

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕНЕРГИЙНИ ПОТОЦИ ПРИ
ПРИСЪЕДИНЯВАНЕ НА ЗАРЯДНИ СТАНЦИИ****Гергана Вачева^{1*}, Пламен Станчев², Николай Хинов¹**

¹Технически университет София, кат. Силова електроника,, бул. Климент Охридски 8,
гр. София, България, gergana_vacheva@tu-sofia.bg, hinov@tu-sofia.bg

² Технически университет София, кат. Информационни технологии в индустрията,,
бул. Климент Охридски 8, гр. София, България, p.stanchev@tu-sofia.bg

*кореспондиращ автор: gergana_vacheva@tu-sofia.bg

**INVESTIGATION OF ENERGY FLOWS FOR CONNECTING
CHARGING STATIONS****Gergana Vacheva^{1*}, Plamen Stanchev², Nikolay Hinov¹**

¹Technical University of Sofia, Department of Power electronics, blvd. Kliment Ohridsky 8,
Sofia, Bulgaria;

² Technical University of Sofia, Department of Information technology in industry,, blvd.
Kliment Ohridsky 8, Sofia, Bulgaria;

*Corresponding author: gergana_vacheva@tu-sofia.bg

Abstract

The introduction of electric vehicles (EVs) as an alternative to conventional cars presents new challenges for power grids, particularly in terms of managing and balancing energy flows when connecting EV charging stations. This paper examines the opportunities and challenges of integrating EV charging stations into existing power networks and analyzes the efficiency of various energy flow management schemes. The study includes simulations and experiments with different load-balancing methods, including smart management, time-based charging profiles, and the integration of renewable energy sources. The results demonstrate how optimizing energy flows can improve the efficiency and reliability of the power grid, as well as reduce costs and environmental impact. This paper provides a foundation for further research and development in EV power grids and the sustainable management of charging infrastructure.

Keywords: charging station, energy flows, efficiency, stability analysis.

ВЪВЕДЕНИЕ

С нарастващото търсене на устойчиви транспортни решения електрическите превозни средства (ЕПС) се утвърждават като важен компонент от модерните транспортни системи. Преходът към електромобилност обаче изисква значителна промяна в електрическата инфраструктура, особено по отношение на инсталирането и управлението на зарядни станции за ЕПС. Все повече зарядни станции се свързват към енергийните мрежи, което създава нови предизвикателства за тяхното балансиране, ефек-

тивност и устойчивост [1,2]. Основната цел на това изследване е да анализира енергийните потоци при свързването на зарядни станции и да предложи решения за оптимизиране на тяхното управление в различни сценарии [3,4].

Свързването на зарядни станции за ЕПС към съществуващата електрическа мрежа влияе не само върху локалното натоварване, но и върху цялостното състояние на мрежата. Концентрираните точки на зареждане създават високи пикове на потребление, което може да доведе до пренатоварване, загуби на енергия и високи експлоатационни разходи

[5,6]. В отговор на тези предизвикателства, иновативни подходи като смарт мрежи и управление на зареждането в реално време, са от съществено значение за поддържането на стабилността и ефективността на електрическите мрежи. Смарт управлението позволява оптимизиране на времевите профили на зареждане в зависимост от моментното състояние на мрежата и предпочитанията на потребителите, което значително намалява риска от пикове на потребление [7,8].

Допълнително, интегрирането на възобновяеми енергийни източници като слънчеви и вятърни станции в процеса на зареждане на ЕПС предоставя възможност за намаляване на въглеродния отпечатък и разходите за енергия. Въпреки това, възобновяемите източници са непостоянни и изискват допълнителни мерки за контрол и предсказуемост, за да могат да бъдат надеждно интегрирани в мрежата [6,9].

Тази статия се фокусира върху изследването на различни методи за управление на енергийните потоци при свързването на зарядни станции. Чрез симулации и реални тестове ще бъдат оценени ефективността и икономическите ползи от различни схеми за баланс на

сти в управлението на зарядната инфраструктура за електрически превозни средства, както и да предложи стратегически насоки за оптимизиране на енергийните потоци, които да спомогнат за ефективно и екологично устойчиво развитие на електромобилността.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В изследването се използват три зарядни станции с различни мощности ($P_1=25\text{ kW}$, $P_2=30\text{ kW}$ и $P_3=50\text{ kW}$), присъединени към мрежа с номинално напрежение от 0,4 kV. Чрез симулационни модели се изследва въздействието на тези станции върху мрежата при различни сценарии на зареждане. Изследвани са параметри като активна и реактивна мощност, токове в различните точки от мрежата и коефициента на мощност ($\cos\phi$). Изводите от симулациите показват как динамичното разпределение на натоварването може да повлияе на ефективността и стабилността на мрежата, особено в пикови моменти на зареждане.

На Фиг. 1. е представена блоковата схема на изследвания случай. Към разпределителната мрежа са присъединени три зарядни станции на ниско напреже-



Фиг. 1. Блокова схема на изследваната мрежа[1]

натоварването. Освен това ще се разгледат потенциалните екологични ползи от внедряването на устойчиви методи за зареждане [10,11].

Това изследване има за цел да предостави задълбочен анализ на съществуващите предизвикателства и възможно-

ние.

На Фиг. 2 е представена симулационната схема на изследвания случай. Също така, на фигурата са представени и резултатите при изчисление на енергийните потоци. Освен това могат да се наблюдават и загубите в проектираните линии.

Фигурата илюстрира електрическа мрежа с номинално напрежение от 0,4 kV и показва свързването на различни натоварвания и точки в системата, включително зарядни станции и електрически компоненти. В тази конфигурация са представени различни стойности на активна и реактивна мощност, ток и загуби в мрежата, които дават представа за енергийните потоци и ефективността на мрежата при различни натоварвания. Ето основните елементи, представени на фигурата:

Точка F-16:

$S=106.357$ kVA, $P=106.354$ kW, $Q=0.791$ kvar, $I=0.154$ kA – Това е основният захранващ източник в мрежата, осигуряващ мощност към останалите точки. Отбелязано е, че този източник има коефициент на мощност (PF) от 1, което означава, че работи с минимална реактив-

Точка L-77:

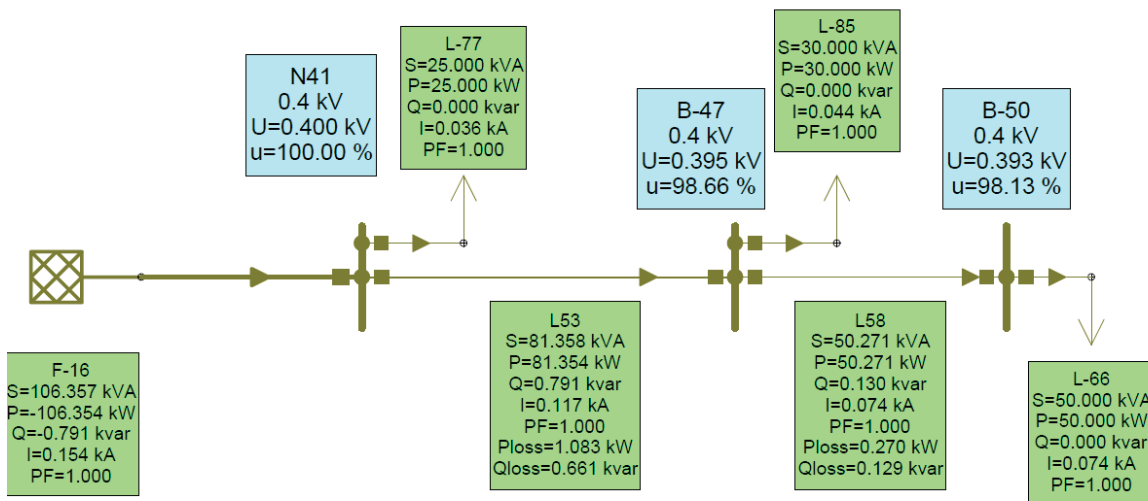
$P=25$ kW, $Q=0$ kvar, $I=0.036$ kA – Това натоварване е с активна мощност от 25 kW и работи с пълна ефективност (PF=1), без да генерира реактивна мощност. Тази точка показва как натоварвания с различна мощност оказват влияние върху мрежата.

Точка B-47:

$U=0.395$ kV, $u=98.66\%$ – Тази точка е след L-77 и има лек спад на напрежението, което е 98.66% от номиналното напрежение. Това намаление е нормално за системи с натоварване и показва загубите поради съпротивлението в мрежата.

Точка L-85:

$P=30$ kW, $Q=0$ kvar, $I=0.044$ kA – Това е второ натоварване (зарядна станция или друг потребител) с активна мощност от 30 kW и без реактивна мощност. Както и при предишните точки, тази работа



Фиг. 2. Мрежа ниско напрежение с присъединени зарядни станции

на мощност и пълно използване на активната мощност.

Точка N41:

$U=0.400$ kV с напрежение $u=100\%$ – Това е първата точка след основния източник (F-16) с номинално напрежение 0,4 kV и пълна стойност на напрежението. Свързана е с натоварване L-77 (зарядна станция или друг елемент с активна мощност).

с коефициент на мощност 1 (PF=1) оптимизира използването на активна мощност.

Точка B-50:

$U=0.393$ kV, $u=98.13\%$ – Това е следваща точка в системата, където се наблюдава по-нататъшно намаление на напрежението до 98.13% от номиналното. Това напрежение е понижено спрямо

началното, показвайки загубите в системата поради преноса на енергия.

Точка L-66:

$P=50 \text{ kW}$, $Q=0 \text{ kvar}$, $I=0.074 \text{ kA}$ – Тази точка представлява зарядна станция или натоварване с активна мощност от 50 kW и нулева реактивна мощност. В сравнение с предходните точки, тази станция е най-мощната и оказва по-голямо влияние върху натоварването на мрежата.

Допълнителни точки L53 и L58:

L53 и L58 представляват елементи от мрежата с мощност от 81.358 kVA и 50.271 kVA съответно. Те имат стойности на загуби на активна и реактивна мощност (P_{loss} и Q_{loss}), които показват разходите при преноса на енергия. Например, при L53 активната загуба е 1.083 kW, а при L58 е 0.270 kW, което показва загубите при всяка точка.

Фигурата ясно демонстрира динамиката на напрежението и разпределението на мощността в различни точки на мрежата при свързване на зарядни станции и други потребители. Намалението на напрежението между точките показва ефекта на натоварването и загубите в мрежата. Коефициентът на мощност $PF=1$ за всички точки предполага, че системата е оптимизирана за активна мощност без реактивни компоненти, което подобрява ефективността на преноса и минимизира загубите.

За измеряване на основните параметри в изследваната мрежа са използвани следните математически изрази:

$$I_{i-j} = \frac{P_{i-j}}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi} \quad (1)$$

$$\Delta U = \frac{P_{i-j} I_{i-j} (r_0 + x_0 \tan \varphi)}{U_n} \quad (2)$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_n} 100\% \quad (3)$$

Където:

- I_{i-j} са токовете между възел i и j ;
- P_{i-j} са мощностите между i и j ;
- l_{i-j} е дължината на линията между i и j ;

- ΔU пад на напрежение;
- r_0 и x_0 специфични съпротивления за km;
- U_n номинално напрежение;
- $\Delta U\%$ допустим пад на напрежение.

В Таблица 1 и Таблица 2 са представени данни за изследваната мрежа.

Тази таблица съдържа данни за активната мощност (P), тока (I) и коефициента на мощност ($\cos \varphi$) за различни точки от мрежата (L-66, L-77 и L-85). Тези параметри позволяват анализ на текущото натоварване в системата и показват как различните точки са засегнати от свързаните зарядни станции. Например, точката L-66, с активна мощност от 50 kW, има по-висок ток ($I=72.17 \text{ A}$) в сравнение с точките L-77 и L-85. Това показва влиянието на мощността върху интензивността на тока в различни точки от мрежата, което е важно за оценка на възможни загуби и устойчивостта на мрежата.

Таблица 1.

Име	P[kW]	I[A]	cosφ
L-66	50	72.17	1
L-77	25	36.08	1
L-85	30	43.3	1

Тази таблица представя информация за активната и реактивната мощност (P и Q) за различни елементи от мрежата, като например елемента F-16. Данните в таблицата (например $P=0.106354 \text{ MW}$ и $Q=0.000791 \text{ MVar}$) дават по-ясна представа за разпределението на енергийните потоци и как те се влияят от наличието на зарядни станции. С тази информация е възможно да се направи по-дълбок анализ на реактивната мощност в системата, което е от съществено значение за минимизиране на загубите и повишаване на ефективността на мрежата.

Таблица 2.

Име	P[MW]	Q[MVar]
F-16	0.106354	0.000791

Фигура 2 демонстрира динамиката на напрежението и разпределението на мощността в различни точки на мрежата при свързване на зарядни станции и други потребители. Намалението на напрежението между точките показва ефекта на натоварването и загубите в мрежата. Коефициентът на мощност $PF=1$ за всички точки предполага, че системата е оптимизирана за активна мощност без реактивни компоненти, което подобрява ефективността на преноса и минимизира загубите.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването демонстрира значението на ефективното управление на енергийните потоци при присъединяване на зарядни станции за електрически превозни средства към съществуващата електрическа мрежа. Чрез проведените симулации и анализи беше установено, че различните конфигурации и мощности на зарядните станции оказват значително влияние върху напрежението, стабилността и ефективността на системата. По-конкретно, резултатите показват, че оптимизацията на времевите профили на зареждане, интелигентното управление и интеграцията на възобновяеми енергийни източници могат да намалят загубите, да повишат ефективността и да минимизират разходите.

Представените данни и фигури илюстрират как натоварванията в различни точки от мрежата създават загуби, които влияят на напрежението в системата. Намалението на напрежението в различните възли подчертава необходимостта от интелигентни решения за баланс на натоварването, които да поддържат мрежата в стабилно състояние при пикови моменти на зареждане.

Това изследване предоставя основа за бъдещи разработки и подобрения в управ-

влението на зарядната инфраструктура за ЕПС и предлага практически насоки за интеграция на устойчиви решения в електроенергийните мрежи.

Източник на финансиране: Това изследване е финансирано от Национален фонд „Научни изследвания“, договор номер КП-06-Н57/7/16.11.2021 г.

Благодарности: Това изследване е извършено в рамките на проект „Моделиране, проектиране, управление и експлоатация на силови електронни устройства и системи с използване на изкуствен интелект“, КП-06-Н57/7/16.11.2021 г., Национален фонд „Научни изследвания“.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://www.se.com>
- [2] F. A. Ai Yaoyao, S. B. Li Xiangjun, T. C. Han Xiaojuan and F. D. Jia Xuecui, "Capacity Configuration and Economic Evaluation of Grid-Connected PV and Energy Storage Charging Station," *2018 China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Tianjin, China, 2018, pp. 3304-3308, doi: 10.1109/CICED.2018.8592051.
- [3] Y. Zhang, T. Li, S. Wang, L. Jiang, W. Han and X. Diao, "Safety Assessment of Charging Stations Connected to the Power Grid Considering Distribution Network Constraints," *2020 IEEE 4th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*, Wuhan, China, 2020, pp. 2852-2857, doi: 10.1109/EI250167.2020.9347268.
- [4] P. K. Kanth, P. Kumar Tiwari and N. Boda, "A Control Scheme for Grid Connected Solar Powered EV Charging Station With Hybrid Energy Storage System," *2023 IEEE Silchar Subsection Conference (SILCON)*, Silchar, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SILCON59133.2023.10405219.
- [5] M. Fatnani, D. Naware and A. Mitra, "Design of Solar PV Based EV Charging Station with Optimized Battery Energy Storage System," *2020 IEEE First International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and*

- Control (STPEC)*, Nagpur, India, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/STPEC49749.2020.9297719.
- [6] A. Verma and B. Singh, "An Implementation of Renewable Energy Based Grid Interactive Charging Station," *2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)*, Detroit, MI, USA, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ITEC.2019.8790455.
- [7] M. Prasad, A. P. Singh and Y. Kumar, "Solar based grid integrated EV charging station with energy storage system," *2023 IEEE Renewable Energy and Sustainable E-Mobility Conference (RESEM)*, Bhopal, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/RESEM57584.2023.10236129.
- [8] G. Caneponi, F. Cazzato, M. Di Clerico, S. Cochi, M. C. Falvo and M. Manganelli, "EVs charging stations in active distribution grids: A real case-study of smart integration," *2016 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Capri, Italy, 2016, pp. 1133-1137, doi: 10.1109/SPEEDAM.2016.7526035.
- [9] P. Shukl and B. Singh, "Distributed Energy Resources Based EV Charging Station With Seamless Connection to Grid," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 59, no. 3, pp. 3826-3836, May-June 2023, doi: 10.1109/TIA.2023.3239583.
- [10] M. Mounica, B. Rajpathak, M. L. Kolhe, S. K. Kotha and K. R. Naik, "Grid-Connected DC Electric Vehicle Charging Station Integrated with Solar PV," *2024 IEEE 4th International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)*, Hyderabad, India, 2024, pp. 1-6, doi: 10.1109/SEFET61574.2024.10718268.
- [11] R. Chakraborty and U. Das, "Planning of Renewable Integrated EV Charging Station in Radial Distribution Network," *2023 IEEE Renewable Energy and Sustainable E-Mobility Conference (RESEM)*, Bhopal, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/RESEM57584.2023.10236174.