

Analiza uticaja reaktivne snage stanica za EV-a na lokaciju stanica i gubitke energije u distributivnoj mreži

Ana Pavličević i Vladan Durković

Apstrakt— U radu je analiziran uticaj reaktivnih snaga javnih stanica za električna vozila (EV-a) na lokaciju i gubitke energije u distributivnoj mreži. Sprovedena analiza za tri karakteristična načina punjenja EV-a pokazuje značaj dispečinga reaktivnih snaga samih stanica za punjenje vozila. Prikazani rezultati obuhvataju uticaj dnevnog dijagrama javnih stanica za punjenje EV-a i dnevnog dijagrama potrošača. Gubici u slučaju iskorišćenja reaktivnih snaga stanica za punjenje EV-a su upoređeni sa dosadašnjim načinom punjenja koji podrazumijeva da stanice za EV-a troše samo aktivnu snagu.

Ključne riječi—EV; lokacija; gubici; SST.

I. UVOD

Klimatske promjene predstavljaju globalni izazov koji zahtijeva kolektivno djelovanje i međunarodnu saradnju. Prihvatanjem svoje odgovornosti za smanjenje emisije CO2 automobilski sektor ima vodeću ulogu, [1]. Veliki broj zemalja su uspjele da prepoznaju potrebu da putem investicija u infrastrukturu za punjenje električnih vozila promovišu zdraviji transport robe i putnika. Jedna od najvećih prepreka za što uspješniju primjenu električnih vozila jeste ograničen broj dostupnih javnih stanica za punjenje vozila.

Optimizacija rasporeda stanica za punjenje EV-a je u posljednje vrijeme jako aktualna tema u naučnim krugovima, o čemu govori i podatak o rapidnom rastu broja radova objavljenih upravo na ovu temu, [2], [3]. U globalu mogu se izvojiti tri grupe radova, [4]. Prva grupa radova se bazira na saobraćajnom pristupu, i polazi se od već poznatih metoda za planiranje lokacija, prije svega benzinskih pumpi. Jedan od najpopularnijih iz ove grupe je metoda koja se zasniva na što većem obuhvaćenom protoku saobraćaja (flow capturing location model FCLM), [5], [6]. Drugi pristup je “električni pristup” koji se bazira na tome da EV-a kao nova grupa potrošača itekako utiču na energetske sistem, te se stoga pri planiranju stanica za punjenje EV-a mora voditi računa o kapacitetima i ograničenjima mreže, [7], [8]. Treći pristup je kombinacija prethodna dva, gdje se uzimaju u obzir i saobraćajna i električna mreža, [4], [9].

U ovom radu korišćen je “električni pristup”, gdje su izbori javnih stanica za punjenje vozila odabrani sa aspekta

povećanja efikasnosti mreže, tj. smanjenja ukupnih gubitaka, a sama saobraćajna mreža nije uzeta u obzir. Smanjenje gubitaka u elektroenergetskom sistemu u prisustvu stanica za EV-a se postiže na različite načine. Postoji veliki broj radova koji pokazuju da, uopšteno govoreći, optimizacija načina punjenja, lokacija stanica za EV-a, podsticajne mjere (dinamičko tarifiranje, pomjeranje potrošnje) kao i ugradnja dodatnih komponenti u sistem vodi ka smanjenju gubitaka u mreži. U ovome radu, fokus istraživanja je na iskorišćenju potencijala reaktivnih snaga stanica za EV-a. Kako EV-a mogu raditi u sva četiri kvadranta, uz pomoć naprednije infrastrukture punjenja može se omogućiti dispečing reaktivnih snaga, a time i uticati na poboljšanje naponskih prilika u mreži [10]. Zapravo, EV može i generisati i trošiti reaktivnu snagu na svakom nivou napunjenosti bez uticaja na životni vijek baterije, [10]. Dostupna reaktivna snaga potiče od pretvarača unutar samog EV-a ili od elektronskog transformatora preko kojeg je priključena stanica na mrežu. U ovome radu modelovana su tri slučaja punjenja EV-a. U prvom slučaju tokom punjenja EV-a troši se aktivna snaga, dok u drugom slučaju vozila tokom punjenja pored aktivne snage koju troše, predaju i reaktivnu snagu mreži. Važno je naglasiti da je potrebno vrlo malo predimenzionisati punjače u vozilima kako bi se dobila jedna reprezentativna vrijednost reaktivne snage, koja bi imala pozitivan učinak kako na napone tako i na gubitke u mreži, [11]. U trećem slučaju za napajanje stanica predloženi su solid state transformatori (SST-i) bazirani na komponentama energetske elektronike i analiziran je njihov uticaj na gubitke i na položaj stanica za punjenje vozila. Ovdje je od značaja istaći da strukutra SST-a omogućava pozitivne efekte na stabilnost i kvalitet napajanja [13], [14], [15], jednostavniju integraciju obnovljivih izvora [16], uređaja za skladištenje energije [14], EV-a [17] i DC mikromreža [18].

Ostatak rada je organizovan na sledeći način. U drugom poglavlju je opisan algoritam tokova snaga korišćen u modelu, dok su u trećem poglavlju opisani modeli komponenti razmatranog sistema. Diskusija rezultata i zaključak rada dati su u četvrtom i petom poglavlju, redom.

II. PRORAČUN TOKOVA SNAGA

Za proračun tokova snaga u radu je korišćen metod, “prolaska unaprijed/unazad,” (*Back/forward sweeping-BFS*), koji predstavlja standardni model za proračun tokova snaga radikalnih distributivnih mreža. To je iterativni metod i sprovodi se kroz sledeća četiri koraka, [20]:

1. Korak: Početna vrijednost napona svih čvorova u mreži je 1 r.j.

Ana Pavličević – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora (e-mail: anaz@ucg.ac.me).

Vladan Durković –Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, 81000 Podgorica, Crna Gora; Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: vladan.d@ucg.ac.me).

2. Korak: Korak unazad (*Backward substitution*): Izračunavaju se struje koje teku po granama mreže, počev od grana u posljednjem nivou krećući se ka izvornom čvoru. Struja koja ulazi u i -ti čvor jednaka je zbiru kompleksnih struja potrošača priključenih i -tom čvoru i kompleksnih struja grana incidentnim i -tom čvoru. Kompleksne struje potrošača u i -tom čvoru se računaju na sledeći način:

$$\underline{I}_{Pi} = \frac{P_{Pi} - jQ_{Pi}}{V_i} \quad (1)$$

3. Korak: Korak unaprijed (*Forward substitution*): U ovom koraku se izračunavaju naponi čvorova polazeći od napojnog čvora ka čvorovima koji pripadaju poslednjem nivou. U ovome koraku koriste se vrijednosti struja dobijene u koraku 2.

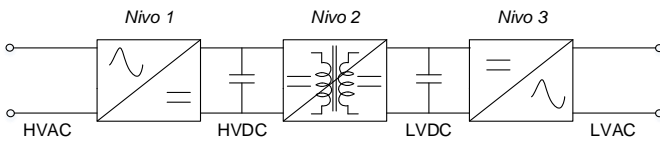
4. Korak: provjera kriterijuma konvergencije: Koraci 2. i 3. se ponavljaju već unaprijed definisan broj iteracija zadatim na početku postupka.

Kao rezultati ovog algoritma dobijaju se struje po granama i naponi čvorova što dalje omogućava i proračun gubitaka energije u mreži.

III. MODELOVANJE KOMPONENTI SISTEMA

A. SST

SST-i su elektronski transformatori koji pretvaranje električne energije vrše koristeći komponente energetske elektronike. Postoje različite topologije SST-a, a najrasprostranjenija od njih je prikazana na slici 1, [21]. SST prenosi snagu uz pomoć ispravljača (*Nivo 1*), zatim DC-DC pretvarača (*Nivo 2*) i invertora (*Nivo 3*), slika 1. Unutar DC-DC pretvarača nalazi se transformator, kome je područje rada na visokoj frekvenciji, što omogućava njegove male dimenzije.



Sl. 1. Topologija solid state transformatora.

U ovom radu ispitane su mogućnosti korišćenja reaktivne snage iz SST-a, Q_{SST} , sa ciljem povećanja efikasnosti mreže tj. smanjenja gubitaka i poboljšanja naponskih prilika u mreži. Pretpostavljeno je da su SST-i u test mreži postavljeni umjesto konvencionalnih magnetnih transformatora, na mjestima javnih stanica za punjenje elektromobila. Vrijednost reaktivne snage Q_{SST} zavisi od prividne snage samog ispravljača S_1 (*Nivo 1*) i jednaka je, [22]:

$$Q_{SST} = \sqrt{S_1^2 - P_p^2}, \quad (1)$$

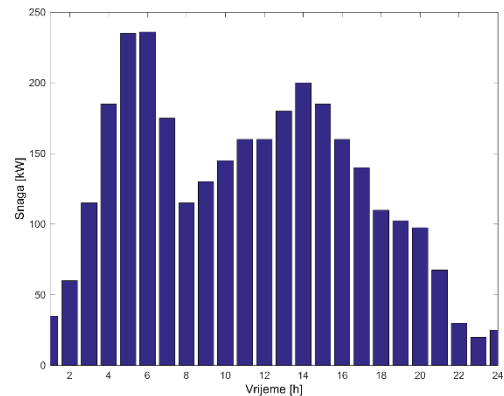
gdje je P_p aktivna snaga potrošača.

Ostali pretvarači (*Nivo 2* i *Nivo 3*) u SST-u su dimenzionisani tako da prenesu snagu opterećenja koja je potrebna za punjenje EV-a. Uvažavajući činjenicu da vozila troše samo aktivnu snagu opravdano je samo

predimenzionisati pretvarač u *Nivou 1*. U radu je SST modelovan kao potrošački čvor čija je aktivna snaga jednaka snazi stanice za punjenje elektromobila, a reaktivna snaga računata prema jednačini 1.

B. Modelovanje mreže i potrošača

U radu su modelovane četiri javne stanice za punjenje EV-a, koje predstavljaju parkinge namijenjene za EV-a. Prosječne aktivne snage stanica za punjenje vozila po satima prikazane su na slici 2, [23]. Istraživanje iz kojeg je preuzet dnevni dijagram potrošnje aktivne snage stanica za punjene vozila, obuhvatalo je podatke mjerene sa velikog broja javno dostupnih stanica u Holandiji, koje su mogle biti u blizini mjesta stanovanja, ali nisu na privatnim posjedima, već javnim. Punjenje EV-a u privatnim kućama nije obuhvaćeno tim istraživanjem kao ni ovim radom.



Sl. 2. Srednji dnevni dijagram javne stanice za punjenje EV-a.

U radu su razmatrana tri slučaja, zavisno od toga koliko reaktivnu snagu daje javna stanica za punjenje EV-a.

Slučaj 1. Stanice za EV-a su modelovane kao potrošači aktivne snage i napajaju se iz konvencionalnog distributivnog transformatora.

Slučaj 2. Instalirana snaga punjača u vozilima je vrlo malo predimenzionisana sa ciljem dobijanja reaktivne snage iz vozila.

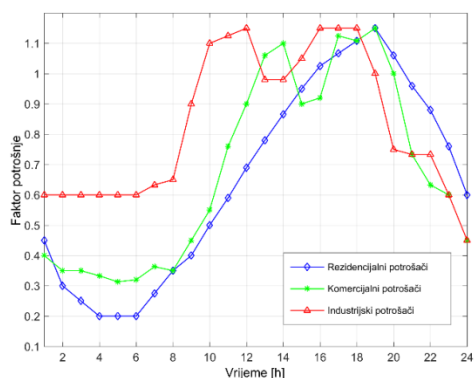
Slučaj 3. Stanice za EV-a su priključene na mrežu preko SST-a umjesto preko konvencionalnih transformatora.

Ostali potrošači u sistemu su modelovani kao PQ čvorovi, čija se opterećenja mijenjaju u toku 24 časa. Na osnovu tipa potrošača priključenih na sabirnice izvojena su tri tipa sabirnica, a to su: rezidencijane, komercijalne i industrijske sabirnice, tabela I, [24].

TABELA I. GRUPISANJE SABIRNICA

Tipovi sabirnica	Broj sabirnica
Rezidencijane sabirnice	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 23, 24, 25
Komercijane sabirnice	4, 11, 12, 18, 19
Industrijske sabirnice	22, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

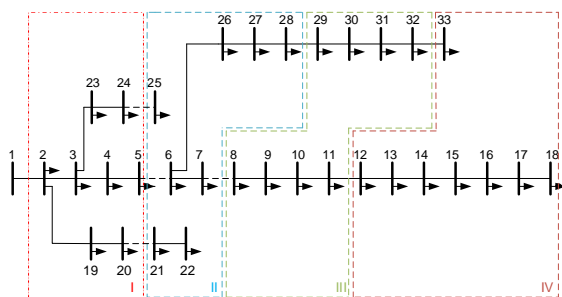
Promjena opterećenja u toku vremena uzeta je u obzir uvođenjem faktora opterećenja koji su različiti zavisno od tipa potrošača, [24], [25], slika 3.



Sl. 3. Tipične krive opterećenja sabirnica.

IV. REZULTATI

Za potrebe analize u radu je modelovana IEEE srednjenaponska radijalna distributivna mreža sa 33 sabirnice, slika 4. Bazni napon mreže iznosi 12.66 kV, a bazna snaga 100 MVA. Parametri vodova i nominalne aktivne i reaktivne snage na sabirnicama uzete su iz literature [26]. Za potrebe rada mreža je modelovana u programskom paketu Matlab.



Sl. 4. Jednopolna šema IEEE 33 mreže i njena podjela na četiri zone.

Na osnovu proračuna tokova snaga u slučaju da ne postoje geografska ograničenja za smještaj stanica za punjenje EV-a, najpovoljniji i najmanje povoljan slučaj sa aspekta gubitaka energije su određeni 'brute force' algoritmom. Rezultati su prikazani u tabeli II.

TABELA II. PREDLOŽENE LOKACIJE I GUBICI BEZ UVAŽAVANJA PROSTORNIH OGRANIČENJA.

Čvorovi	Gubici [kWh]
2, 19, 20, 21	3019.65
15, 16, 17, 18	4591.66

Podaci u tabeli II odnose se na dnevne gubitke, i jasno se uočava razlika u gubicima zavisno od lokacija stanica za punjenje vozila. Takođe se uočava da su dobijene lokacije stanica za punjenje EV-a jako blizu, pa se može pretpostaviti da samim tim neće zadovoljiti potrebe za punjenjem vozila koji su udaljeni od stanice. U tu svrhu se predlaže prostorna podjela mreže na četiri zone, tako da svaki izdvojeni dio obuhvata 8 čvorova, slika 4, [27]. Ograničenje je da u svakoj od četiri zone postoji po jedna javna stanica za punjenje EV-a. Rezultati za dnevne gubitke energije kao i optimalne lokacije stanica za punjenje EV-a sa ciljem minimizacije aktivne energije su prikazani za tri

naredna slučaja injektiranja reaktivne snage stanica za punjenje EV-a.

A. Slučaj 1

U tabeli III dati su rezultati u slučaju da stanice za EV-a isključivo troše aktivnu snagu, a reaktivna snaga se ne predaje mreži tokom punjenja. Drugim riječima stanice za EV-a rade sa jedničnim faktorom snage. Prikazane su optimalne lokacije stanica koje su dobijene prema kriterijumu minimalnih dnevnih gubitaka energije. Takođe, prikazana je i vrijednost navedenih gubitaka.

TABELA III. PREDLOŽENE LOKACIJE STANICA I GUBICI ZA SLUČAJ 1.

Čvorovi	Gubici [kWh]
2, 21, 8, 12	3470.54

B. Slučaj 2

U tabeli IV dati su predlozi lokacija stanica sa ciljem minimizacije gubitaka energije, kada se tokom punjenja vozila predaje reaktivna snaga. Razmatra se relativno malo predimenzionisanje *on-board* punjača, svega 6%, što ne utiče pretjerano na cijenu i dimenzije punjača. U tom slučaju vrijednost reaktivne snage koju predaje stanica tokom punjenja vozila dostiže vrijednost od 35.34% aktivne snage. Uzeto je da je aktivna snaga punjača 6.6 kW, a instalisana snaga 7 kVA.

TABELA IV. PREDLOŽENE LOKACIJE STANICE I GUBICI ZA SLUČAJ 2.

Čvorovi	Gubici [kWh]
2, 21, 8, 12	3363.41

Iz tabele IV se vidi da su gubici očekivano manji u odnosu na prethodni slučaj. Lokacije čvorova u koje treba smjestiti stanice u mreži ostaju iste kao u prvom slučaju.

C. Slučaj 3

U ovom slučaju za napajanje stanica korišćena su četiri SST-a, podjednake snage, čija ukupna instalisana snaga iznosi 1MVA. U tabeli V su prikazana dobijena rešenja za lokacije stanica u ovom slučaju, kao i ukupni dnevni gubici u mreži.

TABELA V. PREDLOŽENE LOKACIJE I GUBICI ZA SLUČAJ 3.

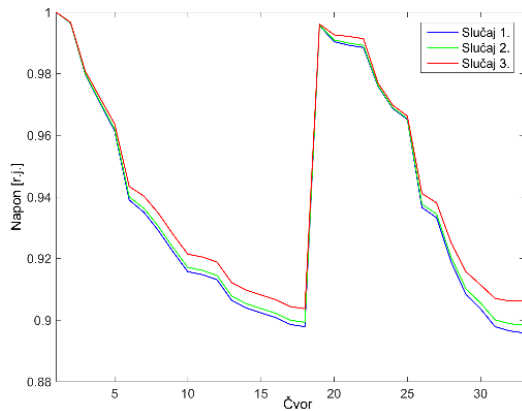
Čvorovi	Gubici [kWh]
2, 21, 8, 33	3007.43

Iz tabele se mogu primijetiti znatno niži gubici nego u oba prethodna slučaja, kao i pomjeranje jedne stanice na čvor 33 umjesto 12, što je dobijeno u prethodnim slučajevima.

Karakteristika testirane IEEE mreže je da su u većem dijelu sistema aktivne otpornosti vodova veće od reaktanse vodova. Imajući u vidu navedeno kao i da su aktivne snage potrošača značajno veće od reaktivnih za očekivati je da čvorovi u kojima su instalisane stanice za punjenje EV-a budu na početnim lokacijama svake od četiri predložene zone mreže. Uvažavajući navedeno, kao i relativno malo povećanje injektiranja reaktivne snage u sistem u slučaju 2 u odnosu na slučaj 1 izlazni rezultati ova dva proračuna su relativno bliski. Slučaj 3 u odnosu na slučaj 1 i slučaj 2 karakteriše značajno veće injektiranje reaktivne snage u

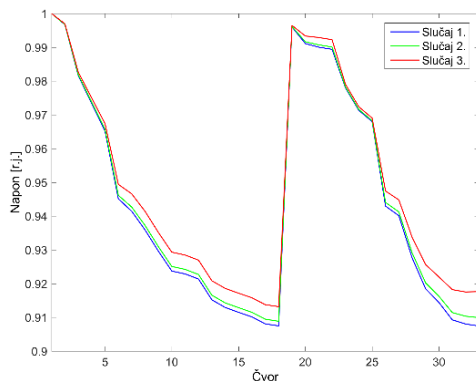
sistem pa je to dominantan razlog pomjeranja lokacije jedne stanice u četvrtoj zoni mreže u odnosu na slučaj 1 i slučaj 2.

Na slici 5. su prikazani naponi u čvorovima mreže za sva tri slučaja, za sve čvorove u najkritičnijem satu (17h). Vidi se da su u prva dva slučaja naponi na 18. čvoru padaju ispod 0.9 r.j. U trećem slučaju dolazi da povećanja napona u dozvoljenim granicama. Stoga se može zaključiti da SST-i pozitivno utiču kako na naponske prilike tako i na gubitke u mreži.



Sl. 5. Naponi na sabirnicama u 17h za sva tri slučaja.

Treba primijetiti, sa slike 3, da su faktori opterećenja preko jedinice u određenim vremenskim intervalima, pa usled preopterećenosti mreže naponi za prva dva slučaja padaju ispod 0.9 r.j. Na slici 6. prikazani su naponi ukoliko maksimalna opterećenja u mreži ne prelaze nominalne vrijednosti, tj. kada su maksimalni faktori opterećenja jednaki jedinici. Tada se može zaključiti da je sa aspekta ograničenja napona mreža sposobna da prihvati četiri stanice za punjenje u sva tri slučaja.



Sl. 6. Naponi na sabirnicama u 17h za sva tri slučaja pri maksimalnom faktoru opterećenja jednakim jedinici.

Poređenje razmatranih slučajeva (slučaj 2 i slučaj 3) sa bazičnim slučajem (slučaj 1) je izvršeno prema gubicima energije. Na osnovu tabela III, IV i V, može se zaključiti da je procentualno smanjenje gubitaka energije u slučaju 2 na prema slučaju 1 iznosi 3.08%. Smanjenje gubitaka energije u slučaju 3 u odnosu na slučaj 1 iznosi 13.34%. Ovdje je važno naglasiti da se u slučaju 2 ne zahtijevaju nikakva dodatna ulaganja koja su neophodna u slučaju 3. Stoga, rezultati dobijeni u slučaju 2 vode ka zaključku da relativno malo predimenzionisanje konvertora u vozilu vodi ka ne malom povećanju efikasnosti sistema. Sa druge strane, za slučaj 3, i pored veoma afirmativnih rezultata u pogledu

smanjenja gubitaka energije, potrebno je sprovesti i ekonomsku analizu isplativosti ugradnje SST-a.

V. ZAKLJUČAK

Iz perspektive planiranja, raspored javnih stanica za punjenje EV-a trebalo bi biti kompatibilan sa kratkoročnim i dugoročnim planiranjem distributivnog sistema. Kao veoma važan faktor prilikom planiranja izgradnje stanica za punjenje vozila jeste, na koji način njihov položaj utiče na ukupne gubitke u mreži. Predloženim načinima eksploatacije stanica za punjenje u cilju smanjenja gubitaka i poboljšanja naponskih prilika, ne remeti se sami tok punjenja, tj. nije ugrožen komoditet korisnika produžavanjem ili pomjeranjem punjenja EV-a, dok su gubici u mreži manji.

Bitno je da naglasiti da SST-i mogu iskoristi i u većoj mjeri osim same integracije EV-a u distributivi sistem kroz na primjer popravku kvaliteta električne energije i poboljšanje naponske stabilnosti sistema.

Svakako, za izbor mjesta javnih stanica za punjenje vozila trebalo bi uvažiti i ostale faktore, kao što su saobraćajna mreža i njena opterećenost, instalacioni, operativni i troškovi održavanja samih stanica kao i troškovi korisnika do same stanice. Stoga se kao budući rad podrazumijeva uvažavanje nekih od navedenih tehničkih faktora u cilju dobijanja što opštijeg modela za određivanje lokacija i karakteristika stanica za punjenje vozila.

LITERATURA

- [1] European Automobile Manufacturers Association (ACEA), <https://www.acea.be/>.
- [2] R. Pagany, L. R. Camargo and W. Dorner, "A review of spatial localization methodologies for the electric vehicle charging infrastructure," *International Journal of Sustainable Transportation*, vol. 13, pp. 433-449, May 2018.
- [3] H. Shareef, M. M. Islam and A. Mohamed, "A review of the stage-of-the-art charging technologies, placement methodologies, and impacts of electric vehicles," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, Oct. 2016, pp. 403-420.
- [4] H. Zhang, S. J. Moura, Z. Hu and Y. Song, "PEV Fast-Charging Station Siting and Sizing on Coupled Transportation and Power Networks," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 2595-2605, July 2018.
- [5] M.J. Hodgson, K.E. Rosing, A. Leontien and G. Storrier, "Applying the flow-capturing location-allocation model to an authentic network: Edmonton, Canada," *Theory and methodology*, pp. 427-443, May 1996.
- [6] S. Chen, Y. Shi, X. Chen and F. Qi, "Optimal location of electric vehicle charging stations using genetic algorithm," *17th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, Busan, pp. 372-375, 2015.
- [7] Z. Liu, F. Wen and G. Ledwich, "Optimal Planning of Electric-Vehicle Charging Stations in Distribution Systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, no. 1, pp. 102-110, Jan. 2013.
- [8] S. Abapour, M. Abapour, K. Khalkhali, and S. M. Moghaddas-Tafreshi, "Application of data envelopment analysis theorem in plug-in hybrid electric vehicle charging station planning," *IET Gener. Transm. Dis.*, vol. 9, no. 7, pp. 666-676, 2015.
- [9] G. Wang, Z. Xu, F. Wen, and K. P. Wong, "Traffic-constrained multiobjective planning of electric-vehicle charging stations," *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 28, no. 4, pp. 2363-2372, 2013.
- [10] J. Wang, G. R. Bharati, S. Paudyal, O. Ceylan, B. P. Bhattarai and K. S. Myers, "Coordinated Electric Vehicle Charging With Reactive Power Support to Distribution Grids," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 1, pp. 54-63, Jan. 2019.
- [11] N. Leemput, F. Geth, J. V. Roy, J. Buscher and Johan Driesen, "Reactive power support in residential LV distribution grid through

electric vehicle charging,” *Sustainable Energy, Grids and Networks*, vol. 3, pp. 24-35, 2015.

- [12] W. McMurray, “Power converter circuits having a high-frequency link”. US Patent 3517300. 1970.
- [13] H. A. Gabbar and K. Sayed, “Smart distribution system Volt/VAR control using the intelligence of smart transformer,” *IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, Oshawa, pp. 52-56, 2016.
- [14] C. Hunziker and N. Schulz, “Potential of solid-state transformers for grid optimization in existing low-voltage grid environments,” *Electric Power Systems Research*, vol. 146, pp 124-131, May 2017.
- [15] G. De Carne, M. Liserre, K. Christakou and M. Paolone, “Integrated voltage control and line congestion management in Active Distribution Networks by means of smart transformers,” *IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, Istanbul, pp. 2613-2619, 2014.
- [16] A. Q. Huang, M. L. Crow, G. T. Heydt, J. P. Zheng and S. J. Dale, “The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System: The Energy Internet,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 133-148, Jan. 2011.
- [17] C. Kumar, G. Buticchi and M. Liserre, “Operation and control of smart transformer-based electric vehicles charging system,” *IECON 2017-43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Beijing, pp. 4266-4271, 2017.
- [18] D. Das and C. Kumar, “Operation and control of smart transformer based distribution grid in a microgrid system,” *National Power Electronics Conference (NPEC)*, Pune, pp. 135-140, 2017.
- [19] Q. Chen, N. Liu, C. Hu, L. Wang and J. Zhang, “Autonomous Energy Management Strategy for Solid-State Transformer to Integrate PV-Assisted EV Charging Station Participating in Ancillary Service,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 13, no. 1, pp. 258-269, Feb. 2017.
- [20] S. Ghosh and D. Das, “Method for load-flow solution of radial distribution networks,” *IEE Proceedings - Generation, Transmission and Distribution*, vol. 146, no. 6, pp. 641-648, Nov. 1999.
- [21] X. She, A. Q. Huang and R. Burgos, “Review of Solid-State Transformer Technologies and Their Application in Power Distribution Systems,” *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 1, no. 3, pp. 186-198, Sept. 2013.
- [22] I. Syed, V. Khadkikar and H. H. Zeineldin, “Loss Reduction in Radial Distribution Networks Using a Solid-State Transformer,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 54, no. 5, pp. 5474-5482, Sept.-Oct. 2018.
- [23] M. G. Flamminia, G. Pretticco, A. Juleab, G. Fullia, A. Mazzac, G. Chicco, “Statistical characterisation of the real transaction data gathered from electric vehicle charging stations,” *Electric Power Systems Research*, vol. 166, pp. 136-150, 2019.
- [24] S. T. Injeti, V. K. Thunuguntla, “Optimal integration of DGs into radial distribution network in presence of plug-in electric vehicle to minimize daily active power losses and to improve the voltage profile of the system using bio-inspired optimization algorithms,” *Protection and Control Systems*, vol. 5, no. 3, 2020.
- [25] Y. Abdelaziz, Y. G. Hegazy, Y. W. El-Khattam and M. M. Othman, “A Multi-objective Optimization for Sizing and Placement of Voltage-controlled Distributed Generation Using Supervised Big Bang–Big Crunch Method,” *Electric Power Components and Systems*, vol. 43, no. 1, pp. 105-117, Jan. 2015.
- [26] K. Dharageshwari and C. Nayanatara, “Multiobjective optimal placement of multiple distributed generations in IEEE 33 bus radial system using simulated annealing,” *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, Nagercoil, pp. 1-7, 2015.
- [27] D. I. Karadimos, A. D. Karafoulidis, D. I. Doukas, P. A. Gkaidatzis, D. P. Labridis and A. G. Marinopoulos, “Techno-economic analysis for optimal energy storage systems placement considering stacked grid services,” *2017 14th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Dresden, pp. 1-6, 2017.

ABSTRACT

In the paper the impact of reactive power of charging stations for electric vehicles (EV) on the locations of charging stations and energy losses in distribution network was analyzed. Analysis done in this paper for three typical ways of charging EVs shows importance of dispatching of reactive power of charging stations for vehicle charging. Presented results encompass impact of daily

diagram of charging stations and consumers daily demand. Energy losses in case of utilization charging stations reactive power for charging EVs are compared to present way of charging which assumes that charging vehicles consume only active power.

Analysis the impact of reactive power of charging station for electric vehicles on the location of charging stations and energy losses in distribution network

Ana Pavličević
Vladan Durković