

Jozef Király

Vplyv AC nabíjacích staníc elektromobilov na asymetriu napätia v sieti

Článok sa zaoberá úvodom do problematiky výstavby AC nabíjacích staníc a jej vplyvu na napätovú asymetriu v dôsledku využitia týchto nabíjacích staníc a palubných nabíjačiek elektrických vozidiel. Nabíjanie elektrických vozidiel je všeobecne popísané, spolu s prehľadom zastúpenia jednotlivých typov nabíjacích staníc na území SR. Vplyv napätovej asymetrie je demonštrovaný na simulácii testovacej distribučnej siete reprezentovanej sústavou zdrojov, odberných miest a nabíjacích staníc.

Kľúčové slová: AC nabíjanie elektrických vozidiel; AC nabíjacie stanice; napätová asymetria

The article addresses an introduction to the issue of constructing AC charging stations and their impact on voltage asymmetry caused by the use of these stations and onboard chargers of electric vehicles. The charging process of electric vehicles is generally described, along with an overview of the distribution of various types of charging stations within the Slovak Republic. The effect of voltage asymmetry is demonstrated through a simulation of a test distribution network represented by a system of sources, consumption points, and charging stations. **(The Impact of EV AC Charging Stations on Voltage Asymmetry in the Grid)**

Keywords: AC Charging of Electric Vehicles; AC Charging Stations; Voltage Asymmetry

I. ÚVOD

Rozšírenie elektrických vozidiel spolu s významným nasadzovaním obnoviteľných zdrojov prináša do oblasti elektroenergetiky nové výzvy z pohľadu zabezpečenia kvalitnej a stabilnej dodávky elektrickej energie odberateľom. Nabíjanie elektrických vozidiel či už na verejných nabíjacích staniciach alebo na rezidenčných nabíjacích staniciach môže mať za následok okrem iného zmenu typického zaťaženia v distribučných sieťach. Miera tohto vplyvu je daná najmä typom použitých nabíjacích staníc a rovnako typom vozidiel ktoré túto stanicu využívajú. Práve použitie AC nabíjacích staníc spolu s vozidlami, ktorých palubné nabíjačky batérii sú určené pre napájanie, jednou, resp. dvoma fázami je možný vplyv vyvolanej asymetrie v distribučnej sieti predpokladateľný. Cieľom tejto publikácie je indikovať pravdivosť tohto tvrdenia demonštráciou na matematickom modeli.

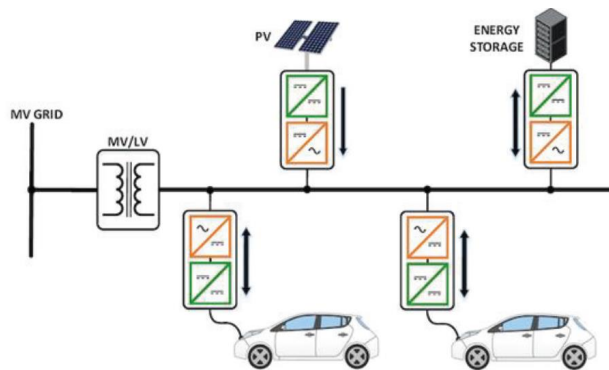
II. TYPY NABÍJANIA ELEKTRICKÝCH VOZIDIEL

SPÔSOB NABÍJANIA VŠEOBECNE

Nabíjanie elektrických vozidiel môže prebiehať v dvoch režimoch. V prvom režime pri jednosmernom nabíjaní je batéria vozidla pripojená priamo k nabíjacej stanici, pričom sa nevyužíva palubná nabíjačka vozidla. Vplyv na sieť je teda definovaný vlastnosťami nabíjacej stanice.

V prípade nabíjania elektrického vozidla prostredníctvom AC nabíjacej stanice sa batéria vozidla nabíja priamo palubnou nabíjačkou vozidla. V tomto prípade je vplyv na distribučnú sieť reprezentovaný práve vlastnosťami tejto nabíjačky. V závislosti od typu vozidla (plug-in hybridné elektrické vozidlo, elektrické vozidlo) sa teda najčastejšie jedná o nabíjačky od 3,6kW, 7,2kW až po 11kW. V závislosti od výkonu palubnej nabíjačky môžeme teda hovoriť o nabíjačkách využívajúcich 1,2 resp. 3 fázy.

Práve nasadzovanie AC nabíjacích staníc v rezidenčných oblastiach môže spolu s nasadzovaním malých obnoviteľných zdrojov energie vo forme fotovoltaických elektrární s jednofázovými striedačmi spôsobiť nesúmerné zaťažovanie trojfázovej siete a tak vytvárať napätovú asymetriu.



Obr. 1. Schematické znázornenie siete s nabíjacími stanicami a OZE [1].

Osobitnou časťou sú nabíjacie stanice s obojsmernou prevádzkou, kedy sa pripojené vozidlo do siete prostredníctvom nabíjacej stanice stáva rovnako batériovým úložiskom. V takom prípade môžeme rovnako uvažovať s možnou vznikajúcou asymetriou výkonov dodávaných do siete vo vzťahu k záťažiam do jednotlivých fáz, avšak vzhľadom na zatiaľ vysoké obstarávacie náklady na 1kWh batériového úložiska vo forme elektrického vozidla spolu s faktorom degradácie batérie vyplývajúcej zo spôsobu využívania momentálne neindikujú široké nasadenie tejto technológie ktoré by mohlo mať negatívny vplyv na lokálnu kvalitu elektrickej energie v distribučnej sieti. Samozrejme, v prípade ak by v budúcnosti došlo k masívnemu rozšíreniu a pripájania vozidiel do siete v tomto režime, bolo by nutné venovať časť výskumu aj tejto časti. [1] [2] [3]

TYPY NABÍJANIA

Pri nabíjaní elektrických vozidiel v distribučnej sieti s napätím 230V/400V sa používajú tieto typy nabíjačiek:

AC Level 1 - Tento základný typ nabíjačky pracuje pri domácom napätí 230V a poskytuje výkon okolo 2.3 kW. Plné nabitie batérie môže trvať od 8 do 24 hodín, v závislosti od kapacity batérie.

AC Level 2 - Tento typ nabíjačky taktiež pracuje na napätí 230V, ale poskytuje vyšší výkon, ktorý sa môže pohybovať v rozmedzí 3.7 až 22 kW. Je vhodný pre domáce alebo verejné nabíjacie stanice a môže nabiť vozidlo za 3 až 8 hodín.

DC Fast Charging - Rýchlonabíjačky, ktoré používajú jednosmerný prúd (DC), môžu nabíjať výkonom od 50 kW a viac, pričom niektoré novšie modely dosahujú až 350 kW. Tieto stanice môžu nabiť 80% batérie za menej ako 30 minút a bežne pracujú na vyšších napätiach nad 400V. [4] [5] [6]

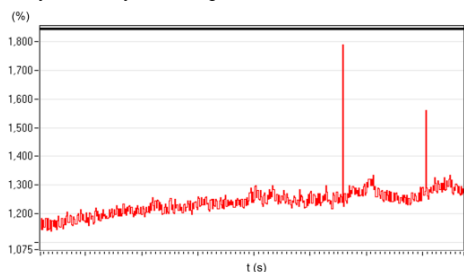
TABUĽKA I
Sumár typov nabíjania

Typ nabíjačky	Napätie	Výkon	Odhadovaný čas nabíjania
AC Level 1	230V	2.3 kW	8-24 hodín
AC Level 2	230V	3,7-22 kW	3-8 hodín
DC Fast Charge	400V	50-350 kW resp. viac	Menej ako 30 minút

NAPĚŤOVÁ ASYMETRIA

Kvalita elektrickej energie je kritickým faktorom pre optimálnu funkciu a životnosť elektrických zariadení. Norma STN EN 50160, ktorá definuje parametre kvality elektrickej energie distribuované vo verejných rozvodných sieťach na úrovniach nízkeho a rovnako vysokého napätia, stanovuje jasné limity pre rôzne parametre, vrátane napät'ovej asymetrie v sieti. Táto asymetria je obzvlášť relevantná v prípade rozšíreného nasadenia jednofázových a dvojfázových palubných nabíjačiek, ktoré sú často implementované v osobných elektrických vozidlách.

Napät'ová asymetria, spôsobená predovšetkým disproportným rozložením jednofázových záťaží, predstavuje percentuálny rozdiel medzi fázovými napätiami, a je vyjadrená koeficientom napät'ovej asymetrie. Významná asymetria môže viesť k nežiaducim harmonickým deformáciám, osciláciám napätia a celkovej nestabilite distribučnej siete, čo môže mať za následok nielen skrátenie životnosti zariadení, ale aj zvýšené straty a potenciálne výpadky napájania. V súlade s normou STN EN 50160, maximálne povolené hodnoty pre krátkodobú napät'ovú asymetriu sú limitované na 3%, zatiaľ čo dlhodobá asymetria by nemala prekročiť 2%.



Obr. 2. Príklad priebehu napät'ovej asymetrie v distribučnej sieti.

III. SIMULOVANÁ SIET'

Pre interpretáciu napät'ovej asymetrie vplyvom nabíjania elektromobilov bola vykonaná simulácia časti distribučnej siete.

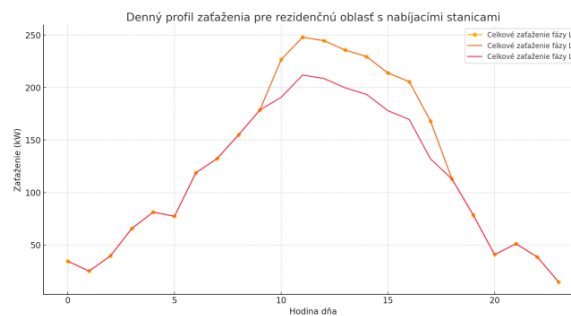
Distribučná sieť pozostávala z týchto komponentov:

- Napájací distribučný systém 22 kV - Tento systém slúži ako hlavný zdroj elektrickej energie pre celú sieť a je navrhnutý pre stredné napätie, typicky používané pre distribučné siete.
- Distribučný transformátor 22/0,4 kV - Tento transformátor reprezentuje štandardný distribučný transformátor z 22 kV na 0,4 kV, čo umožňuje bezpečné a efektívne rozdelenie elektrickej energie do lokálnych nízkonapät'ových rozvodov. S jeho pomocou sa elektrická energia prispôbuje požiadavkám koncových používateľov, ako sú domácnosti a malé podniky.
- Sieť 20 AC nabíjacích staníc - Tieto stanice sú pripojené k sieti prostredníctvom fázy L1 a každá nabíjacia stanica má výkon 7,2 kW. Spolu teda pridávajú do siete značnú jednofázovú záťaž 144 kW, ktorá je sústredená v jednej fáze. Toto môže viesť k narušeniu symetrie fázovej záťaže, čo je dôležité brať do úvahy pri plánovaní a riadení siete.
- Ostatná rezidenčná záťaž - Celková záťaž 11 kW je rovnomerne rozložená medzi všetky tri fázy (približne 3,67 kW na každú fázu). Toto symetrické rozloženie pomáha stabilizovať sieť tým, že vyvažuje záťaž pridruženú k nabíjacím staniciam napájaných z fázy L1.

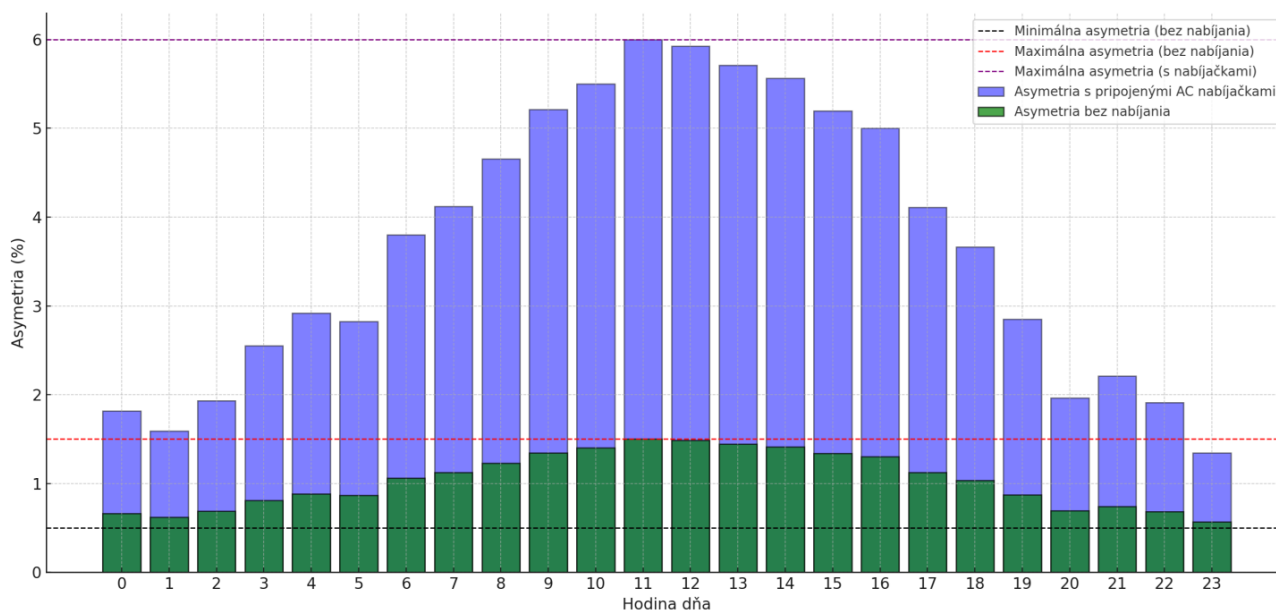
Takáto sieť je charakteristická pre mestské oblasti s intenzívnym využívaním elektrických vozidiel, kde v dôsledku nabíjania týchto vozidiel môže dochádzať k zhoršeniu kvality elektrickej energie z pohľadu napät'ovej asymetrie.

IV. VÝSLEDKY SIMULÁCIÍ

Na obrázku č.3 je uvedený denný diagram zaťaženia pre skúmanú sieť s ktorým bolo uvažované počas simulácie napät'ovej asymetrie. Ako je z obrázku zreteľné, s nabíjaním vozidiel bolo uvažované od 8. hodiny do 16. hodiny.



Obr. 3. Denný diagram zaťaženia skúmanej siete.



Obr. 4. Priebeg asymetrie napätia v skúmanej oblasti s pripojenými vozidlami a bez pripojených vozidiel.

Graf znázorňuje napätovú asymetriu v percentách v sieti počas dňa, pričom zohľadňuje dopad pripojenia nabíjajúcich staníc na fázy L1 a L2 v čase od 8:00 do 16:00. Asymetria sa zvyšuje v tomto časovom rozmedzí v dôsledku rozdielného zaťaženia týchto dvoch fáz spôsobeného nabíjajúcimi stanicami a nabíjaním vozidiel. Táto nerovnováha v záťaži spôsobuje zvýšenie napätovej asymetrie, čo je graficky znázornené. V oblastiach mimo tohto intervalu je asymetria minimálna alebo nulová, ako je znázornené plochým priebehom grafu.

V. ZÁVER

Porovnaním priebehov napätovej asymetrie pre scenáre „s pripojenými AC nabíjačkami“ a „bez nabíjania“ sa ukázalo, že aktivita nabíjajúcich staníc môže výrazne zvýšiť asymetriu v sieti. V prípade pripojenia AC nabíjačiek sa asymetria pohybuje v širšom rozsahu (1% až 6%), pričom maximálne hodnoty v čase špičky môžu dosiahnuť až 6%. Naopak, asymetria bez nabíjania zostáva stabilná v úzkom rozmedzí 0,5% až 1,5%.

Norma STN EN 50 160 stanovuje, že napätová asymetria by nemala prekročiť hodnotu 2% pre distribučné siete nízkeho napätia v dlhodobom horizonte. Výsledky grafov naznačujú, že pripojenie nabíjajúcich staníc môže v určitých časových intervaloch presiahnuť tento limit, čím môže dochádzať k narušeniu kvality elektrickej energie, zvýšeným stratám v sieti a potenciálnemu opotrebeniu elektrických zariadení. Je však nutné poznamenať, že uvedená asymetria je ovplyvnená do značnej miery počtom nabíjajúcich staníc a vzáajným výkonom rezidenčnej záťaže. Z pohľadu dlhodobého výskumu by bolo vhodné analyzovať dáta z reálnej distribučnej siete s dátami z nabíjajúcich staníc a vplyv týchto priebehov.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Agentúra na podporu výskumu a vývoja v rámci projektu APVV-19-0576 "Sebestačnosť elektroenergetiky v podmienkach liberalizovaného trhu s elektrinou".

LITERATÚRA

- [1] F. Heider, A. Jahic, M. Plenz, K. Tröger and D. Schulz, "A generic EV charging model extracted from real charging behaviour," 2022 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET), Arad, Romania, 2022, pp. 393-398, doi: 10.1109/GlobConET53749.2022.9872505.
- [2] M. L. Azad, A. S. Pandey, P. Singh and A. Kumar, "Recent Trends and Challenges In Ev Charging Systems - A Review In Indian Perspective," 2023 10th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON), Gautam Buddha Nagar, India, 2023, pp. 1115-1120, doi: 10.1109/UPCON59197.2023.10434725.
- [3] A. Marinescu *et al.*, "The way to engineering EV wireless charging: DACIA electron," 2017 *Electric Vehicles International Conference (EV)*, Bucharest, Romania, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EV.2017.8242094.
- [4] P. Saranya, K. S. Madhulikha, C. Yamini, P. T. Sri and A. H. Chander, "Design of Grid Independent EV Charging Station," 2021 IEEE International Conference on Intelligent Systems, Smart and Green Technologies (ICISSGT), Visakhapatnam, India, 2021, pp. 144-149, doi: 10.1109/ICISSGT52025.2021.00039.
- [5] Y. Zhang, D. Yu, G. Zhang, H. Wang and J. Zhuang, "Harmonic Analysis of EV Charging Station Based on Measured Data," 2020 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia), Weihai, China, 2020, pp. 475-480, doi: 10.1109/ICPSAsia48933.2020.9208498.
- [6] A. A. Yahaya, A. Edpuganti, V. Khadkikar and H. Zeineldin, "A Novel Simultaneous AC and DC Charging Scheme for Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 39, no. 3, pp. 1534-1546, Sept. 2024, doi: 10.1109/TEC.2024.3381280.

ADRESY AUTOROV

Jozef Király, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jozef.kiraly@tuke.sk