

Ľubomír Beňa, Marek Nowak, Michal Kolcun, Dušan Medved', Zsolt Čonka, Marek Pavlík

Vplyv pripojenia fotovoltaických elektrární na napätie v elektrickej sieti nízkeho napätia

Práca sa zaoberá analýzou vplyvu fotovoltaických systémov na sieť nízkeho napätia. Na tento účel bol navrhnutý a vytvorený model distribučnej siete nízkeho napätia. Bol analyzovaný vplyv dodávaného výkonu pripájaných zdrojov na úroveň napätia v sieti a tiež vplyv jednofázových zdrojov na veľkosť nesymetrie napätia v sieti.

Kľúčové slová: sieť nízkeho napätia, fotovoltaická elektrárňa, asymetria napätia, fázorový diagram

The work deals with the analysis of the impact of photovoltaic systems on the low voltage network. For this purpose, a model of a low voltage distribution network was designed and created. The influence of the supplied power of the connected sources on the voltage level in the network was analyzed, as well as the influence of single-phase sources on the magnitude of the voltage asymmetry in the network. **(Influence of Photovoltaic Power Plants Connection on Voltage in Low Voltage Electricity Grid)**

Keywords: low voltage network, photovoltaic power plant, voltage asymmetry, phasor diagram

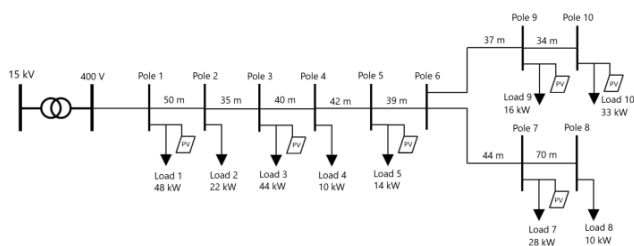
I. ÚVOD

Fotovoltaické elektrárne patria v súčasnosti medzi najviac rozvíjajúce sa zdroje elektrickej energie v sieti nízkeho napätia. Prispieva k tomu ich podpora prostredníctvom rôznych vládnych programov. Ide o spôsob výroby elektriny pomocou malých výrobných jednotiek, ktoré sú pripojené k sieti priamo u zákazníka, resp. v jeho bezprostrednej blízkosti. Ide o tzv. distribuovanú výrobu energie [1-5]. Napriek nepopierateľným výhodám takéhoto riešenia môžu tieto mikro-inštalácie spôsobovať v sieti nepriaznivé javy, ktoré v konečnom dôsledku negatívne vplyvajú na kvalitu elektrickej energie v elektrickej sieti [6-11]. Cieľom tejto publikácie je analyzovať vplyv pripojenia trojfázových fotovoltaických zdrojov na úroveň napätia v sieti nízkeho napätia a tiež vplyv pripájania jednofázových zdrojov na úroveň nesymetrie napätia. Výpočty boli realizované na konkrétnom modeli siete nízkeho napätia pomocou softvéru EA-PSM.

II. ANALYZOVANÝ MODEL SIETE NÍZKEHO NAPÄTIA

Analyzovaný model siete nízkeho napätia tvorí 10-uzlová sieť s napájaním z jednej strany tvorená vonkajším vedením s vodičom AL-50 podľa obr. 1.

Napájanie zo siete vysokého napätia zabezpečuje transformátor 15,75 kV/0,42 kV s výkonom 250 kVA. Systém sa rozprestiera na takmer 350 metrov a poskytuje dodávku elektriny 24 zákazníkom s rôznym výkonom pripojenia. Zaťaženie siete za normálnych prevádzkových podmienok sa predpokladalo na úrovni 30% inštalovaného výkonu s účinníkom 0,9 induktívneho charakteru.



Obr. 1. Simulovaná sieť nízkeho napätia

Inštalované výkony fotovoltaických elektrární pripojených do siete sú uvedené v tabuľke I.

TABUĽKA I

Výkony zaťaženia a zdrojov pripojených do siete nízkeho napätia

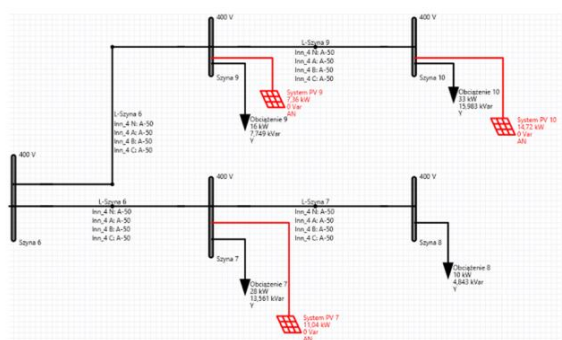
Uzol siete	Odoberaný výkon spotrebiteľov v uzle [kW]	Celkový odoberaný výkon v uzle [kW]	Inštalovaný výkon FV zdrojov v mieste spotreby [kWp]	Celkový inštalovaný výkon FV zdrojov v uzle [kWp]
1	7, 7, 9, 11, 14	48	5,94, 0, 6,27, 2,53, 3,66	18,4
2	11, 11	22	0	0
3	7, 7, 9, 17	40	0, 5,28, 3, 6,44	14,72
4	10	10	0	0
5	7, 7	14	4,95, 2,25	7,2
6	0	0	0	0
7	7, 7, 14	28	3,3, 5, 2,74	11,04
8	10	10	0	0
9	7, 9	16	0, 7,36	7,36
10	7, 7, 7, 12	33	3, 3,68, 2,96, 5,08	14,72

III. SIMULÁCIA PRIPOJENIA TROJFÁZOVÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJOV

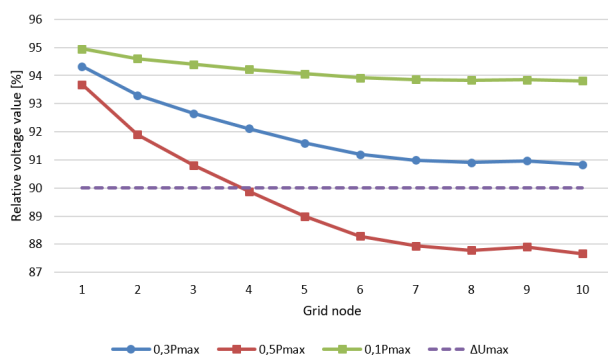
Pre samotnú analýzu pripojenia fotovoltaických zdrojov do mriežky siete bol realizovaný výpočet napätia v sieti bez pripojenia zdrojov. Simulácia modelu siete bola realizovaná pomocou softvéru EA-PSM (Obr. 2).

Na Obr. 3 sú zobrazené výsledky simulácie pre 10%, 30% a 50% zaťaženie v uzloch siete s konštantným účinníkom 0,9 induktívneho charakteru. Zvislá os predstavuje relatívne hodnoty napätia (v percentuálnom vyjadrení) v uzloch vzhľadom na menovité napätie siete nízkeho napätia. Ako vyplýva z obrázku, v prípade zaťaženia

rovného 50% inštalovaného výkonu, napätie v niektorých uzloch nedosahuje požadovanej úrovne.

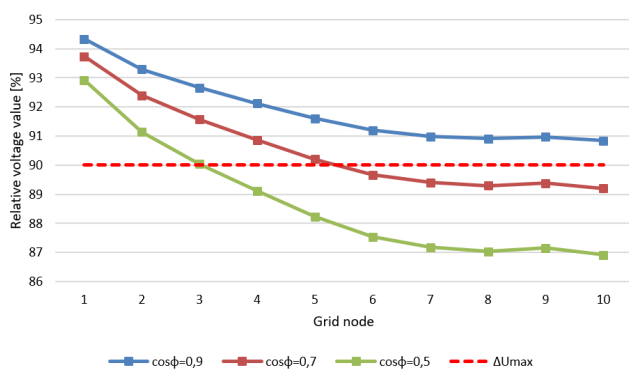


Obr. 2. Fragment modelu siete nn v programe EA-PSM



Obr. 3. Vplyv veľkosti zaťaženia na napätia v uzloch siete

Pre vyjadrenie korelácie medzi spotrebovaným jalovým výkonom a úrovňou napätia v uzloch siete bola vykonaná analýza vplyvu zmeny hodnoty účinníka indukčného charakteru pri konštantnej hodnote činného výkonu (30% inštalovaného zaťaženia). Výsledky simulácií sú uvedené na Obr. 4.

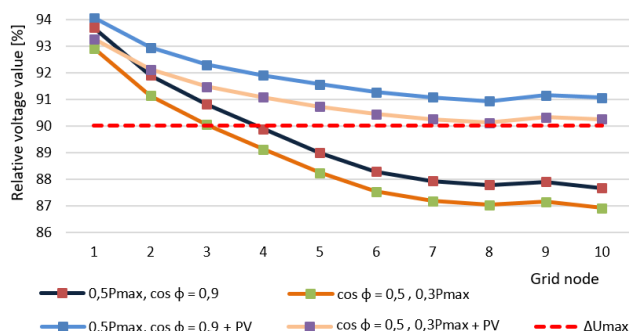


Obr. 4. Vplyv veľkosti účinníka záťaže na napätia v uzloch siete

Z grafických závislostí vyplýva, že pri účinníku 0,5 a 0,7 dochádza v niektorých uzloch siete k zníženiu napätia pod dovolenú hranicu.

Obr. 5 znázorňuje napätové pomery po pripojení fotovoltaických zdrojov do uzlov siete nn podľa obrázku 1 s výkonmi podľa tabuľky I. Ako je možné vidieť z uvedených výsledkov, pripojením fotovoltaických zdrojov do uzlov siete dôjde k zlepšeniu napätových

pomerov oproti stavu na Obr. 4, to znamená, v žiadnom uzle siete nie je hodnota napätia pod dovolenou hranicou 10 % oproti menovitému napätiu.

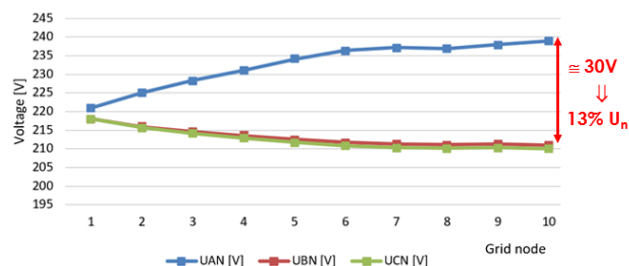


Obr. 5. Vplyv pripojenia trojfázových FV zdrojov na napätia v uzloch siete

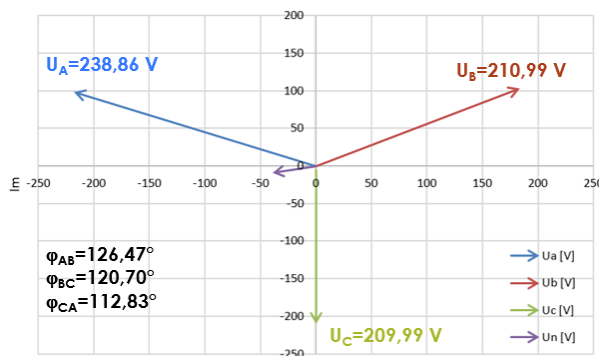
IV. SIMULÁCIA PRIPOJENIA JEDNOFÁZOVÝCH FOTOVOLTAICKÝCH ZDROJOV

Pre analýzu vplyvu jednofázových fotovoltaických zdrojov na napätie v uzloch siete boli použité zdroje s výkonmi podľa Tab. I, pričom tieto zdroje boli pripojené do fázy A.

Výsledky simulácií, t.j. hodnoty napätí v jednotlivých fázach všetkých uzlov siete sú zobrazené na Obr. 6.



Obr. 6. Vplyv pripojenia jednofázových FV zdrojov na napätia v uzloch siete



Obr. 7. Fázorový diagram napätí fáz v uzle č. 10 pri pripojení jednofázových FV zdrojov do fázy A

Ako vyplýva z uvedených závislostí, pripojenie fotovoltaických zdrojov do jednej fázy spôsobuje zvýšenie napätia oproti ostatným fázam, čo spôsobuje značnú nesymetriu napätí. V našom prípade, napätie fázy A preyšuje hodnoty ostatných fáz približne o 13 % menovitého napätia siete.

Táto nesymetria sa tiež prejaví na zmene fázového posunu fázorov napätí medzi jednotlivými fázami siete, čo znázorňuje obr. 7.

V. ZÁVER

Cieľom publikácie bolo analyzovať vplyv fotovoltaických zariadení na napätie v distribučnej sieti nízkeho napätia. Na tento účel bol vytvorený model 10-uzlovej siete nízkeho napätia s pripojením fotovoltaických zdrojov do vybraných uzlov. Z výsledkov simulácií vyplynulo, že pripojenie fotovoltaických zdrojov spôsobí zvýšenie napätia v celej sieti. V prípade vysoko zaťažených sietí môžu tieto zdroje zlepšiť napäťové pomery a tiež znížiť straty siete. Na druhej strane silná koncentrácia fotovoltaických zdrojov môže výrazne zvýšiť napätie v sieti, čo je z hľadiska prevádzky siete neprijateľné. Pre zdroje vyšších výkonov je potrebné použiť trojfázové meniče, aby sa zachovala symetria napätia v sieti. Je potrebné poznamenať, že pri posudzovaní pripojiteľnosti fotovoltaických zdrojov do siete je potrebné okrem vplyvu napätia analyzovať aj ďalšie kvalitatívne parametre uvedené v Technických podmienkach prevádzkovateľov distribučných sústav.

POĎAKOVANIE

Táto publikácia bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-19-0576 a Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied na základe zmluvy VEGA 1/0757/21.

LITERATÚRA

- [1] A. Kępa, „Photovoltaic Panels in a Single-Family House“, In: Wróbel M., Jewiarz M., Szłęk A. (eds) Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation. Springer Proceedings in Energy. 2020 Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13888-2_46
- [2] N. I. Zolkifri, Ch. K. Gan, M. Shamsiri, “Performance analysis of Malaysian low voltage distribution network under different solar variability days“, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJECS), Vol. 13, No. 3, pp. 1152-1160, 2019
- [3] R. Kabiri, D. G. Holmes and B. P. McGrath, "The influence of PV inverter reactive power injection on grid voltage regulation", 2014 IEEE 5th International Symposium on Power Electronics for Distributed

- Generation Systems (PEDG), Galway, Ireland, 2014, pp. 1-8, doi: 10.1109/PEDG.2014.6878640.
- [4] I. Ramljak and D. Bago, "Influence of PV plant connection on voltage quality parameters considering connection point in distribution grid", 2018 First International Colloquium on Smart Grid Metrology (SmaGriMet), Split, Croatia, 2018, pp. 1-5, doi: 10.23919/SMAGRIMET.2018.8369832.
- [5] H. S. Kamil, D. M. Said, M. W. Mustafa, M.R. Miveh, N. Ahmad, "Low-voltage Ride-through Methods for Gridconnected Photovoltaic Systems in Microgrids: A Review and Future Prospect", International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS), Vol. 9, No. 4, pp. 1834-1841, 2018
- [6] K. Chmielowiec, Ł. Topolski, A. Piszczek, Z. Hanzelka "Charakterystyki inwerterów fotowoltaicznych w świetle zapisów kodeksu sieciowego oraz wymagań polskich operatorów systemów dystrybucyjnych", Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, 97, April 2021, pp. 81-87, doi: 10.15199/48.2021.04.14
- [7] P. Hadaj and D. Strzałka, "Modelling Selected Parameters of Power Grid Network in the South-Eastern Part of Poland: The Case Study", Energies, vol. 13, no. 1, p. 239, Jan. 2020.
- [8] M. Latka and M. Nowak, "Analysis of Electrical Power Quality Parameters at the High Voltage Level", 2018 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE), Koscielisko, Poland, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/PAEE.2018.8441084.
- [9] Malska W., Łatka M., „Wpływ odbiorników nieliniowych na parametry jakości energii elektrycznej“, Wiadomości Elektrotechniczne, ISSN 0043-5112, 2007, nr 10, pp. 12-16
- [10] L. Boli, T. Xiangqian, Z. Minghang, Z. Xiaoqing and D. Jun, "Local Voltage Control Strategy Based On Remaining Capacity of PV Grid-connected Inverter", 2018 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC), Shenzhen, China, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/PEAC.2018.8590259.
- [11] Ł. Topolski, A. Firlit, K. Piątek, Z. Hanzelka, "Ograniczenie wzrostów i asymetrii napięć powodowanych jednofazowymi instalacjami fotowoltaicznymi za pomocą szeregowego transformatora dodawczego w sieci niskiego napięcia", Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, 96, March 2020, pp. 37-41.

ADRESY AUTOROV

Lubomír Beňa, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, lubomir.bena@tuke.sk
 Marek Nowak, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Politechnika Rzeszowska, Katedra Energoelektroniki i Elektroenergetyki, Wincentego Pola 2, PL 35-959 Rzeszów, Poľská republika, mnowak@prz.edu.pl
 Michal Kolcun, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, michal.kolcun@tuke.sk
 Dušan Medved', Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, dusan.medved@tuke.sk
 Zsolt Čonka, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, zsolt.conka@tuke.sk
 Marek Pavlík, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, marek.pavlik@tuke.sk