захранване (AC/DC).

Типични представители на този клас са Tesla Model 3, Nissan Leaf и BMW i3.

Предимства на BEV включват нулеви локални емисии, висока ефективност и ниски експлоатационни разходи, докато ограниченията са свързани с капацитета на батерията и времето за зареждане.

1.2. Хибридни електрически превозни средства (HEV – Hybrid Electric Vehicles)

HEV комбинират двигател с вътрешно горене (ДВГ) и електрически двигател, като енергията се подава от батерия с малък капацитет. Зареждането на батерията се осъществява вътрешно, чрез регенеративно спиране и чрез ДВГ, без външен заряден порт.

Тази архитектура осигурява по-добра горивна ефективност в градски цикъл и намалени емисии спрямо конвенционалните автомобили. Примери за HEV са Toyota Prius Hybrid, Honda Insight, Hyundai Ioniq Hybrid.

1.3. Plug-in хибридни електрически превозни средства (PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicles)

PHEV съчетават характеристиките на BEV и HEV, като разполагат с възможност за външно зареждане на батерията от електрическата мрежа и двигател с вътрешно горене за удължен пробег. Батерията е по-голяма от тази при HEV и позволява чисто електрическо придвижване на кратки разстояния (обикновено 40–80 km).

Примери: Mitsubishi Outlander PHEV, Toyota Prius Plug-in, Volvo XC60 Recharge.

PHEV са преходна технология между изцяло електрическите и традиционните автомобили, като съчетават ниски емисии и гъвкавост при дълги пътувания.

1.4. Превозни средства с горивни клетки (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles)

FCEV използват водородни горивни клетки, които произвеждат електрическа

енергия чрез електрохимична реакция между водород и кислород, при която единственият страничен продукт е вода. Електрическата енергия захранва електродвигателя, а малка батерия се използва за буфериране и рекуперация.

Предимство на FCEV е много бързото зареждане с водород H_2 (3–5 минути) и големият пробег (500–700 km), но недостатъците включват висока цена на горивните клетки и липса на инфраструктура.

Примери: Toyota Mirai, Hyundai Nexso, Honda Clarity Fuel Cell.

2. Класификация по стандарти

За да се осигури взаимна съвместимост между електрическите превозни средства и зарядната инфраструктура, са разработени редица международни стандарти, които дефинират методите за зареждане, типовете конектори, комуникационните протоколи и изискванията за безопасност [2, 3]. Основни нормативни документи, регулиращи тези аспекти, са IEC 61851, IEC 62196, SAE J1772, CHAdeMO, ISO 15118 и GB/T (Китай).

2.1. Режими на зареждане (IEC 61851 – Mode 1 до Mode 4)

Международният стандарт IEC 61851 дефинира четири основни режима на зареждане на електромобили, в зависимост от типа ток, средствата за комуникация и нивото на безопасност (Таблица 1).

Таблица 1. Режими на зареждане

Режим	Тип ток	Мощност	Комуникация / защита	Описание
Mode 1	AC	1.4 до 2.3 kW	Без	Пряко свързване към стандартен контакт без защита – рядко използван, поради липса на безопасност. бавен режим, ~10–20 часа зареждане
Mode 2	AC	до 3.6 kW	IC-CPD в кабела	Зареждане чрез стандартен контакт, но с вграден контролен модул (In-Cable Control and Protection Device), следи параметри в реално време и предпазва от пренапрежение, прегряване и токови утечки.
Mode 3	AC	7.4 до 22 kW	PWM (Pulse Width Modulation)	Зареждане чрез специална AC станция с управление и комуникация между EV и EVSE (IEC 61851-1).
Mode 4	DC	50–500 kW	CAN / PLC	Зареждане с постоянен ток чрез off-board преобразувател; използва се за бързи и ултра-бързи станции.

2.2. Стандарти и типове конектори

Типът конектор фиг. 1 [5] определя механичната и електрическата съвместимост между зарядното устройство и електромобила. Най-широко разпространените стандарти са IEC 62196 (Европа), SAE J1772 (САЩ), CHAdeMO (Япония) и GB/T 20234 (Китай).

2.4. Развитие на стандартите – XFC и бъдещи тенденции

Най-новите стандарти за ултра-бързо зареждане (XFC - eXtreme Fast Charging) целят значително съкращаване на времето за зареждане чрез увеличаване на тока



Фиг. 1. Типове конектори за зареждане [5]

до 500 - 600 А и напрежението до 1000 V DC.

Технологии като точно охлаждане на кабелите, високоволтови SiC инвертори и автоматично разпознаване на превозното средство вече са част от бъдещите поколения зарядни станции.

Очаква се интеграция с интелигентни мрежи (Smart Grids) и възобновяеми източници, при което стандартите ISO 15118-20 и IEC 63110 ще осигурят пълна двупосочна комуникация и динамично управление на енергията.

3. Методи за зареждане и видове зарядни станции

Зареждането на EV представлява процес на пренос на електрическа енергия от външен източник към акумулаторния блок на превозното средство. Този процес може да бъде реализиран по различни начини, в зависимост от това къде се извършва преобразуването на електрическата енергия, какъв тип ток се използва (AC или DC) и дали системата позволява двупосочен обмен на енергия [1-4].

3.1. On-board и Off-board зарядни устройства

Зарядните системи за EV се разделят на вградени (on-board) и външни (off-board), в зависимост от това къде се намира силовата електроника, която преобразува мрежовото напрежение.

On-board вариантите се характеризират с компактност и по-ниска мощност, докато off-board решенията предлагат висока скорост на зареждане, по-добра топлинна ефективност и възможност за интеграция в Smart Grid и системи с двупосочно зареждане (V2G).

On-board зарядни устройства

При този тип архитектура зарядното устройство е вградено в превозното средство. То приема променлив ток (AC) от външната мрежа и чрез AC/DC преобразувател зарежда батерията чрез Battery Management System (BMS) с постоянен ток.

Предимство на on-board системите е тяхната гъвкавост и съвместимост с раз-

лични AC източници, което позволява зареждане в домашни условия или на обществени станции.

Недостатък е ограничената мощност (обикновено до 11 - 22 kW), поради тегло, охлаждане и цена на електронните компоненти.

Off-board зарядни устройства

При off-board системите преобразуването на напрежението се извършва извън автомобила, в самата зарядна станция, където са силовите компоненти. Тук превозното средство се свързва директно към DC източник, а вътрешният контролер (BMS) регулира заряда на батерията, посредством комуникационен интерфейс (CAN или PLC) между станцията и автомобила.

Този подход позволява висока мощност (50 - 500 kW) и значително по-кратко време за зареждане, което го прави предпочитан за обществени и магистрални станции.

Недостатък е високата цена и сложността на инфраструктурата.

3.2. Зареждане с променлив ток

AC Charging е най-разпространеният метод за зареждане на EV, особено в домашни и офис условия.

Захранването се осъществява от стандартната електрическа мрежа (монофазна 230 V или трифазна 400 V), а преобразуването към DC се извършва вътре в автомобила от on-board зарядното устройство.

AC зареждането е икономично и достъпно, но ограничено по скорост, тъй като мощността се определя от капацитета на вграденото (on-board) зарядно устройство.

3.3. Зареждане с постоянен ток

DC Charging зареждането е предназначено за бързо зареждане и използва off-board архитектура.

Зарядната станция съдържа мощен AC/DC преобразувател, който подава регулиран постоянен ток директно към батерията, като комуникацията между станцията и EV се осъществява по стандартизирани протоколи (CAN, PLC).

Типични режими и мощности:

- **Mode 4** (50 - 400 kW) – стандарти CHAdeMO, CCS Combo 1/2, GB/T;

- **XFC** (Extreme Fast Charging, >350 kW) – използва се активно охлаждане на кабелите и батерията, постига до 80% заряд за под 10 минути.

DC зареждането е бързо, ефективно и с по-добър енергиен контрол. Като недостатъците му са високата цена, необходимостта от мощна електрическа инфраструктура и системи за охлаждане.

3.4. Двупосочно зареждане

Съвременните зарядни системи (Bidirectional Charging – V2G, V2H, V2B) все по-често поддържат двупосочен енергиен поток, при който EV може не само да се зарежда, но и да връща енергия обратно към мрежата или към други системи.

Основни приложения:

- **V2G** (Vehicle-to-Grid) – подаване на енергия от автомобила към електроразпределителната мрежа за стабилизиране на натоварването;

- **V2H** (Vehicle-to-Home) – използване на автомобила като енергиен буфер за домакинството при пикови натоварвания или прекъсване на захранването;

- **V2B** (Vehicle-to-Building) – интеграция в локални енергийни системи на сгради или индустриални обекти.

Този тип системи използват DC и изискват прецизна комуникация между превозното средство, зарядната станция и енергийната мрежа (ISO 15118, IEC 61850).

Двупосочното зареждане е основа на концепцията за интелигентни енергийни мрежи (Smart Grids) и градове (Smart Cities).

3.5. Комуникация между EV и зарядна станция

За безопасно и ефективно зареждане е необходим обмен на информация между EV (Electric Vehicle) и EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment).

Комуникацията осигурява:

- Идентификация на потребителя;

- Договаряне на мощността и напрежението;

- Следене на състоянието на заряда (State of Charge – SoC);

- Управление на двупосочен енергиен поток (V2G).

Основни комуникационни протоколи:

- **PWM** (Pulse Width Modulation) – при AC зареждане (Mode 2/3) за базова комуникация;

- **CAN** (Controller Area Network) – при DC зареждане (CHAdeMO, GB/T);

- **PLC** (Power Line Communication) – използван при CCS (ISO 15118) за обмен на данни през захранващия кабел, ISO 15118-20 – последна версия, въвеждаща Plug & Charge функции за автоматична идентификация и плащане;

- Автоматична идентификация (без RFID карта) и V2G функционалност.

3.6. Тенденции и иновации в зареждането на EV

С развитието на електромобилността се наблюдава бърза еволюция на технологиите за зареждане, насочена към намаляване на времето за зареждане, повишаване на енергийната ефективност и интелигентно управление на енергийните потоци.

Ултра-бързо зареждане (Ultra-Fast и XFC)

Съвременните DC станции достигат мощности от 350 kW до над 500 kW, позволявайки зареждане на батерията до 80% за под 15 минути. Това се постига чрез високоволтови системи (800–1000 V) и ефективно точно охлаждане на кабели и конектори. Производители като ABB, Siemens, Tesla и IONITY вече внедряват подобни решения.

Безжично (индукционно) зареждане

Индукционното зареждане позволява предаване на енергия чрез електромагнитно поле между две бобини - една в пътната настилка и една в превозното средство. Макар все още с по-ниска ефективност (~90%), технологията предлага изключително удобство, особено за автономни и обществени превозни средства.

Двупосочно зареждане и V2X технологии

EV се превръщат в активен елемент на енергийната система, подпомагащ балансирането на натоварването и интеграцията на възобновяеми енергийни източници (ВЕИ).

Интелигентно управление и комуникация

Модерните зарядни станции вече използват IoT и AI технологии за динамично управление на натоварването, оптимизация на разходите и отдалечен мониторинг.

Интеграция със Smart Grid

С нарастващия брой EV, зарядните станции се превръщат в стратегически елемент на умните енергийни мрежи, осигурявайки двупосочен енергиен поток, гъвкавост и възможност за децентрализирано управление.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зареждането на EV представлява ключов елемент в екосистемата на съвременната електромобилност. Разнообразието от технологии - от стандартно AC зареждане до ултра-бързи DC системи и безжични решения - отразява стремежа към по-висока ефективност, безопасност и удобство за потребителя.

В бъдеще тенденцията ще бъде към изграждане на мрежово свързани, високомощни и адаптивни зарядни системи, способни да удовлетворяват нарастващите енергийни нужди на транспорта, без да натоварват електроразпределителните системи. Така зареждането на EV ще се превърне не само в технологичен процес, но и в неразделна част от устойчивата енергийна инфраструктура на бъдещето.

Източник на финансиране: Този доклад е финансиран по проект BG16RFPR002-1.014-0005, Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“, финансиран по програма „Изследвания, иновации и дигитализация за интелигентна трансформация“ 2021–2027.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Khalid, M. R., Khan, I. A., Hameed, S., Asghar, M. S. J., Ro, J., A Comprehensive Review on Structural Topologies, Power Levels, Energy Storage Systems, and Standards for Electric Vehicle Charging Stations and Their Impacts on Grid, in IEEE Access, vol. 9, pp. 128069-128094, 2021, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3112189>.
- [2] Arif, S. M., Lie, T. T., Seet, B. C., Ayyadi, S., & Jensen, K. (2021). Review of Electric Vehicle Technologies, Charging Methods, Standards and Optimization Techniques. Electronics, 10(16), 1910. <https://doi.org/10.3390/electronics10161910>.
- [3] Md. Tanvir Shahed, A.B.M. Harun-ur Rashid, Battery charging technologies and standards for electric vehicles: A state-of-the-art review, challenges, and future research prospects, Energy Reports, Volume 11, 2024, pp 5978-5998, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.05.062>.
- [4] Mastoi, M., Zhuang, S., Munir, H., Haris, M., Hassan, M., Usman, M., Bukhari, S., Ro, J., An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends, Energy Reports, Volume 8, 2022, Pages 11504-11529, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.09.011>.
- [5] Tesla Inc., Vehicles, Model 3, Meet Your Model 3, Video “Charging”, Online: https://www.tesla.com/en_gb/support/meet-your-tesla/2017-2023-model-3, (11.2025).