

В.Б. Павлов¹, докт.техн. наук, **В.І. Будицько²**, канд.техн.наук

¹- Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна,

e-mail: mobil99@ied.org.ua

²- Національний технічний університет України «КПІ»,

пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

У роботі розглядаються різні аспекти заряду електромобілів від електричної мережі та наведено фактори можливого негативного впливу на електричні мережі при підключенні та експлуатації зарядних пристроїв різної потужності, в тому числі при прискореному заряді. Показано, що в деяких випадках зарядження акумуляторів електромобілів від відновлюваних джерел живлення є найбільш доцільним, а іноді – не має альтернативи. Отримано аналітичні співвідношення для визначення необхідних характеристик відновлюваних джерел живлення та показано характер змін та граничні значення струмів заряду і необхідної потужності мережі при скороченні часу зарядного процесу. Бібл. 11, рис. 4.

Ключові слова: електротранспорт, електромобіль, зарядний пристрій, відновлювані джерела енергії.

На сьогодні у світі налічується більше 100000 зарядних станцій акумуляторів електромобілів і гібридних транспортних засобів при постійному збільшенні їхньої кількості по роках, що обумовлено позитивною динамікою попиту на екологічно чисті та економічні електротранспортні засоби. Аналітики очікують, що це може сприяти істотному спаду попиту на бензин та дизпаливо [1–4].

Стандарти щодо зарядження акумуляторів електромобілів і гібридів, які підзаряджуються, регулюються Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК або ІЕС (в англійському варіанті)). Основним є стандарт ІЕС 62196, який визначає види використовуваних роз'ємів (розеток і вилок), а також режими зарядження змінним і постійним струмом. Оскільки тягова батарея в електромобілі заряджається постійним струмом, то в разі використання зарядної станції змінного струму застосовується бортовий зарядний пристрій електромобіля (ЕМ), що перетворює змінний струм зарядної станції в постійний, яким і заряджається тягова батарея. У цьому випадку час зарядження електромобіля визначається ємністю тягової батареї і потужністю бортового зарядного пристрою (БЗП). Зазвичай цей параметр вказується виробником електромобіля. При заряді від станції постійного струму всю процедуру перетворення виконує сама станція. Станції змінного струму прийнято називати зарядними станціями стандартної зарядки, станції постійного струму – комплексами експрес-зарядки або станціями швидкого зарядження [11].

Аналіз акумуляторних батарей і зарядних пристроїв, встановлених практично на усіх сучасних електромобілях, та способів їхнього зарядження показав, що зарядження змінним струмом 10–16 А (однофазна мережа) становить 60 %, а змінним струмом 22–35 А (трифазна мережа) – 40 % від загальної кількості ЕМ. У той самий час до 40% електромобілів, що заряджаються змінним струмом, можуть заряджатися постійним струмом.

Переважає більшість зарядних станцій для автономного електротранспорту живиться від енергомережі змінного струму. При досить поширеній інфраструктурі електромереж вже зараз виникають проблеми при встановленні зарядних станцій, їхньому підключенні і забезпеченні необхідним запасом потужності [7, 8]. До супутніх проблем при живленні від мережі змінного струму також належать: підключення ЗП до мережі в житлових мікрорайонах; прокладання додаткових кабелів для підключення на міжміських автомобільних дорогах; встановлення додаткових розподільних підстанцій у межах міста; виникнення додаткових проблем при експлуатації ЗП, пов'язаних із забезпеченням у мережі електромагнітної сумісності (ЕМС); збільшення шкідливих викидів на ТЕЦ при збільшенні вироблення електроенергії для заряду ЕМ.

Багатоох перерахованих вище проблем дозволяє уникнути технологія зарядження електромобілів від зарядних станцій з відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ).

З огляду на швидкі темпи приросту об'єктів відновлюваної енергетики, з одного боку, і не менш стрімкий розвиток приросту електромобілів, з іншого, стає актуальним питання розвитку інфраструктури зарядних станцій, які зможуть заряджати акумуляторні батареї від установок на основі фотобатарей і віт-

роагрегатів як стандартними, так і новими способами швидкого зарядження. При цьому така інфраструктура може виявитися найбільш доцільною при міжміських поїздках на електромобілях [9, 10].

Станом на сьогодні робота таких зарядних станцій на основі ВДЕ досліджена не в повній мірі, що пояснюється відсутністю єдиних підходів до режимів роботи відновлюваного джерела енергії в залежності від ємності тягових акумуляторних батарей (АБ) електромобілів і методу зарядження АБ при врахуванні випадкового характеру вироблення електроенергії і т.п. Це, у свою чергу, вимагає виконання досліджень режимів роботи зарядних станцій на основі двох або більше відновлюваних джерел з метою визначення раціональних режимів роботи систем даного типу. Зокрема, одним із завдань є визначення потужності ФЕБ (фотоелектрична батарея) і ВЕУ (вітроелектрична установка), а також буферних накопичувачів в залежності від енергоємності акумуляторної батареї електромобіля і необхідного часу заряду [5, 6].

Метою роботи є аналіз проблем сучасних зарядних інфраструктур електромобілів від мережі змінного струму, які в деяких випадках можуть бути усунені шляхом застосування зарядження від відновлюваних джерел енергії, отримання аналітичних співвідношень потужності первинного джерела та визначення характеру і діапазону зміни величини зарядного струму та потужності джерела живлення від енергоємності акумуляторної батареї, а також скорочення часу процесу зарядження.

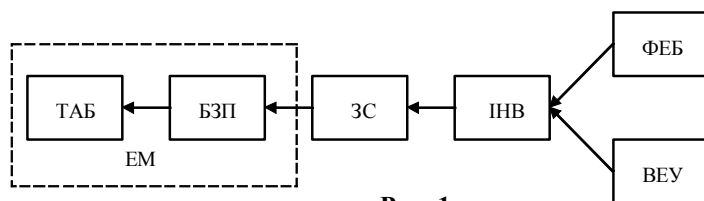


Рис. 1

Розглянемо стандартний заряд змінним струмом. Функціональна схема зарядної станції представлена на рис. 1, де ФЕБ – фотоелектрична батарея; ВЕУ – вітроелектрична установка; ІНВ – інвертор; ЗС – зарядна станція; ЕМ – електромобіль; БЗП – бортовий зарядний пристрій; ТАБ –

тягова акумуляторна батарея.

Потужність генеруючого устаткування на основі ВДЕ, необхідна для зарядження електромобіля, визначається за виразом

$$D_2 = \frac{D_1}{\eta_{i\bar{a}}} \geq \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\eta_{i\bar{a}}}, \text{ де } P_1 - \text{потужність зарядного пристрою електромобіля; } P_2 - \text{потужність фотобатареї або вітрогенератора; } \eta_{i\bar{a}} - \text{ККД інвертора.}$$

На рис. 2 показано графік зміни потужності зарядної станції заряду АБ електромобіля стандартним методом (від джерела змінного струму). Тут: P_1 – потужність зарядного пристрою електромобіля, необхідна для зарядження АБ номінальним струмом I_H (стандартний заряд); t_H – номінальний час заряду струмом I_H . Номінальний струм заряду визначається при ємності акумуляторної батареї $0,1C$, де C – встановлена ємність АБ.

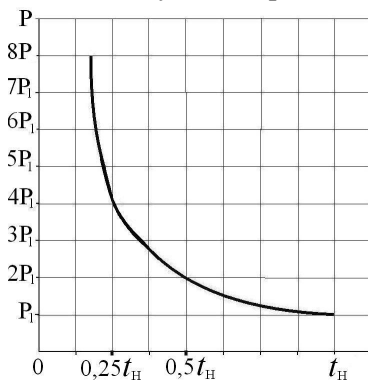


Рис. 2

Як видно з графіка, зміна величини потужності, яку необхідно забезпечити для зарядження АБ, носить нелінійний характер, і величина її значно зростає із зменшенням часу зарядження. При цьому збільшується потужність бортового зарядного пристрою, встановленого на електромобілі. На практиці у сучасних електромобілях ця потужність не перевищує $3P$.

Розглянемо швидке зарядження постійним струмом. Функціональну схему зарядної станції показано на рис. 3, де БН – буферний накопичувач – акумуляторні батареї або суперконденсатори (СК); СШЗ – станція швидкого заряду.

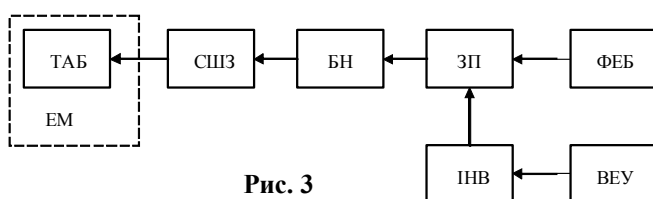


Рис. 3

При зарядженні через накопичувач перш за все необхідно визначити його енергоємність Q_H , яка забезпечить повне зарядження акумуляторної батареї електромобіля

$$Q_H = \frac{Q_{AB}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3},$$

де η_1 – ККД накопичувача при розряді; η_2 – ККД зарядного пристрою ЕМ; η_3 – ККД акумуляторної батареї ЕМ при заряді. Звідси час зарядження накопичувача $t = Q_{AA} (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 \cdot P)^{-1}$.

Співвідношення, що визначає енергоємність накопичувача у складі відновлюваних джерел енергії, отримані для швидкого зарядження постійним струмом одного електромобіля, повинні бути відповідно скориговані при зарядженні кількох електромобілів, як показано вище при заряді змінним струмом. При відомій енергоємності акумуляторної батареї електромобіля задається або величина потужності ВЕУ (P_2), або час прискореного заряду (t).

На рис. 4 показано, як приклад, залежності часу швидкого зарядження бортової акумуляторної батареї електромобіля від величини зарядного струму для найбільш вживаних на сучасних електромобілях літєвих акумуляторних батарей енергоємністю 30, 60, 90 кВт·год, напругою 300 і 600 В. При побудові цих графіків за початковий струм заряду приймається зарядний струм відновлення повної ємності акумуляторної батареї електромобіля протягом години, який визначається її енергоємністю та напругою. Сучасні літєві АБ допускають прискорення заряду струмом, який визначається ємністю АБ до 3С.

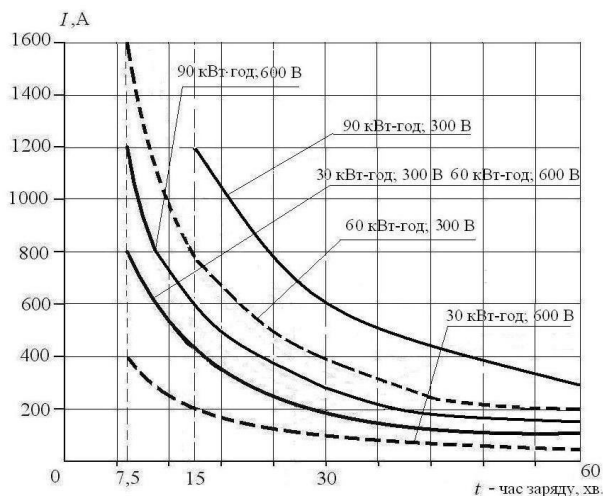


Рис.4

З графіків видно, що при зменшенні часу заряду струм джерела енергії і зарядний струм акумуляторної батареї може досягати значної величини, яка перевищує допустимі значення, що вимагає ретельного конструктивного опрацювання зарядного пристрою і організації режиму прискореного зарядження.

Висновки. Виходячи з того, що застосування відновлюваних джерел енергії для зарядження АБ електромобілів є доцільним, а в певних умовах – найбільш прийнятним при створенні розгалуженої зарядної інфраструктури, актуальними стають питання раціональної реалізації цього процесу.

Отримані в роботі співвідношення дозволяють при відомих коефіцієнтах корисної дії всіх процесів визначити потужності первинних джерел енергії,

у тому числі ВЕУ і ФЕБ, від енергоємності АБ електромобіля та буферного накопичувача енергії або час зарядження ЕМ. Слід зазначити, що на ці параметри впливають зовнішні умови, в яких працюють відновлювані джерела енергії (географічне розташування, час року, час доби і т.п.), а також одночасна або роздільна робота ФЕБ і ВЕУ та вплив накопичування зовнішньої енергії під час процесу зарядження АБ, що необхідно враховувати при створенні та експлуатації конкретних систем.

1. Шидловський А.К., Павлов В.Б. Особенности создания и эксплуатации внутригородского электромобильного транспорта // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2014. – № 39 – С. 99–105.

2. Шидловський А.К., Павлов В.Б., Павленко В.Е. Анализ зависимости КПД комбинированной системы энергопитания от параметров управления // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 5. – С. 29–31.

3. Akhavan-Rezaei, E., Shaaban, M., El-Saadany, E., Karray, F. Demand response through interactive incorporation of plug-in electric vehicles / Power Energy Society General Meeting, 2015 IEEE. – 2015. – Pp. 1–5.

4. Biernat, P., Rumniak, P., Michalczyk, M., Galecki, A., Grzesiak, L., Ufnalski, B., and Kaszewski, A. Power-train system with the ultracapacitor-based auxiliary energy storage for an urban battery electric vehicle // The Archives of Transport. – 2013. – No 3–4. – Vol. 27–28. – Pp. 45–64.

5. Carter, R., Cruden, A., and Hall, P. Optimizing for efficiency or battery life in a battery/supercapacitor electric vehicle // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2012. – No 4. – Vol. 61. – Pp. 1526–1533.

6. Michalczyk, M., Grzesiak, L., and Ufnalski, B. Experimental parameter identification of battery-ultracapacitor energy storage system // 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. – 2015. – Pp. 1260–1265.

7. Michalczyk, M., Ufnalski, B., Grzesiak, L.M., and Rumniak, P. Power converter-based electrochemical battery emulator // Przegląd Elektrotechniczny. – 2014. – Vol. 90. – No 7. – Pp. 18–22.

8. Reininger, C. and Salmon, J. Systems feasibility study for implementing electric vehicles into urban environments / 2015 9th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Vancouver, Canada. – 2015. – Pp. 734–739.

9. Wang, T., Deng, W., Wu, J., and Zhang, Q.: Power optimization for hybrid energy storage system of electric vehicle // Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2014 IEEE Conference and Expo, Beijing, China. – 2014. – Pp. 1–6.

10. Global EV Outlook 2016 / International Energy Agency / Интернет ресурс. Режим доступа: www.iea.org

11. International standard “IEC 62196-1” Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles / Typeset and printed by the IEC Central Office Geneva, Switzerland. – ICS 29.120.30; 43.120.

УДК 621.314

ЗАРЯД ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В.Б. Павлов¹, докт.техн. наук, В.И. Будько², канд.техн.наук

¹ – Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев, 03657, Украина, e-mail: mobil99@ied.org.ua

² – Национальный технический университет Украины «КПИ»,

пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина.

В работе рассматриваются различные аспекты заряда электромобилей от электрической сети и приведены факторы возможного отрицательного влияния на электрические сети при подключении и эксплуатации зарядных устройств различной мощности, в том числе при ускоренном заряде. Показано, что в некоторых случаях заряд электромобилей от возобновляемых источников питания более предпочтителен, а иногда не имеет альтернативы. Получены аналитические соотношения для определения необходимых характеристик возобновляемых источников питания, и показан характер изменения и граничные значения токов заряда и необходимой мощности при уменьшении времени зарядного процесса. Библи. 11, рис. 4.

Ключевые слова: электротранспорт, электромобиль, зарядное устройство, возобновляемые источники энергии.

CHARGING OF ELECTRIC VEHICLES FROM RENEWABLE ENERGY SOURCES

V.B. Pavlov¹, V.I. Budko²

¹ – Institute of Electrodynamics National Academy of Sciences of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03657, Ukraine, e-mail: mobil99@ied.org.ua

² – National Technical University of Ukraine “KPI”,

pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

Various aspects of the charge of electric vehicles from power networks are considered. The factors of possible negative effect on electric networks during connection and operation of chargers of different power, including fast rate charge, is given. It is shown that in some cases the charge of electric vehicles from renewable power sources is more preferable, and sometimes has no alternative. Analytical relations are obtained for determining the required characteristics of renewable power sources. The character of the changes and the limit values of the charge currents and the required power of the network for reduced charging time are shown. References 11, figures 4.

Key words: electric transport, electric vehicle, charger, renewable energy sources.

1. Shidlovskii A.K., Pavlov V.B. Features of creation and operation of intracity electromobile transport // Pratsi Instytutu Elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy. – 2014. – No 39. – Pp. 99–105. (Rus)

2. Shidlovskii A.K., Pavlov V.B., Pavlenko V.E. The analysis of the relation of combined system power supplies efficiency with control parameters // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2016. – No 5. – Pp. 29–31. (Rus)

3. Akhavan-Rezai, E., Shaaban, M., El-Saadany, E., Karray, F. Demand response through interactive incorporation of plug-in electric vehicles / Power Energy Society General Meeting, 2015 IEEE. – 2015. – Pp. 1–5.

4. Biernat, P., Rumniak, P., Michalczyk, M., Galecki, A., Grzesiak, L., Ufnalski, B., and Kaszewski, A. Powertrain system with the ultracapacitor-based auxiliary energy storage for an urban battery electric vehicle // The Archives of Transport. – 2013. – No 3–4. – Vol. 27–28. – Pp. 45–64.

5. Carter, R., Cruden, A., and Hall, P. Optimizing for efficiency or battery life in a battery/supercapacitor electric vehicle // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2012. – No 4. – Vol. 61. – Pp. 1526–1533.

6. Michalczyk, M., Grzesiak, L., and Ufnalski, B. Experimental parameter identification of battery-ultracapacitor energy storage system // 2015 IEEE 24th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Buzios, Rio de Janeiro, Brazil. – 2015. – Pp. 1260–1265.

7. Michalczyk, M., Ufnalski, B., Grzesiak, L.M., and Rumniak, P. Power converter-based electrochemical battery emulator // Przegląd Elektrotechniczny. – 2014. – Vol. 90. – No 7. – Pp. 18–22.

8. Reininger, C. and Salmon, J: Systems feasibility study for implementing electric vehicles into urban environments / 2015 9th Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Vancouver, Canada. – 2015. – Pp. 734–739.

9. Wang, T., Deng, W., Wu, J., and Zhang, Q.: Power optimization for hybrid energy storage system of electric vehicle // Transportation Electrification Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific), 2014 IEEE Conference and Expo, Beijing, China. – 2014. – Pp. 1–6.

10. Global EV Outlook 2016 / International Energy Agency / Интернет ресурс. Режим доступа: www.iea.org

11. International Standard “IEC 62196-1” Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles / Typeset and printed by the IEC Central Office Geneva, Switzerland. - ICS 29.120.30; 43.120.

Надійшла 20.04.2017
Остаточний варіант 10.07.2017