

Research on the Impact of Distributed Generation on Slow Changes of Voltage Profiles in Low Voltage Electrical Networks

Vieru D.

Institute of Power Engineering

Chisinau, Republic of Moldova

Abstract. The article considers the issue of assessing the impact on the mode of the share of distributed generation, after connecting of low-power photovoltaic installations to the low-voltage network. The purpose of the article is to substantiate the procedure for calculating the mode in an electric network with loads and distributed generation sources to assess the change in the voltage profile in the transmission line depending on the generating power of photovoltaic installations and changes the load curve in the networks. For the analysis of the network regime it was proposed to use the loop currents method. This from the start highlights the currents in loads and the currents of the sources the network. The matrix form for presenting the voltage equilibrium equations was applied, which was also used to calculate the loop currents of the power line circuits. The object of the research was selected the low voltage power line presented in the single-wire topology with distributed loads and sources, which includes 24 consumers and 24 generation sources. A lower impact of distributed generation has been established with smaller in-line voltage deviations at low consumption, and at high consumption the voltage deviations can exceed the allowable values stipulated in the normative documents. Following the limitation of these deviations in the limit of the admissible values, the recommendation was formulated to limit the power of the distributed sources to the level of about 30% of the power consumed in the peak hours. This will maintain electricity quality indices in all load regimes.

Keywords: loop current method, power quality, voltage deviation, power limitation of generation sources.

DOI: 10.5281/zenodo.4028507

UDC: 621.15.17

Cercetarea impactului generării distribuite asupra modificărilor lente de tensiune în rețelele electrice de joasă tensiune

Vieru D.

Institutul de Energetică

Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. În lucrare se abordează problema estimării impactului creșterii cotei generării distribuite asupra regimului, de exemplu, urmare a racordării la rețeaua de joasă tensiune a unui set de centrale fotovoltaice de mică putere. Scopul lucrării constă în argumentarea procedurii de calcul al regimului în rețeaua electrică cu sarcini și surse distribuite de generare întru estimarea variației profilului tensiunii în linia electrică în funcție de puterea de generare a instalațiilor fotovoltaice și a variației curbei de sarcină a rețelei. Pentru analiză regimului în rețea s-a propus utilizarea metodei curenților de buclă. Prin aceasta din start se evidențiază curenții în sarcini și curenții debitați de surse în rețea. S-a aplicat forma matricială de prezentare a ecuațiilor echilibrului tensiunii, care și s-a utilizat pentru calcularea curenților de buclă a circuitelor liniei electrice. Ca obiect al cercetării s-a selectat linia electrică de joasă tensiune prezentată în topologia monofilară cu sarcini și surse distribuite, care include 24 de consumatori (sarcini) și 24 de surse de generare (panouri fotovoltaice). S-a stabilit un impact mai mic al generării distribuite cu abateri ale tensiunii în linie la consum redus, iar la consumuri mari (conform curbei de sarcină) abaterile tensiunii pot depăși valorile admisibile stipulate în documentele normative. Urmare a limitării acestor abateri în limita valorilor admisibile s-a formulat recomandarea de a limita puterea surselor distribuite la nivel de circa 30% din puterea consumată în orele de vârf. Prin aceasta se vor menține indicii de calitate a energiei electrice în toate regimurile de sarcină.

Cuvinte-cheie: metoda curenților de buclă, calitatea puterii, abaterea tensiunii, limitarea puterii surselor de generare.

Исследование влияния распределенной генерации на медленные изменения профилей напряжения в электрических сетях низкого напряжения

Виеру Д.

Институт Энергетики

Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. В статье рассматривается вопрос оценки влияния на режим доли распределённой генерации, например, после подключения к сети низкого напряжения ряда фотоэлектрических установок малой мощности. Целью статьи является обоснование процедуры расчёта режима в электрической сети с нагрузками и источниками распределённой генерации для оценки изменения профиля напряжения в линии в зависимости от генерирующей мощности фотоэлектрических установок и изменения кривой нагрузки сети. Для анализа режима сети было предложено использовать метод контурных токов. С самого начала выделяются токи нагрузки и токи источников, подключённых к сети. Применялась матричная форма представления уравнений равновесия напряжений, которая также использовалась для расчёта контурных токов цепей линии. Объектом исследования была выбрана линия электропередачи низкого напряжения, представленная в однопроводной топологии с распределёнными нагрузками и источниками, в которую входят 24 потребителя (нагрузки) и 24 источника генерации (фотоэлектрические панели). Установлено меньшее влияние распределённой генерации с меньшими отклонениями линейного напряжения при низком потреблении, а при высоком потреблении (согласно графику нагрузки) отклонения напряжения могут превышать допустимые значения, установленные в нормативных документах. После ограничения этих отклонений в пределах допустимых значений была сформулирована рекомендация по ограничению мощности распределённых источников до уровня около 30% от мощности, потребляемой в часы пик. Это позволит сохранить показатели качества электроэнергии во всех режимах нагрузки.

Ключевые слова: метод контурных токов, качество энергии, отклонение напряжения, ограничение мощности источников генерации.

INTRODUCERE

Generarea distribuită (GD) în rețelele electrice de joasă tensiune (REJT) cu conectarea surselor regenerabile de energie (SRE) reprezintă o tendință actuală spre rezolvarea problemelor de mediu precum și a celor de deficit de energie.

Conceptul GD în REJT permite păstrarea rețelelor electrice existente fără investiții de modificare a arhitecturii acestora. Consumatorii datorită investițiilor sale acoperă cheltuielile de proiectare, montare, iar datorită surplusului de energie pot avea și beneficii financiare.

Impactul conectării în REJT ale surselor de GD din SRE necesită abordări în ascendență ca urmare a dezvoltării acestui segment de generare distribuită, care reiese din documentele de politici energetice europene [1], naționale [2], inclusiv a aspectelor de dezvoltare a rețelelor electrice locale [3].

Studierea impactului creșterii cotei de generare distribuită, inclusiv, în baza SRE prezintă o problemă actuală pentru sistemele electroenergetice moderne, deoarece crește cota puterii de generare cu caracter intermitent, conectate preponderent la rețelele de joasă tensiune, ce conduce la apariția de schimbări calitative nu numai în topologia acestor rețele, dar și calitative, manifestate prin impactul direct asupra modificării ai regimului de funcționare [4, 5].

Urmare a acestor particularități apare și problema adaptării metodelor existente de calcul ale regimurilor din rețelele de distribuție cu surse de generare distribuită de mică putere, precum și/sau elaborarea de noi abordări a metodologiei de calcul a acestor regimuri, de exemplu, cu scopul depistării caracteristicilor specifice de distribuție a fluxului de putere pentru cazul topologiei concrete a rețelei studiate și estimarea impactului acestor noi provocări asupra calității energiei electrice furnizate consumatorilor finali [6].

Cel mai frecvent se utilizează schemele echivalente monofilare la calculare, preponderent a regimurilor permanente cu aplicarea conceptului de transfigurare a topologiei rețelei electrice, echivalarea sarcinilor și porțiunilor de circuit [7, 8].

Realitate constă în faptul, că rețelele electrice, inclusiv, de distribuție au topologia cu trei faze cu fir neutru. Urmare a încărcării diferite a fazelor, regimurile reale, fie și permanente în infrastructura fizică a rețelei de joasă tensiune vor fi diferite de regimurile din schema echivalentă, care din start se consideră un model de aproximație a rețelei reale.

Distribuția pe lungimea fazelor rețelei a surselor de generare a energiei electrice din surse regenerabile de energie doar conduce la majorarea dificultăților privind analiza regimului

cu utilizarea schemei echivalente monofilare, inclusiv, și din cauza incertitudinii atât a repartiției modalității de racordare la fazele rețelelor, cât și a incertitudinii puterii injectate de cu energie electrică.

În acest context se prezintă actuală problema dezvoltării și adaptării metodelor de calcul a regimurilor atât permanente, cât și tranzitorii [9, 10], în urma a dezvoltării segmentului de generare distribuită din surse de energie regenerabilă [11, 12] la necesitățile determinării mai precise a acestor regimuri în rețelele de joasă tensiune, inclusiv, ca și creșterea puterii consumatorilor conectați la aceste rețele [5].

I. FORMULAREA PROBLEMEI DE CERCETARE

Sporirea cotei energiei produse din surse regenerabile este condiționată și de schimbările din legislația în vigoare a Republicii Moldova (Articolul 35, Alin (2), litera b)) privind condițiile de contorizare netă a energiei, care cert limitează puterea maximă sub 100 kW conectată la rețelele electrice [13]. Concomitent vom menționa, că în legislație nu este indicată norma care ar limita putere minimă a sursei de generare în baza SRE care poate fi conectată la rețeaua electrică de distribuție. Aceasta deschide posibilități pentru investitorii particulari de a dezvolta segmentului de generare de mică putere în baza valorificării SRE, care și prezintă norma legală de dezvoltare a generării distribuite din surse regenerabile conectate la rețelele sistemului electroenergetic național.

Analizând acest fapt se prezintă actuală problema de elaborare a instrumentelor eficiente de analiză a regimurilor în aceste noi condiții de exploatare a rețelelor de joasă tensiune, care ar ține cont de varietatea modalităților de conexiune a surselor de generare de mică putere, funcționarea lor în paralel cu sarcinile acestor rețele, precum și de caracterul aliator a conectării pe lungimea fiderului liniei electrice trifazate de joasă tensiune.

Obiectivul acestei lucrări constă în argumentarea necesității unei noi abordări a tratării problemei calculului regimului în liniile electrice ale rețelelor de distribuție în contextul modificării permanente a topologiei lor reieșind din creșterea sarcinilor receptoarelor de energie electrică, cât și a puterii totale a surselor de generare distribuită de mică putere conectate la aceste linii ale rețelei de distribuție a energiei electrice.

II. TENDINȚE ÎN DOMENIUL PRODUCERII ENERGIEI ELECTRICE DIN SURSE REGENERABILE

A. Producerea energiei electrice în lume.

Conform [13] în perioada dintre anii 1990-2018 producerea de energie crește de la 11882 TWh în anul 1990 până la 26590 TWh în anul 2018. În perioada anilor 2000-2018 creșterea producerii energiei electrice constituie cca. 3 % pe an. În perioada anilor 2000-2018 (fig. 1) se manifestă o creștere mai semnificativă de cca. 6,8 puncte procentuale pe an a generării energiei din SRE.

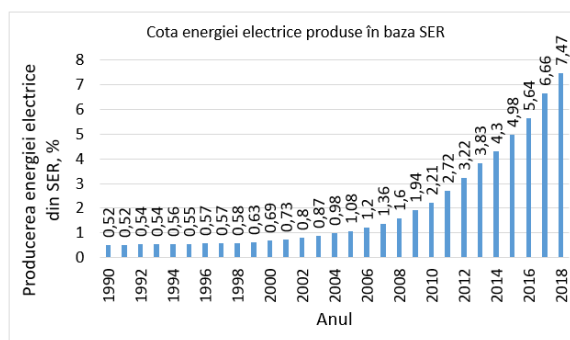


Figura 1. Evoluția cotei energiei electrice produse în lume din SER.

B. Producerea energiei electrice din SER în Republica Moldova.

Conform datelor Agenției Naționale de Reglementare în Energetică [14] în anul 2019 din SER au fost produse în Republica Moldova 67,43 MWh de energie electrică, inclusiv, din surse fotovoltaice 1,437 MWh, eoliană – 36,915 MWh, biogaz – 28,748 MWh.

Există propuneri de dezvoltare a generării energiei electrice la nivel industrial (parcuri fotovoltaice – Comrat cca. 20 MW) [15], precum și promovarea surselor de generare în sectorul rural, care vor fi de fapt surse de generare distribuită. Puterea acestor surse se poate estima, reieșind din modul de montare a modulelor fotovoltaice pe acoperișul caselor.

C. Estimarea puterii instalate a unei centrale fotovoltaice pentru zona rurală

Suprafața disponibilă pentru montarea modulelor fotovoltaice pe acoperiș este estimată în Republica Moldova la cca 40 m².

Aceasta ne permite să estimăm putere pic instalată a unei centrale fotovoltaice particulare, considerând că eficiența de conversie a radiației solare este de cca 15%. Deci, pentru această

ipoteză se obține, că puterea de pic a unei astfel de centrale fotovoltaice va constitui cca. 6 kW.

În realitate producerea de energie de o centrală fotovoltaică montată pe acoperișul casei din zona rurală depinde de mai muți factori, care limitează volumul de energie produs pe parcursul zilei. Vom menționa, că pentru ași asigura siguranța alimentării cu energie electrică din

surse proprii de generare este necesară coincidența curbei de consum și curbei de generare a centralei fotovoltaice.

În figura 2 se prezintă curbele de producere a unei centrale fotovoltaice și de consum a energiei electrice (pentru 10 iunie 2015, or. Chișinău).

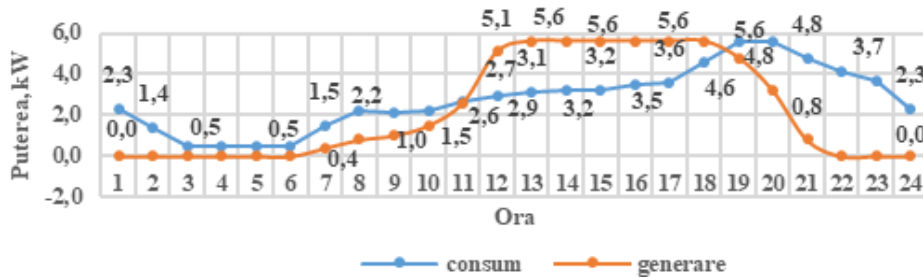


Figura 2. Curba de consum și generare a unui consumător casnic.

Astfel, se poate considera ca puterea nominală (de pic) a unei centrale fotovoltaice racordate la rețeaua de joasă tensiune 0,4 kV are valoarea de cca 6 kW, care poate fi utilizată la analiza impactului surselor distribuite asupra regimului de funcționare a rețelei cu tensiunea de 0,4 kV.

Regimul de sarcină limita de sus după putere conduce la limitarea lungimii fiderului cu tensiunea 0,4 kV. Această limitare a lungimii reiese din necesitatea asigurării indicilor de calitate a energiei electrice furnizate consumatorului, de exemplu, abaterea valorii tensiunii nu trebuie să depășească 10% de la valoarea nominală. Restricțiile impuse asigură indicii de calitate a energiei electrice pentru lungimea porțiunilor liniilor electrice cu tensiunea 0,4 kV nu depășește valoarea de 0,8-1,0 km.

Luând în considerare puterea de pic a unei centrale fotovoltaice amplasate pe acoperișul casei din zona rezidențială, lungimea limitată a liniei electrice, vom considera, că la dezvoltarea modelului de calcul al regimului de sarcină și generare, această porțiune de line include 24 de consumatori dotați cu surse fotovoltaice de generare (21 de module fotovoltaice pentru o gospodărie).

Această ipoteză lansată despre structura sarcinilor și surselor de generare ne permite elaborarea schemei echivalente a circuitului, care include sarcini și surse de generare distribuite racordate la linia electrică de distribuție cu tensiunea 0,4 kV.

Vom considera, că modificarea sarcinilor în modelul de calcul propus pentru analiza

regimului va avea o modificare lentă a sarcinilor. În calcule se vor utiliza valorile medii de consum/generare la un interval de timp de o oră. În calitate de obiect de studiu a impactului surselor de generare distribuită asupra profilului de tensiune se propune de utilizat o linie electrică a rețelei radiale de distribuție.

III. METODOLOGIA DE CERCETARE

Metodologia de calcul se va dezvolta pentru cazul circuitului monofilar la care sunt conectați mai mulți consumatori cu parametri concentrați și surse de generare distribuită de mică putere.

În figura 3 este reprezentată o schemă radială de calcul a unui circuit cu o singură fază din cadrul unei REJT de 0,4 kV.

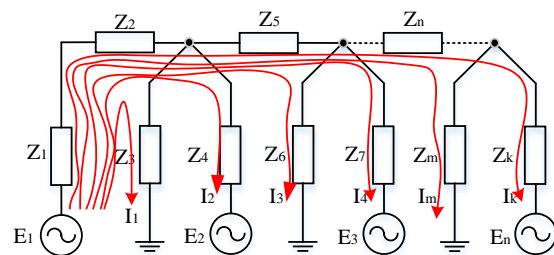


Figura 3. Schema de calcul pentru o REJT cu GD.

Dacă sunt cunoscute valorile liniare ale rezistențelor longitudinale active R_0 și inductanța liniară L_0 , valorile complexe ale impedanțelor longitudinale $Z_1, Z_2, Z_5, \dots, Z_n$ ale porțiunilor dintre punctele de racordare ale

sarcinilor și surselor de generare, care se calculează cu $Z_1 = R_0 l_1 + j\omega L_1 l_1$, $Z_2 = R_0 l_2 + j\omega L_0 l_2$, $Z_5 = R_0 l_5 + j\omega L_0 l_5$, ..., $Z_n = R_0 l_n + j\omega L_0 l_n$, unde $l_1, l_2, l_5, \dots, l_n$, reprezintă lungimile porțiunilor respective ale liniei electrice dintre două puncte de racord (piloni, transformator ș. a) [16].

Aplicând metoda curenților de buclă pentru calculul circuitului din figura 3, care se bazează pe aplicarea teoremei pentru bucla de circuit, legea a doua a lui Kirchhoff, obținem următorul sistem de ecuații:

$$\begin{cases} I_1 Z_1 + I_1 Z_2 + I_1 Z_3 = E_0; \\ I_2 Z_1 + I_2 Z_2 + I_2 Z_4 = E_0 - E_1; \\ I_3 Z_1 + I_3 Z_2 + I_3 Z_5 + I_3 Z_6 = E_0; \\ I_4 Z_1 + I_4 Z_2 + I_4 Z_5 + I_4 Z_7 = E_0 - E_1; \\ \vdots \\ I_m Z_1 + I_m Z_2 + I_m Z_5 + \dots + I_m Z_n + I_m Z_m = E_0; \\ I_k Z_1 + I_k Z_2 + I_k Z_5 + \dots + I_k Z_n + I_k Z_k = E_0 - E_k. \end{cases} \quad (1)$$

Sistemul de ecuații liniare sub formă matricială cu coeficienții [A] și vectorul termenilor liberi {B}. Rezolvarea ecuației (1) se poate efectua prin inversarea matricei, prin înmulțirea la stânga a ecuația matriciale [A]{X}={B} cu [A⁻¹] și obținem matricea necunoscutelor sistemului de ecuații (1):

$$[A^{-1}] \cdot \{B\} = \{X\}. \quad (2)$$

Sensul fizic al matricei din relația (2) constă în următoarele: [A⁻¹] - matricea inversă a impedanțelor (se poate inversa prin mai multe metode: Gauss-Choleski, Gauss-Jordan, metoda partiționării pentru inversarea matricei cu aplicarea limbajelor de programare matematică: MATHCAD, MATLAB, MAPLE etc.); {B} - matricea tensiunilor; {X}- matricea curenților necunoscuți (ceea ce corespunde Legii lui Ohm).

Astfel, obținem profilurile curenților ce circulă prin bucele selectate ale rețelei electrice cu sarcini și surse distribuite.

La calcularea profilurilor de tensiune se poate utiliza ecuația matricială sub forma următoare:

$$[A^{-1}] \cdot \{X_{calculat}\} = \{B\}, \quad (3)$$

unde {X_{calculat}} - corespunde matricei curenților calculați conform impedanțelor liniare, {B} - se atribuie valorile tensiunilor din noduri a rețelei de alimentare.

Prin aplicarea legii lui Ohm, după calcularea curenților din nodurile circuitului se poate obține pentru fiecare ramură a circuitului liniei profilurile tensiunilor.

Matricea [A] pentru ecuația (1) cu parametrii prezentați de impedanțele Z₁₁, Z₂₁, Z₃₁, Z₄₁, ..., Z_m și Z_k, care prezintă impedanțele buclei selectate a circuitului pentru care se calculează curentul se va prezenta astfel:

$$A = \begin{bmatrix} \sum_{n=1}^3 Z_a & \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \dots & \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^2 Z_{11} \\ \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^3 Z_b & \sum_{n=1}^2 Z_{21} & \sum_{n=1}^2 Z_{21} & \dots & \sum_{n=1}^2 Z_{21} & \sum_{n=1}^2 Z_{21} \\ \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^2 Z_{21} & \sum_{n=1}^4 Z_c & \sum_{n=1}^3 Z_{31} & \dots & \sum_{n=1}^3 Z_{31} & \sum_{n=1}^3 Z_{31} \\ \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^2 Z_{21} & \sum_{n=1}^3 Z_{31} & \sum_{n=1}^4 Z_d & \dots & \sum_{n=1}^3 Z_{41} & \sum_{n=1}^3 Z_{41} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^2 Z_{21} & \sum_{n=1}^3 Z_{31} & \sum_{n=1}^3 Z_{41} & \dots & \sum_{n=1}^m Z_m & \sum_{n=1}^m Z_{m1} \\ \sum_{n=1}^2 Z_{11} & \sum_{n=1}^2 Z_{21} & \sum_{n=1}^3 Z_{31} & \sum_{n=1}^3 Z_{41} & \dots & \sum_{n=1}^k Z_{m1} & \sum_{n=1}^k Z_k \end{bmatrix} \quad (4)$$

Matrice {B} pentru valorile tensiunii în noduri are următoare structură:

$$B = \begin{bmatrix} E_0 \\ E_0 - E_1 \\ E_0 \\ E_0 - E_2 \\ \vdots \\ E_0 \\ E_0 - E_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

Prin I_{calc} se notează valorile curenților, care se obțin în rezultatul calculelor cu utilizarea relației matriciale (3). În așa mod obținem valorile profilurilor de curent, care circulă prin fiecare ramură.

Cunoașterea valorilor curenților în sarcinile conectate în linie, oferă posibilitatea de a calcula și valorile căderii tensiunii pe fiecare element cu parametri concentrați al circuitului:

$$\begin{cases} U_1 = I_{calc1} Z_{sarcina1}; \\ U_2 = I_{calc2} Z_{sarcina2}; \\ U_3 = I_{calc3} Z_{sarcina3}; \dots; U_n = I_{calcn} Z_{sarcina n}. \end{cases} \quad (6)$$

Utilizând relațiile sistemului de ecuații (6), obținem pentru fiecare buclă valorile curenților, care se utilizează pentru calcularea căderilor tensiunilor. Cunoașterea valorilor curenților și căderilor de tensiune permit calcularea valorilor derivate care caracterizează regimul și puterile pierderilor de energie și cele transmise prin circuit și absorbite de sarcini.

Curenții în porțiunile longitudinale ale liniei se determina conform primei teoreme Kirchhoff.

IV. REZULTATE

A. Exemplu de calcul a profilului tensiunii pentru diferite perioade ale zilei

Lungimea recomandată a unei linii electrice este egală cu clasa de tensiune iar lungimile reale de regulă sunt de câteva ori mai mari. În așa mod lungimea unei faze va corespunde valorilor de

220 de metri sau pentru o rețea trifazată nu mai lungă de 400 m. Reieșind din distribuirea uniformă a sarcinii inclusiv și distribuirea acesteia pe toată lungimea de calcul va fi 720 m.

În figura 4 este indicat profilul tensiunii în linie pentru ora 7⁰⁰. Simularea regimului liniei s-a executat cu utilizarea metoda curenților de buclă pentru care se îndeplinește condiția $P_g < P_c$, unde P_g - valoarea curentă a sursei de generare pentru ora 7⁰⁰; P_c – valoarea medie a puterii sursei pentru intervalul de timp monitorizat. În rezultat s-a obținut, că profilurile de tensiune cu surse de GD variază în intervalul valorilor 220 – 194,34 V. În lipsa injecției energiei electrice de către sursele de generare distribuită, valorile tensiunii în linia examinată se schimbă de la 220 V până la 180,39 V. ($P_g = 0,811 \text{ kW} < P_c = 2,251 \text{ kW}$).

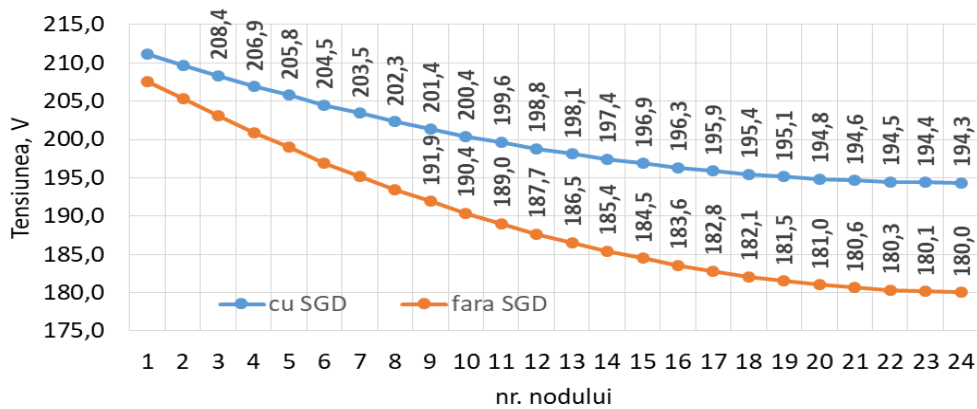


Figura 4. Rezultatele calculului profilului tensiunii în linie pentru ora 7⁰⁰ (SGD-surse de generare distribuite).

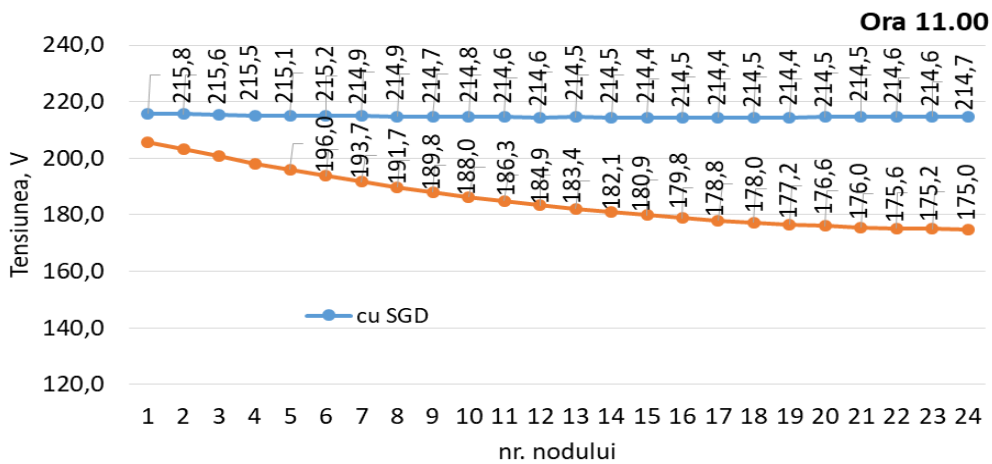


Figura 5. Profilul tensiunilor în linia de alimentare pentru ora 11⁰⁰ cu injecție din partea surselor GD și fără injecție de putere din partea surselor GD.

În fig. 6 se prezintă curba profilurilor de tensiune în linia examinată pentru ora 13⁰⁰. Pentru această oră se îndeplinește condiția de $P_g > P_c$ pentru sursele de generare fotovoltaice. Profilurile de tensiunii în linia cu surse de GD se modifică pe

parcursul acestei linii de alimentare de la 220 V până la 250,03 V. la deconectarea surselor GD tensiunea în line se modifică de la 220 V până la 177,62 V. ($P_g = 3,190 \text{ kW} < P_c 5,678 \text{ kW}$).

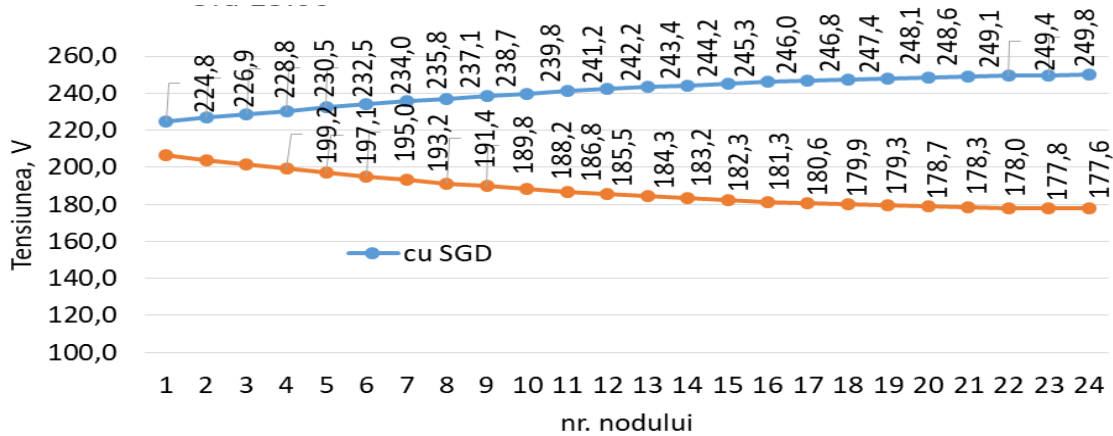


Figura 6. Profilul tensiunilor în linia de alimentare pentru ora 13⁰⁰ cu injecție din partea surselor GD și fără injecție de putere din partea surselor GD.

B. Calcularea abaterii tensiunii în modelul de calcul propus

În baza rezultatelor obținute prin calcul pentru orele 6⁰⁰ și 20⁰⁰ se pot determina valorile abaterii tensiunii în toate puncte de racordare a sarcinilor și surselor GD. Aceste calcule a abaterilor se pot face cu aplicarea relațiilor următoare:

$$\begin{cases} \delta U_{(-)} = [(U_0 - U_{m(-)}) / U_0] \cdot 100; \\ \delta U_{(+)} = [(U_0 - U_{m(+)}) / U_0] \cdot 100, \end{cases} \quad (7)$$

unde

$(\delta U_{(-)})$ și $(\delta U_{(+)})$ - abaterile pot avea valori atât negative, cât și valori pozitive;

$U_{m(-)}$ și $U_{m(+)}$ - valorile tensiunii de alimentare, $U_{0(-)}$ și $U_{0(+)}$ - valorile tensiunilor măsurate la intrarea în linie;

Pentru a exclude variații aliatorii de scurtă durată de tip flicher se recomandă ca valorile tensiunilor măsurate să se determine pe durata standard de măsurare – cca. 10 min.; U_0 tensiunea nominală standardizată egală cu tensiunea nominală [17-20]

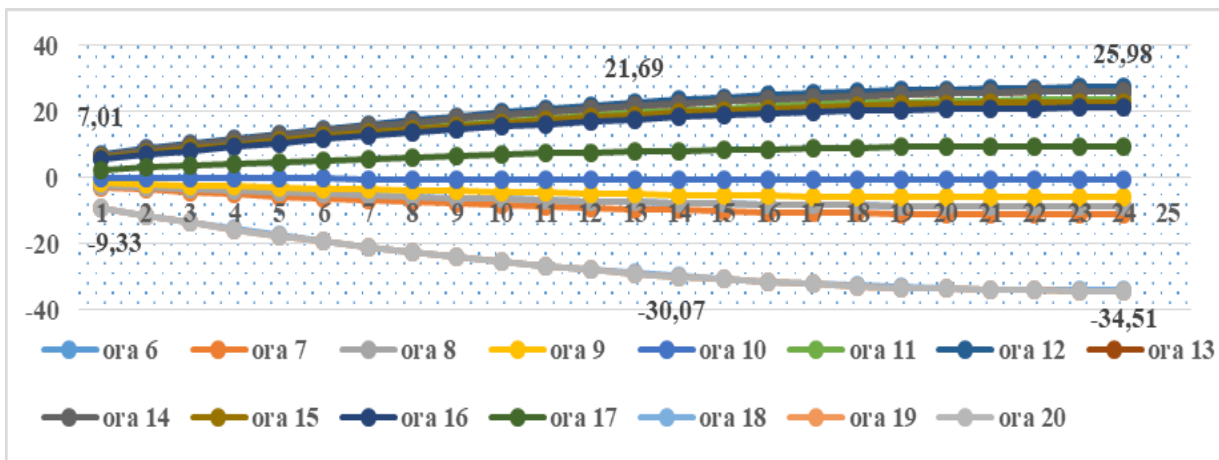


Figura 7. Curbele abaterilor de tensiune în linia de alimentare cu injecție din partea surselor GD.

Analiza rezultatelor calculelor regimului indică la faptul, că pentru a asigura indicii de calitate a energiei electrice în linia cu surse distribuite de generare este necesar de limitat puterea instalată a acestor surse. Puterea instalată nu trebuie să depășească cca. 30% din vârful de sarcină observat în această linie de alimentare cu energie electrică. În acest caz se asigură indicii de calitate a energiei electrice în limitele prescrise în standarde pentru tot diapazonul de variație a sarcinilor conectate la linia de alimentare.

Majorarea valorii tensiunii se manifestă preponderent în orele cu sarcină redusă a rețelei de alimentare și producție maximă a surselor fotovoltaice. În aceste regimuri devine posibilă inversarea direcției de circulație a fluxurilor de putere spre punctul de transformare (intrarea liniei de alimentare). Această inversie a fluxurilor de putere are loc sub acțiunea puterii injectate în linie de către sursele fotovoltaice. Majorarea valorii tensiunii, indiferent de porțiuni sau secțiuni, care sunt ajustate pentru cazul circulației unilaterale ale fluxurilor de putere, în care se manifestă acest fenomen, care poate conduce la consecințe neplăcute pentru consumatorii racordați la această rețea, precum și la accidente u consecințe grave. Accidentele pot fi o consecință a funcționării nereglementate ale sistemelor de protecție, care sunt ajustate pentru regimul unilateral de circulație a fluxurilor de putere - de la barele de ieșire a transformatorului spre punctele de racord la rețea a consumatorilor.

V. CONCLUZII

Aplicarea metodei curentului de buclă permite simplu de determinat valorile curenților în sarcini și curenții surselor care injectează putere în linie. Cunoașterea valorilor curenților și a parametrilor liniei pe porțiuni permite determinarea tuturor mărimilor derivate care caracterizează regimul de funcționare al liniei de alimentare cu energie electrică și surse de generare distribuită.

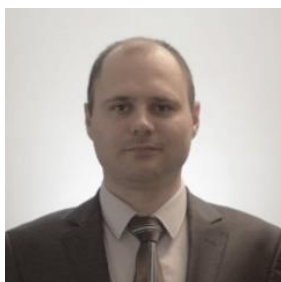
Pentru a asigura indicii de calitate a energiei electrice în linia cu surse distribuite de generare se recomandă de limitat puterea instalată a acestor surse. Puterea instalată nu trebuie să depășească 30% din vârful de sarcină observat în această linie de alimentare. În acest caz, se asigură indicii de calitate a energiei electrice în limitele prescrise în standarde.

VI. BIBLIOGRAFIE

- [1] DIRECTIVA (UE) 2018/2001 A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI din 11 decembrie 2018 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile [DIRECTIVA (UE) 2018/2001 A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI din 11 decembrie 2018 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile.]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>. (accesat 14.09.2020)
- [2] STRATEGIA ENERGETICĂ a Republicii Moldova până în anul 2030. HOTĂRÎRE de GUVERN Nr. 102 din 05-02-2013.[ENERGY STRATEGY of the Republic of Moldova until 2030. GOVERNMENT DECISION No. 102 from 05-02-2013] https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=68103&lang=ro. (accesat 14.09.2020).
- [3] Regulamentul privind dezvoltarea rețelelor electrice de distribuție. Aprobato HOTĂRÎREA Consiliului de Administrarea ANRE nr.94/2019 din 4 aprilie 2019.[Regulamentul privind dezvoltarea rețelelor electrice de distribuție. Aprobato HOTĂRÎREA Consiliului de Administrarea ANRE nr.94/2019 din 4 aprilie 2019] https://premierenergy.md/sites/default/files/Reg_Dezvoltare_Monitorul_Oficial_171-177.pdf. (accesat 15.09.2020).
- [4] Chindriș M., Cziker A., Miron Anca, Sacerdoțianu D. Generare distribuită de mică putere pentru integrarea resurselor regenerabile în rețele de distribuție de joasă tensiune [Small Distributed Renewable Energy Generation for Low Voltage Distribution Networks].Problemele energeticii regionale, 2016, 2(31), pp. 11-21. DOI: 10.5281/zenodo.1208190. ISSN 1857-0070.
- [5] Livioara Șujdea, Ligia Costin. Provocări în rețelele Operatorilor de Distribuție, determinate de racordarea la rețea a prosumatorilor [Provocări în rețelele Operatorilor de Distribuție, determinate de racordarea la rețea a prosumatorilor.]. <http://cnr-cme.ro/wp-content/uploads/201> (accesat 14.09.2020).
- [6] Adrian PANĂ. Teza de abilitare “Cercetări privind analiza și optimizarea regimurilor de funcționare a rețelelor pentru transportul și distribuția energiei electrice” [Research on the analysis and optimization of the operation regimes of the networks for electricity transmission and distribution], 2019, UPB, București, România. http://www.upt.ro/img/files/2018-2019/doctorat/abilitare/Pana-Adrian/Adrian_Pana_Teza_abilitare_2.pdf (accesat 14.09.2020)
- [7] Mekhamer, S., F., Soliman, S., A., Mostafa, M., A., El-Hawary, M., E. Load Flow Solution of Radial Distribution Feeders: A New Approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 24, Issue 9, November

- 2002, Pages 701-707. doi.org/10.1016/S0142-0615(02)00005-4. ISSN:0142-0615.
- [8] Bansal, R. C. Dr. (2005) "Optimization Methods for Electric Power Systems: An Overview". *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, Vol. 2: Iss. 1, Article 1021. Pages 1-23. DOI: 10.2202/1553-779X.1021. Online ISSN: 1553-779X.
- [9] Berzan V., Comparative analysis of methods of calculation in transient and wave processes in electric circuits. *Journal of Engineering Science*, Vol. XXVI, no. 2 (2019), pp. 40 – 57, DOI: 10.5281/zenodo.3249182, ISSN 2587-3474, eISSN 2587-3482.
- [10] Berzan, V., Patsyuk V., Ribacova, G., Ermurachi, I., Moraru, L. Analytical solutions for wave process in electrical line with capacitive, inductive and active load, *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2019*, 2-6 July 2019, Lviv, Ukraine – Proceedings. doi:10.1109/UKRCON.2019.8879853
- [11] Comendant I., Identificarea soluțiilor de acoperire a cererii de energie din sursele regenerabile [Identificarea soluțiilor de acoperire a cererii de energie din sursele regenerabile.]. *Problemele Energeticii Regionale*, 2011, 2(16). – pp. 39-52. ISSN 1857-0070.
- [12] BERZAN, V.; POSTOLATI V. Privitor la concepția și esența proiectului programului de utilizare a resurselor regenerabile energetice în Republica Moldova [Regarding the conception and essence of the project of the program for the use of renewable energy resources in the Republic of Moldova]. *Conferința Internațională „Energetica Moldovei 2005”*, 21-24 septembrie 2005, Chișinău. Materialele Conferinței EM-2005. –pp 560-568. <http://www.ie.asm.md/ro/energetica-moldovyi-2005> .(accesat 10.09.2020)
- [13] Global Energy Statistical Yearbook. <https://www.enerdata.net> .(accesat 15.06.2020)
- [14] Raportul privind activitatea Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică în anul 2019 [Raportul privind activitatea Agenției Naționale pentru Reglementare în Energetică în anul 2019.]. <http://www.anre.md/raport-de-activitate-3-10>. (accesat 15.06.2020)
- [15] <https://noi.md/ru/jekonomika/v-moldove-poyavitsya-seti-iz-70-zaryadnyh-stancij-dlya-jelektromobilej> .(accesat 07.08.020)
- [16] BERZAN, V. *Electrofizica și energetica [Electrofizica și energetica.].* Universitatea Academiei de Științe a Moldovei; IE AȘM. – Chișinău, 2014. – 262p. ISBN 978-99-75-62.
- [17] *GOST 13109-97. Energia electrică. Compatibilitatea electromagnetica a mijloacelor tehnice. Normele de calitate a energiei electrice în sistemele de alimentare cu energie electrică de distribuție generală.*[Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in public electrical systems]. Publ. Standardinform, 2006. 50 p.
- [18] Zorin, V. V., Buyniy, R. A., & Perepecheniy, V. A. (2015). *MODELI I METODY RASCHETA I OCENKI POTER' MOSHCHNOSTI I ELEKTRICHESKOJ ENERGII V RASPREDELITEL'NYH SETYAH 0, 38 kV.* Energoberezhnie. *Energetika. Energoaudit.*, (5), 19-27.
- [19] Borodin M.V., Uryupin N.S. *Obosnovanie energoeffektivnogo secheniya linij elektroperedach pri otkloneniyah napryazheniya ±5 %, ±10 %.* *Vestnik NGIEI*, (2 (81)), 20-29.
- [20] Kovaleva, A. A., Svirida, YA. S. (2018). *Opređenje dopustimoy poteri napryazheniya v elektricheskikh setyah napryazheniem do 1 kV promyshlennykh predpriyatij.*

Despre autor .



Doctorand al Institutului de Energetică a Moldovei. Interesul științific: cercetarea impactului generării distribuite asupra calității energiei electrice în rețelele electrice de joasă tensiune și cercetarea impactului generării distribuite în rețelele electrice asupra apariția incendiilor.

E-mail: vierudmitry@gmail.com