

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI
INSTITUTUL DE ENERGETICĂ**

Cu titlu de manuscris
C.Z.U: 621.316.027.2:004.42

VIERU DMITRII

**CERCETAREA IMPACTULUI CONSUMULUI ȘI GENERĂRII
DISTRIBUITE ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE ASUPRA
CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE**

221.01. SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Chișinău, 2025

Teza a fost elaborată în cadrul laboratorului „Modelarea și diagnoza echipamentului energetic” a Institutului de Energetică a Universității Tehnice a Moldovei.

Conducător științific:

Vladimir BERZAN, doctor habilitat în științe tehnice, profesor cercetător, IP „Institutul de Energetică”.

Consultant științific:

Dmitrii ZAIȚEV, doctor în științe tehnice, conferențiar cercetător, IE a UTM.

Referenți oficiali:

1. **Erhan Fiodor**, doctor habilitat în științe tehnice, conferențiar universitar, UASM (UTM);
2. **Comendant Ion**, doctor în științe tehnice, conferențiar cercetător, IE a UTM.

Componenta consiliului științific specializat:

1. **Chiorsac Mihail**, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, UTM;
2. **Ambros Tudor**, doctor habilitat în științe tehnice, profesor universitar, UTM;
3. **Stratan Ion**, doctor în științe tehnice, profesor universitar, UTM;
4. **Bicova Elena**, doctor în științe tehnice, conferențiar cercetător, IE a UTM;
5. **Gropa Victor**, doctor în științe tehnice, consultant principal, Ministerul Energiei al Republicii Moldova.

Susținerea tezei va avea loc la **04 februarie 2025 ora 15.00** în ședința Consiliului științific specializat ad-hoc aprobat prin Decizia Consiliului de conducere al Agenției Naționale de Asigurare a Calității în Educație și Cercetare nr. 2 din 24 mai 2024, pe adresa: str. Academiei 5, mun. Chișinău, MD-2028, Republica Moldova, sala de ședințe a Institutului de Energetică (biroul 434).

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate în Biblioteca Tehnico-Științifică a Universității Tehnice, pe adresa electronică a **Universității Tehnice a Moldovei** (library@lib.utm.md) și pe pagina web a ANACEC din Republica Moldova (www.anacec.md).

Rezumatul a fost expediat la data de **30 decembrie 2024**.

Secretar științific:

Tîrșu Mihai, doctor în științe tehnice, conferențiar cercetător, IE a UTM



(semnătura)

Consultant științific:

Dmitrii ZAIȚEV,
doctor în științe tehnice,
conferențiar cercetător, IE a UTM



(semnătura)

Autor:

Vieru Dmitrii



(semnătura)

© Vieru Dmitrii, 2025

CUPRINS

ABREVIERI	2
REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII	3
CONȚINUTUL TEZEI	9
I. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL CERCETĂRII IMPACTULUI CONSUMULUI ȘI GENERĂRII DISTRIBUITE ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE ASUPRA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE	9
II. ELABORAREA CONCEPTULUI ȘI A METODOLOGIEI DE CALCUL PENTRU CERCETAREA REGIMULUI REȚELEI DE JOASĂ TENSIUNE CU SURSE ȘI SARCINI DISTRIBUITE	10
III. MODELAREA IMPACTULUI CONSUMULUI ȘI GENERĂRII DISTRIBUITE CONCOMITENTE ÎN REȚELELE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE	12
3.1. Modelarea rețelei electrice de joasă tensiune cu consumatori și surse de generare distribuită	12
3.2. Examinarea impactului generării distribuite în rețelele electrice de tip RL asupra profilului de tensiune	18
3.3. Calculul rețelei electrice cu sarcini și surse de generare distribuite cu tensiunea $U=380$ V în diferite regimuri de funcționare	23
3.4. Estimarea impactului variabilelor independente asupra corectitudinii restabilirii semnalului ne-sinusoidal	25
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI	28
ADNOTARE	34
ABSTRACT	35
PEZIOME	36

ABREVIERI

SGD	Surse cu generare distribuită
SER	Surse de energie regenerabilă
CD	Consumatori distribuți
SD	Sarcini distribuite
P_g	Putere de generare
P_n	Puterea nominală
REJT	Rețele electrice de joasă tensiune
e.e	Energie electrică

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Motivația alegerii subiectului. Dezvoltarea rapidă și diversificarea SGD cu generare directă în REJT și consum concomitent, stabilește necesitatea evaluării impactului asupra calității e.e. Lipsa unor metode analitice de calcul, din cauza numărului mare de consumatori, numărului mare de SGD și prezența surselor neliniare conduce la apariția incertitudinii privind calitatea e.e, ceea ce va poate genera deconectări, avarii, incendii sau electrocutări. Alegerea subiectului ține de elaborarea unor metode analitice de calcul necesare pentru stabilirea impactului asupra calității e.e în speță asupra profilului tensiunii, la etapa elaborării studiilor de prefezabilitate și fezabilitate a rețelelor.

Actualitatea și importanța problemei abordate. SEE în ansamblul reprezintă mulțimea de elemente destinate generării, transportării și distribuiri e.e conectate între ele. SEE actual include centrale de generare a e.e, stații de ridicare și coborâre a nivelului de tensiune, linii electrice de joasă, medie și înaltă tensiune. Totodată, SEE cuprinde și toate instalațiile care sunt considerate neelectrice cum ar fi mecanismele ce acționează generatoarele, pilonii pe care sunt suspendate conductoarele etc.

Arhitectura clasică a sistemului electroenergetic se datorează prezenței surselor de energie pe anumite teritorii. Producerea globală de e.e are următorul aspect: centrale pe combustibilii fosili (cca. 54%), centrale amplasate pe râuri (cca. 36%) și centrale nucleare (cca. 10%).

Conform bazelor de date ale companiei de cercetare independentă „Enerdata” se constată că odată cu dezvoltarea SER, către anul 2023 producere e.e capătă următorul aspect: centrale pe combustibilii fosili (cca. 45,4%), centrale amplasate pe râuri (cca. 15,2%), centrale nucleare (cca. 9,1%), centrale eoliene și solare (cca. 30,3%), astfel crescând semnificativ ponderea energiei din SER, în produsul mondial, comparativ cu arhitecturile clasice.

Producerea e.e din combustibili fosili, are un impact negativ asupra mediului ambiant deoarece în urma arderii cu emisii mari de dioxid de carbon (CO₂), sporește încălzirea globală. Totodată, epuizarea combustibililor fosili influențează creșterea prețurilor la combustibil și respectiv creșterea prețurilor e.e. la nivel global.

Amplasarea centralelor electrice pe cursurile râurilor au efecte negative asupra sistemii ecologice a râurilor. Construirea unor baraje deseori conduce la modificări geologice în zonă având impact negativ care poate conduce la dezastre ecologice.

Accidentul nuclear din 26 aprilie 1986, la centrala electrică de la Cernobîl și urmat de accidentul nuclear de la centrala electrică Fukushima Daiichi din data de 11 martie 2011, au condus la catastrofe ecologice mondiale cu pierderi de vieți omenești, iar potrivit diferitor surse numărul acestora depășește cifra de un milion.

În prezent se atestă o creștere a populației pe glob cu aproximativ un miliard de persoane comparativ cu perioada inițială a creării sistemelor electroenergetice, fapt ce impune extinderea acestora. Dezvoltarea topologică a sistemului electroenergetic prevede extinderea rețelelor, modernizarea acestora privitor la creșterea capacităților de generare.

Centralele existente deseori nu permit instalarea unor puteri suplimentare de generare, iar funcționarea la parametrii inițiali calculați, impune regimuri de funcționare anormale. Astfel, creșterea capacității de generare a centralei sporește consumul de combustibili fosili.

Reieșind din cele expuse, putem conchide, că sistemele electroenergetice actuale reprezintă sisteme centralizate care au un șir de dezavantaje, și anume:

- managementul defectuos la exploatarea optimă în vederea creșterii randamentului sistemului și diminuării emisiilor cu efect de seră;
- influențe negative asupra mediului ambiant cu provocări de dezastre ecologice mondiale;
- sensibilitatea rețelelor electrice la avarii în cascadă urmată de căderea SEE în ansamblu;
- generarea de pierderi mari în transportul și distribuția e. e cauzată de distanțe mari dintre centralele electrice și consumatorii finali.

În scopul diminuării dezavantajelor indicate, sunt propuse un șir de soluții care pot diminua dependența sistemului electroenergetic de combustibili fosili prin integrarea surselor de energie regenerabile în sistemele electroenergetice existente prin implementarea surselor de generare regenerabilă.

La momentul actual pentru producerea e.e. din SER sunt folosite energiile eoliene, solare, și acvatice. SER geotermale sunt realizate în termoeenergetică, iar aplicarea lor la producerea e.e în proporții industriale nu și-au găsit locul din cauza randamentului scăzut cauzat de temperaturile insuficiente ale aburului. Folosirea resurselor acvatice drept SER are o pondere mai aplicativă în sectorul de producere a e.e, și anume energia râurilor. Aplicarea altor SER acvatice așa precum energia valurilor sau cea a mareelor din diferite motive tehnice nu și-au găsește aplicarea în serie.

Amplasarea centralelor electrice de mari puteri din SER ocupă teritorii vaste, ce creează dificultăți pentru agricultură, circulației maritime, iar complexitatea acestora duce la micșorarea fiabilității SEE. Caracterul intermitent de generare a energiei din SER, pentru puteri mari impune rezervarea de putere din surse convenționale de energie.

În scopul diminuării numărului de dezavantaje ale SEE existente se propune implementarea conceptului generării distribuite (GD). Acest concept prevede o generare a e.e din SER conectate la rețeaua publică cu posibilitatea consumului și generării concomitente a e. e.

GD micșorează gradul de emisie a gazelor cu efect de seră, creează o nouă piață de energie bazată pe diverse surse de energie, oferă posibilități de dezvoltare a micilor producători de e.e, reduce încărcarea rețelelor electrice, micșorează pierderile de transport și distribuție a e.e, asigură o securitate în alimentare cu e. e și reduce cererea de producere a e.e în orele de vârf.

Totodată, implementarea GD prevede și o serie de dezavantaje cum ar fi: condiții specifice de racordare a SER cu rețelele electrice de distribuției existente, investiții ridicate, costul ridicat al energiei produse din cauza menținerii capacității de rezervă și influența asupra nivelului de penetrare a sistemului electroenergetic.

Nivelul de penetrare asupra sistemului electroenergetic este determinat de numărul de surse de generare. Funcționarea intermitentă a SER are următoarele aspecte:

- profilul tensiunii în diferite puncte ale rețelei are valori diferite și depinde de cantitatea de energie generată;
- în urma generării intermitente apar tensiuni tranzitorii;
- valorile curenților de s.c se majorează;
- pierderile de e.e nu se modifică;
- calitatea și fiabilitatea e.e nu corespunde normelor și standardelor aprobate.

Totodată, instalațiile electrice ale consumatorului transformă e.e în alte forme de energie. Durata de viață, calitatea produsului final, securitatea acestora depinde de calitatea de e.e prestată de furnizor. Arhitectura clasică a rețelelor a stabilit standarde și norme care ar exclude careva posibilități de influență asupra utilajului. Arhitectura GD cu conectarea SER ce funcționează în diferite regimuri pot avea un impact negativ/pozitiv asupra calității e.e, iar rezultatul conectării nu este examinat.

Calitatea e.e reprezintă indicatorul de performanță a produsului finit, care indică posibilitatea aplicării acestui produs conform destinației fără careva pierderi (economice sau vitale). În așa mod SEE depinde de parametrii de calitate a e.e. la diferite trepte, iar careva modificări ale topologiei clasice cu conectarea unor instalații de generare a e.e conduce la distorsionarea parametrilor, poate genera avarii în întregul sistem la diferite trepte inclusiv și la treaptă de consum cu pierderi economice importante.

Problema de cercetare este actuală, are un interes major atât sub aspect teoretic și normativ, cât și sub aspect practic pe plan național și internațional.

Este de menționat că pe plan național dezvoltarea GD începe prin aprobarea Hotărârii Guvernului nr. 1092/2000 cu privire la resursele energetice regenerabile de unde apare necesitatea valorificării eficiente a SER prin care se aprobă planul acțiunilor autorităților publice centrale și locale privind utilizarea resurselor energetice regenerabile care prevede montarea unor

microhidrocentrale, agregat-pilot eolian, construirea unui sistem autonom de alimentare cu e.e antigrindină, ceea ce pune unele începuturi de cercetare în domeniul prenotat. Ulterior, este aprobată Legea energiei regenerabile nr. 160/2007 obiectul căreia este constituirea unui cadru juridic a sectorului energiei regenerabile în speță și pentru comercializarea e.e prin rețelele electrice de distribuție și/sau transport cu o putere de cel puțin 10 kW. Prezenta lege a fost abrogată prin Legea nr. 10/2016 privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile cu modificările următoare.

Așadar, temei pentru dezvoltarea domeniului cercetat este Legea nr. 29/2011 pentru ratificarea Statutului Agenției Internaționale pentru Energie Regenerabilă (IRENA), în care intră toate formele de dezvoltare a energiei regenerabile inclusiv și cele din domeniul electroenergetic (REJT).

În temeiul dezvoltării tehnologiilor, se constată necesitatea conectării producătorii de e.e din SER în REJT, iar cadrul legal din Republica Moldova nu permite și din acest considerent art. 29 alin (2) din Legea nr. 10/2016, se modifică prin obligarea furnizorilor să achiziționeze e.e din SER astfel consolidând necesitatea stabilirii impactului GD în REJT. Tot aici, apare și limitarea de putere posibilă de generare din SER până la 200 kW, dar nu mai mare decât puterea contractată.

Dezvoltarea GD pe teritoriul Republicii Moldova a condus la necesitatea aprobării unei Hotărâri de Guvern cu privire la aprobarea limitelor de capacitate, cotelor maxime și categoriilor de capacitate în domeniul energiei electrice din surse regenerabile până în anul 2020 (HG nr. 689/2018) pentru a putea limita capacitățile de generare și reduce impactul în rețelele electrice ceea ce pune în aplicare art. 34 din Legea nr. 10/2016, ulterior revizuită și reaprobată prin Hotărârea Guvernului nr. 401/2021 cu privire la aprobarea limitelor de capacitate, a cotelor maxime și a categoriilor de capacitate în domeniul energiei electrice din surse regenerabile valabile până la data de 31 decembrie 2025 (cu modificările ulterioare).

Reieșind din cele expuse, se constată că Republica Moldova are un cadru normativ care oferă posibilitatea implementării GD din SER și de unde se stabilește o necesitate de cercetare a impactului asupra unor parametri de calitate a e.e fără modificări conceptuale ale arhitecturii SEE existent.

În așa mod, cercetarea în domeniul GD devine pentru Republica Moldova o actualitate dictată de Acordului de Asociere între Republica Moldova, pe de o parte, și Uniunea Europeană și Comunitatea Europeană a Energiei Atomice și statele membre ale acestora, pe de altă parte, care încurajează producerea e.e din surse regenerabile de către consumatori și dictează schimbul de consum-generare conform unei piețe libere.

Scopul cercetării constă în stabilirea impactului SGD conectate în REJT cu SD asupra calității e.e prin elaborarea unor metode noi de calcul ce ar permite stabilirea profilului de tensiune în diferite regimuri de funcționare precum și echivalarea surselor de tensiune prezentate de un spectru de armonici superioare condiționate de prezența sarcinilor neliniare în condițiile stabilirii profilurilor de tensiune în nodurile rețelelor electrice arborescente cu surse și SD.

Obiective specifice:

Obiectivul 1. Elaborarea procedurii de calcul al regimului staționar a rețelei electrice arborescente care v-a permite stabilirea profilului de tensiune pentru REJT cu SGD.

Obiectivul 2. Stabilirea procedurii de liniarizare a elementelor neliniare (surse distribuite de energie și sarcinilor neliniare cu componente liniare) din REJT, reieșind din profilul tensiunii stabilit în nodul rețelei examinate.

Obiectivul 3. Adaptarea metodei de calcul a rețelei electrice cu parametrii complecși în regim tranzitoriu pentru rețeaua arborescentă cu surse și CD.

Obiectivul 4. Examinare impactului dependențelor dintre puterile consumate și generate conform curbelor de sarcină și generare asupra profilului de tensiune.

Obiectivul 5. Evaluarea profilului de tensiune în noduri pentru stabilirea impactului calitativ asupra calității e.e.

Ipoteza de cercetare constă în faptul, că profilul tensiunii poate fi analizat ca element al calității e.e și oferă posibilitatea stabilirii impactului generării și consumului distribuit în REJT, iar metodele utilizate pentru cercetare pot fi clasice și permit calculul profilului tensiunii din noduri conform topologiei rețelei în condiții de majorarea a puterii consumate de către receptorii racordați distribuit la aceste rețele și a cotei SGD. Totodată, rezultatele obținute pot fi aplicate la stabilirea impactului elementelor neliniare ale rețelei prin liniarizarea acestora și stabilirea valorilor inițiale ale tensiunii din noduri.

Sinteza metodologiei de cercetare și justificarea metodelor de cercetare. Prezenta lucrare este o continuitate a ciclului de monografii științifice elaborate în cadrul Institutului de Energetică așa precum: 1) Volnovye yavleniya v neodnorodnyh linyah. Tom 1. Teoriya rasprostraneniya voln potenciala i toka” (V.K Rimskii, V.P. Berzan, M.S Tyrshu); 2) Procese nestacionare în circuite electrice neomogene (V.P. Berzan, V.K Rimskii); 3) Volnovye yavleniya v neodnorodnyh linyah. Tom 3. Peredacha moshnostej po cepyam postoyannogo i peremennogo napryazheniya (V.K Rimskii, V.P. Berzan, V.I Pacyuk, M.S Tyrshu, M.N Uzun); 4) Volnovye yavleniya v neodnorodnyh linyah. Tom 4. Parametricheskie cepi (V.K Rimskij, V.P. Berzan, V.I Pacyuk, N.F. Karcheva, I.V. Andros); 5. Volnovye yavleniya v neodnorodnyh strukturah. Tom 5.

Teoriya i metody rascheta elektricheskikh cepej, elektromagnitnyh polej i zashitnyh obolochek AES (V.K Rimskij, V.P. Berzan, V.I Pacyuk, G.A. Rybakova, T.G. Kapchelya).

Au fost examinate și cercetate metodologiile existente de calcul a impactului SGD asupra calității e.e, de unde s-a ajuns la concluzia, că metoda curenților de buclă are mai multe avantaje privind soluționarea problemei științifice formulate, deoarece asigură mai multe posibilități de dezvoltare a procedurilor formalizate de calcul, care au la bază un algoritm determinist de elaborare a modelului matematic a circuitului analizat cu topologie aleatoare, determinată de distribuția receptorilor de e.e, variația puterii acestor receptori, inclusiv creșterea puterii lor, a puterii SGD racordate la această rețea de alimentare.

Implementarea rezultatelor științifice. Rezultatele cercetării sunt puse în aplicare prin publicarea a 13 lucrări științifice, prezentate la două foruri internaționale și trei conferințe științifice.

Aprobarea rezultatelor cercetării și valoarea aplicativă a lucrării. Rezultatele cercetării au fost implementate în procesul de proiectare „Modelul de calcul a rețelei electrice de joasă tensiune cu receptori distribuiți” și „Algoritm de calcul a circuitului cu surse distribuite de energie”. Rezultatele au fost utilizate în cadrul proceselor decizionale a proiectanților la proiectarea rețelelor electrice de joasă tensiune cu SGD și SD.

Structurarea lucrării. Introducere, trei capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 121 de surse, 128 pagini text de bază, 62 de figuri, 11 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 13 lucrări științifice, prezentate la două foruri internaționale și trei conferințe științifice.

CONȚINUTUL TEZEI

I. ANALIZA SITUAȚIEI ÎN DOMENIUL CERCETĂRII IMPACTULUI CONSUMULUI ȘI GENERĂRII DISTRIBUITE ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE ASUPRA CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

Capitolul I reprezintă o analiză a evoluției generării distribuite analiza retrospectivă a dezvoltării sistemelor de alimentare cu e.e indică o evoluție a conceptelor de realizare a arhitecturii acestora în funcție de dezvoltarea tehnologiilor de producere, transmisie și distribuție a e.e. GD a cunoscut perioade de creștere și declin. În prezent se manifestă tendința de creștere a cotei GD, inclusiv, și urmare a promovării conceptului rețelelor inteligente (SMART GRID) cu multiple SGD (micro rețea) [1-4].

Totodată, în urma examinării metodelor existente de calcul ce pot permite elaborarea unui procedeu/algorithm pentru stabilirea impactului consumului și generării concomitente în rețelele electrice arborescente se stabilește necesitatea aplicării metodei curenților de buclă combinată cu metoda superpoziției [5-9].

O altă problemă separată stabilită o prezintă calcularea regimului în REJT în cazul funcționării cu sarcini neliniare, care au un impact semnificativ asupra indicilor de calitate a energiei electrice furnizate consumatorilor, chiar dacă unii din acești receptori nu au semne de neliniaritate, deci au caracteristicile de sarcină liniară.

Așadar, în cercetare și elaborare a abordărilor noi și metodologii de calculul al REJT cu SGD și sarcini neliniare asupra indicilor de calitate a e.e, apare necesitatea stabilirii unui indice al calității de la care derivă calculul impactului sarcinilor și surselor neliniare.

Este de menționat că, dezvoltarea segmentului de generare în baza SGD conduce la schimbarea arhitecturii sistemelor electroenergetice și a regimurilor lor de funcționare, care pot afecta atât calitatea energiei electrice, cât și funcționarea sistemelor de protecție, inclusiv, urmare a schimbării direcției fluxurilor de putere în rețelele electrice în comparație cu cele acceptate la proiectarea rețelelor. Sporirea complexității infrastructurii rețelelor electrice și faptul, că schemele echivalente de calcul aplicate în prezent nu corespund topologiei reale ale acestor rețele creează dificultăți la realizare calculelor regimurilor cu metode și tehnici tradiționale de calcul. Pentru sporirea preciziei calculelor, schemele și metodele de calcul este necesar de adaptat la topologia reală flexibilă a rețelelor de alimentare cu e.e.

În contextul aspectelor analizate se poate constata, că implementarea conceptului de GD, creșterea cotei sarcinilor neliniare, flexibilitatea topologiei rețelelor electrice prezintă o provocare pentru asigurarea calității e.e furnizate și creează dificultăți privind calculul regimurilor de funcționare ale acestora.

II. ELABORAREA CONCEPTULUI ȘI A METODOLOGIEI DE CALCUL PENTRU CERCETAREA REGIMULUI REȚELEI DE JOASĂ TENSIUNE CU SURSE ȘI SARCINI DISTRIBUITE

În capitolul II, se cercetează REJT care au lungimi mici în comparație cu lungimea rețelelor de medie și înaltă tensiune, sunt extins ramificate, fapt ce complică examinarea acestora. În așa mod, CD pe toată lungimea, nu permit un calcul exact în baza căruia am putea stabili valorile tensiunii. Pentru a putea elabora un concept de analiză a generării distribuite în REJT este necesar de elaborat o metodologie adaptivă de calcul a rețelelor cu topologie variabilă care includ SGD și SD, inclusiv neliniare.

În cadrul elaborării capitolului II, s-a demonstrat utilitatea aplicării metodei curenților de buclă pentru calcularea regimului de funcționare a rețelelor electrice cu sarcini și surse de generare distribuite și conceptul de elaborare a algoritmului de calcul robust atât pentru calcularea regimului permanent, cât și pentru calculul regimului tranzitoriu. Calculul regimului tranzitoriu după algoritmul elaborat se face cu aplicarea transformatei directe și inverse a lui Laplace [10-12].

Tot aici, s-a demonstrat, că pentru cazul regimului simetric în rețeaua de distribuție cu SD se poate aplica schema monofilară de calcul. Aceasta este o urmare a faptului, că în conductorul nul nu circulează curentul condiționat de dezechilibrul curenților fazelor circuitului trifazat după amplitudine și a unghiului de fază. Aceasta permite aplicarea procedurii de descompunere a circuitului trifazat în circuite monofilare pentru fiecare fază în care conductorul de retur al curentului spre sursa de alimentare a rețelei se prezintă ca un conductor ideal (fără rezistență activă și inductivitate). Aceasta reiese din regimul simetric și sinusoidal de funcționare al rețelei trifazate pentru care se îndeplinește condiția $Z_N \cdot (\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C) = 0$.

În rezultat se propune modalitatea de aplicare a schemei echivalente monofilare de calcul a regimului rețelei trifazate cu dezechilibrul curenților de fază prin introducerea în circuitul buclei respective a unei impedanțe echivalente suplimentare, care va lua în vedere impactul parametrilor conductorului nul asupra curentului în bucla circuitului. Valorile acestor parametri sunt funcție a curentului de dezechilibru prin conductorul nul și se determină reieșind din căderea tensiunii pe componenta inductivă a conductorului nul și asigurarea valorii constate a pierderilor de la curentul de dezechilibru al circuitului trifazat, deci în conductorul de întoarcere a curentului din schemele echivalente monofilare. Valorile echivalente ale parametrilor suplimentari sunt condiționate de scurgerea curentului prin conductorul nul și se calculează cu aplicarea următoarelor relații:

$$L_{kN}^{ech} = L_{kN} \frac{|I_{kN}|}{|I_k|} \text{ și } R_{kN}^{ech} = \frac{1}{3} \frac{I_{kN}^2}{I_k^2}, \text{ unde } k\text{- notare nodului de racord al rețelei [13].}$$

Concomitent s-au formulat regulile de formare ale buclelor de curent la calcularea regimului în circuit, care prevăd ca în fiecare buclă să fie o porțiune prin care circulă doar curentul acestei bucle. În calitate de astfel de ramuri unice se selectează ramurile transversale racordate la nodurile rețelei de alimentare și la conductorul nul și s-a propus și argumentat identitatea aplicării algoritmului de calcul pentru cazul calculării regimului în schema echivalentă similară topologiei reale a rețelei trifazate, procedeul de calcul al curenților și căderii tensiunii pe fiecare element al circuitului în baza utilizării primei teoreme Kirchhoff și a legii Ohm.

Totodată, s-a propus și argumentat procedeul de liniarizare a surselor distribuite de energie și sarcinilor neliniare cu componente liniare prezentate de impedanțe și tensiuni electromotoare. S-a argumentat procedeul de echivalare a surselor de curent prezentate de un spectru de armonici superioare, utilizând teorema Thevenin și componentele active și reactive ale elementului neliniar la frecvența armonicii fundamentale. Prin aceasta s-a depășit incertitudinea privind determinarea parametrilor sursei echivalente de tensiune, condiționată de faptul, că aplicarea teoremei Thevenin necesită pentru cazul armonicilor superioare de curent cunoașterea valorilor a două mărimi, pe când din spectrul curenților se cunoaște doar valoarea unei mărimi, a amplitudinii sau valoarea efectivă a curentului de frecvență superioară.

Reieșind din sursele analizate a fost propusă modalitate de calcul a profilului tensiunii de-a lungul liniei, utilizând valorile curenților de buclă și scenariul mai complex, dar concomitent și mai precis, care constă în determinarea profilului căderilor tensiunii în porțiunile longitudinale prin ce se ia în vedere impactul tuturor curenților de buclă asupra modalității de deformare a profilului tensiunii pe circuit de la intrare spre ieșire. Precizia primei modalități de determinare a profilului tensiunii în linie depinde de parametrii longitudinali și transversali ai schemei echivalente a fazei.

Așadar, aplicarea conceptului de decompoziție a circuitului trifazat în circuite monofilare, precum și substituirea elementelor neliniare cu componente liniare conduce la creșterea numărului de ecuații independente de calcul a curenților de buclă, dar aceasta nu conduce la creșterea complexității procesului de calcul, deoarece acest calcul se face separat pentru fiecare buclă, iar soluția rezultantă (finală) se obține prin sumarea setului întreg de soluții particulare, ținând cont de topologia circuitului. Aceasta prezintă un avantaj esențial al procedeului de calcul propus cu utilizarea metodei curenților de buclă, care permite calcularea atât a regimurilor permanente, cât și a regimurilor tranzitorii. Concomitent se pot realiza calcule estimative a valorilor coeficienților de distorsiune a profilului tensiunii și curentului în fiecare nod al rețelei de alimentare fără a face măsurători directe.

III. MODELAREA IMPACTULUI CONSUMULUI ȘI GENERĂRII DISTRIBUITE CONCOMITENTE ÎN REȚELELE ELECTRICE DE JOASĂ TENSIUNE

3.1. Modelarea rețelei electrice de joasă tensiune cu consumatori și surse de generare distribuită

Studiul de caz 1. Modelul prevede conectarea a 12 SD la care se conectează centrale electrice cu panouri fotovoltaice cu $P_g=5600 W$. Transformatorul are puterea aparentă de $S=630 kVA$. Conectarea sarcinii în nod (punctul de racord a consumatorului) se efectuează prin cablul cu lungimea $L=15 m$. În tabelul 3.1 este indicată puterea maximă ce poate fi conectată pe un fider în dependență de lungimea acestuia pentru sarcini trifazate distribuite și sarcini monofazate distribuite. Lungimea recomandată a unui fider cu tensiunea de 380 V este de până la 400 m, iar pentru tensiunea de 220 V este de până la 250 m. În realitate, datorită întinderii sectorului rezidențial liniile electrice ating lungimi de peste 700 m, cu un număr mare de consumatori.

Pentru calculul $P=67,2 kW$ ($U=220 V$) considerăm conductor СИП-4 4x95 lungimea medie de 32,5 m.

În scopul examinării impactului GD asupra calității energiei electrice în regim de consum și generare concomitentă vom utiliza datele inițiale din tabelul 3.1.

Tabelul 3.1. Datele generale de calcul

Nr.	Tensiunea nominală, V	Nr. consumatori	Lungimea fiderului, m	Puterea, kW
1.	220	12	390	67,2
2.	380	33	1072,5	184,8

Cercetarea presupune montarea panourilor solare de tip HH-POLY280W (280-300 W, Poli cristal, 1956x990x40). Puterea de generare a panoului este $P=280 W$, iar numărul total într-o gospodărie este 21 panouri. Puterea nominală a instalației fotovoltaice a unei gospodării din 21 panouri este $P=5580 W$, iar radiația solară $100 w/m^2$ și nu depășește puterea nominală a unei gospodării (nici puterea instalației furnizorului dimensionată de transformator).

Se atestă că în regim de generare și consum instalația de generare a e.e funcționează de la orele 6⁰⁰ până la orele 20⁰⁰, iar în perioada dintre ora 13⁰⁰ și ora 18⁰⁰ avem regim maxim de generare. Între orele 6⁰⁰-10⁰⁰ și 17⁰⁰-20⁰⁰ avem $P_g < P_n$, iar între orele 11⁰⁰-16⁰⁰ $P_g > P_n$. Intervalul dintre ora 10⁰⁰ și 11⁰⁰ îl putem considerăm $P_g = P_n$.

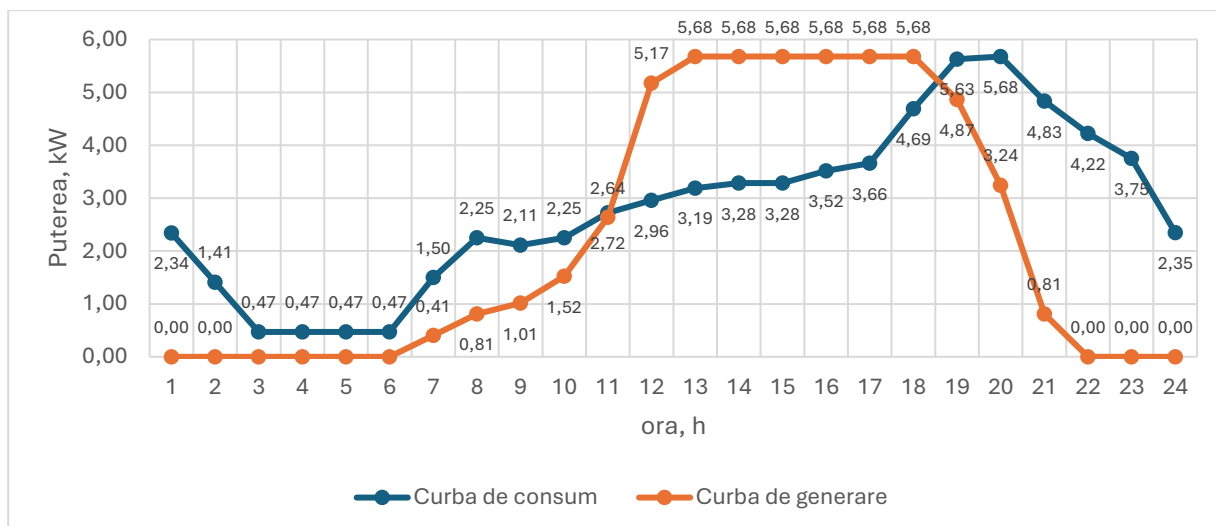


Fig.3.1. Curba de sarcina și consum pentru data de 15 iulie 2015

În figura 3.2 este indicat graficul orei 6⁰⁰ modelat prin metoda curenților de buclă, care corespunde $P_g < P_c$. Din rezultatele modelării se stabilesc profilurile de tensiune cu SGD au valori de la $U=220 - U=191,85$ V, iar fără SGD valorile profilurilor de tensiune corespund profilurilor de tensiune $220 - 179,54$ V.

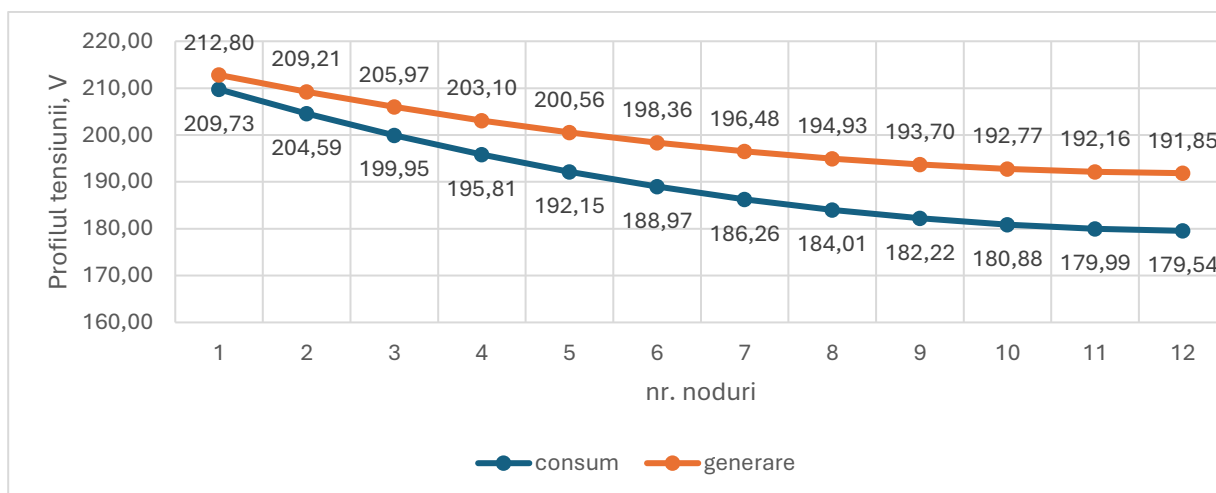


Fig.3.2. Rezultatele modelării profilului tensiunii din nodurile REJT cu 12 consumatori și 12 SGD ($U=220$ V), ($P_g (0,405$ kW) < $P_c (1,501$ kW), ora 6⁰⁰)

În figura 3.3 este indicat graficul orei 10⁰⁰ modelat, care corespunde $P_g \leq P_c$ din care reiese că profilurile de tensiune cu SGD au valori de la $220 - 218,47$ V, iar fără SGD valorile profilurilor de tensiune ating valorile de la $220 - 154,92$ V. Toate graficele modelate conform valorilor ce corespund $P_g \leq P_c$.

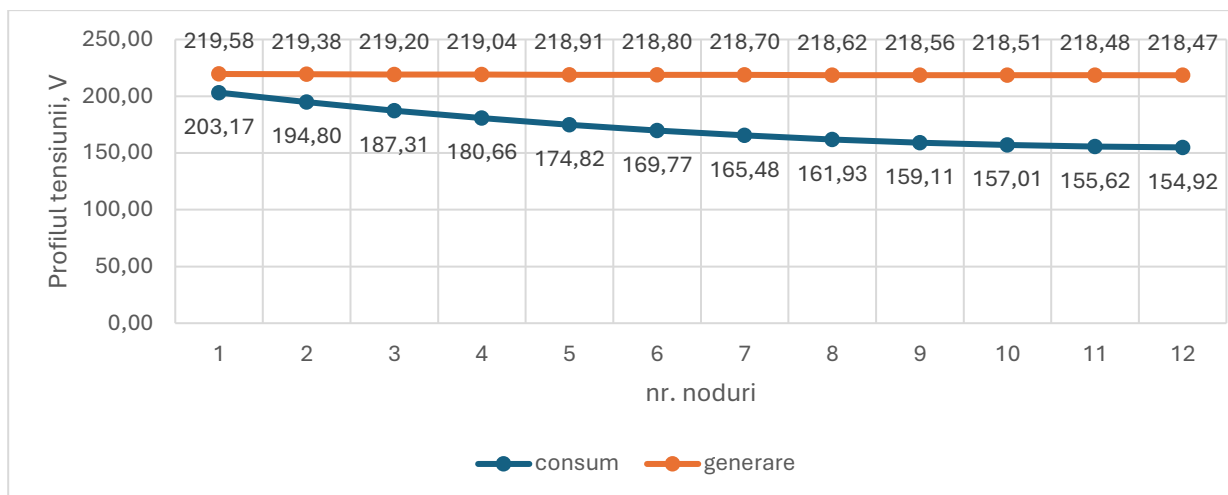


Fig.3.3. Rezultatele modelării profilului tensiunii din nodurile REJT cu 12 consumatori și 12 SGD ($U=220\text{ V}$), ($P_g (2,636\text{ kW}) \leq P_c (2,721\text{ kW})$, ora 10^{00})

În figura 3.4 este indicat graficul orei 13^{00} modelat, care corespunde $P_g > P_c$ din care reiese că profilurile de tensiune cu SGD au valori de la 220 – 251,80 V, iar fără SGD valorile profilurilor de tensiune ating valorile de la 220 – 145,35 V. Toate graficele modelate conform valorilor ce corespund $P_g > P_c$.

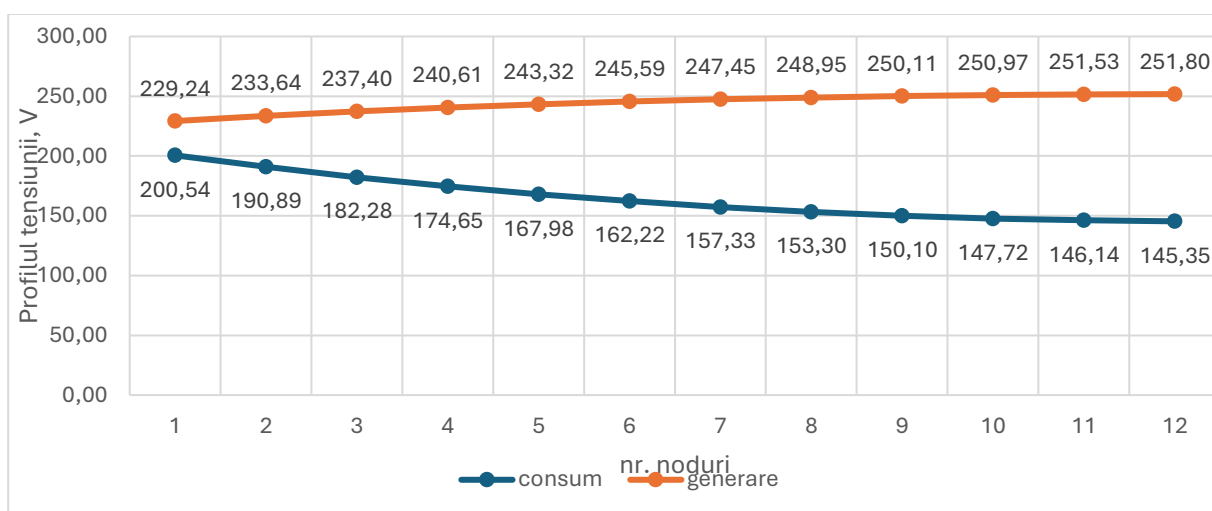


Fig.3.4. Rezultatele modelării profilului tensiunii din nodurile REJT cu 12 consumatori și 12 SGD ($U=220\text{ V}$), ($P_g (5,678) > P_c(3,284)$) ora 14^{00})

În scopul stabilirii regimului de mers în gol, modelarea se efectuează cu puterea de generare maximă $P_g = 5,678\text{ kW}$ în 12 noduri și considerăm puterea de consum $P_c = 0\text{ kW}$. Din rezultatele modelării stabilim o creștere a profilului de tensiune de la valorile nominale ($U=220\text{ V}$) la valori de $U=325,6\text{ V}$. Acest regim este un regim periculos pentru funcționarea instalațiilor electrice și conduce la avarii în instalația electrică examinată.

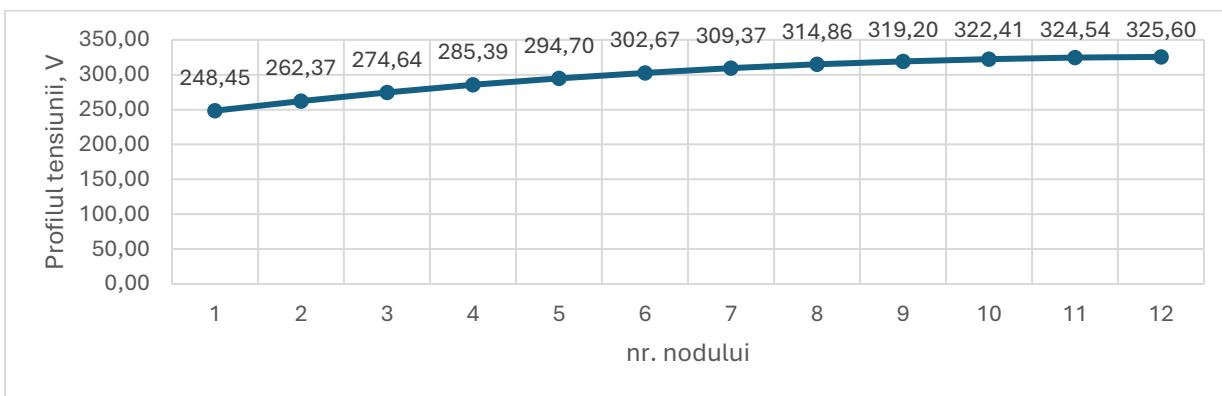


Fig.3.5. Rezultatele modelării profilului tensiunii din nodurile REJT cu 12 consumatori și 12 SGD ($U=220\text{ V}$) în regim de m.g ($P_c=0\text{ kW}$)

Modelarea regimului de s.c. se efectuează în timpul procesului de s.c când $U \rightarrow 0\text{ V}$, în acest sens considerăm tensiunea în nodul în care s-a produs s.c egală cu zero ($U=0\text{ V}$). În regim fără SGD, în nodurile de după s.c tensiunea $U=0\text{ V}$ se consideră drept condiție teoretică stabilită pentru calcul.

Modelarea se efectuează cu înlocuirea în nodurile buclelor de consum cu $U=0\text{ V}$, iar în buclele de generare $U=220\text{ V}$.

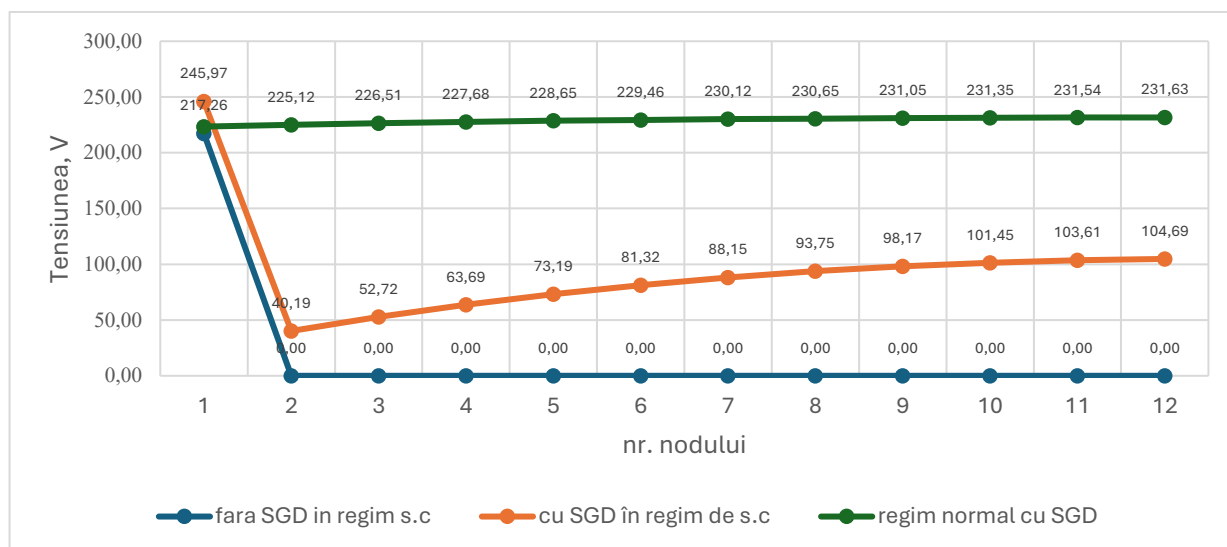


Fig.3.6. Rezultatele modelării profilului tensiunii din nodurile REJT cu 12 consumatori și 12 SGD ($U=220\text{ V}$), în regim de s.c pentru ora 17⁰⁰ nodul 1, ($P_n=4,691\text{ kW} < P_g=5,678\text{ kW}$)

Analiza impactului de GD în regim de s.c se efectuează pentru ora 17⁰⁰ la începutul liniei electrice în nodul 1, iar din rezultatele prezentate în graficul 3.6 ($P_g < P_c$) stabilim că în nodurile de după s.c există o tensiune de la $U=40,19\text{ V}$ în nodul 2 și $U=104,69\text{ V}$ în nodul 12.

Reieșind din rezultate se impune problema analizei impactului consumului și generării din SGD în nodul 6 pentru a putea stabili nivelul de impact.

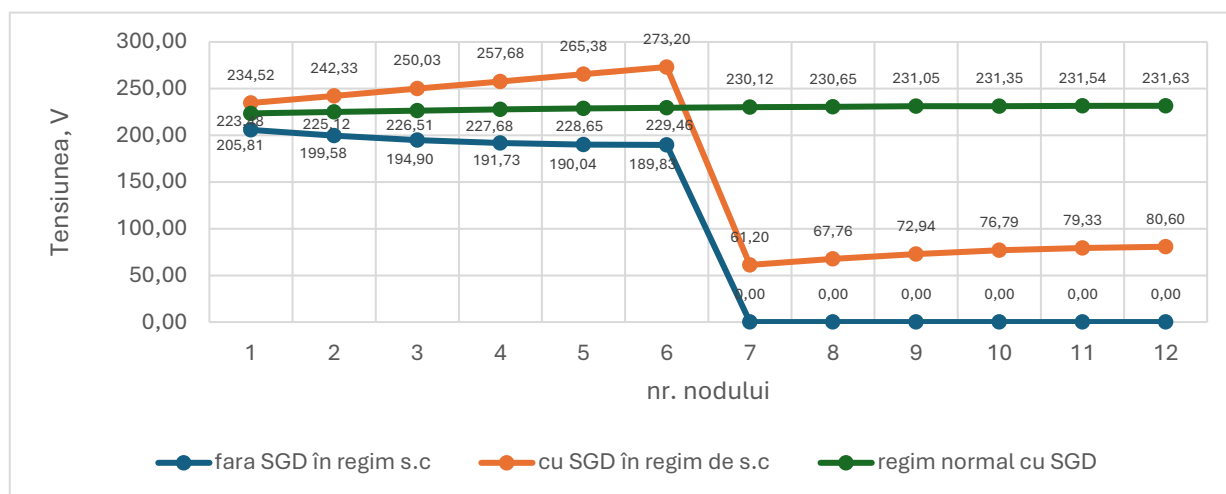


Fig.3.7. Rezultatele modelării profilului tensiunii din nodurile REJT cu 12 consumatori și 12 SGD ($U=220$ V), în regim de s.c pentru ora 17⁰⁰ nodul 6, ($P_n=4,691$ kW < $P_g=5,678$ kW)

Analiza impactului GD în regim de s.c pentru ora 17⁰⁰ la începutul liniei electrice în nodul 1 este prezentată în graficul 3.7 ($P_g > P_c$) de unde stabilim că în nodurile de după s.c există o tensiune de la $U=273,20$ V în nodul 6 și $U=61,20$ V în nodul 7, iar în nodul 12 $U=80,60$ V.

Reieșind din aceste două cazuri stabilim următoarele:

- nodurile în punctele de s.c sunt alimentate din două direcții (pentru ambele cazuri), iar în toate nodurile de după s.c se stabilesc tensiuni ce lipsesc în regim fără de SGD;
- în cazul s.c în nodul 6 (mijlocul geometric a liniei electrice), din nodul 1 și până în nodul 6, valorile profilurilor tensiunii cresc brusc comparativ cu regimul staționar de consum și generare concomitentă și regimul de consum.

Așadar, se creează o nouă problemă care necesită a fi soluționată deoarece obținem în regimul de s.c valori ale tensiunii în toată linia electrică, iar protecția existentă poate să nu sesizeze aceste valori. Tot aici, stabilim că în cazul s.c care tind spre 0 (zero), dar nu ating aceste valori din cauza rezistenței mari înregistrăm creșteri de tensiuni nestandardizate și o lipsă a protecției instalației electrice.

Studiul de caz 2. În acest scop la data de 15 iulie 2015 a fost colectate date ale vântului pentru a putea calculul puterii de generare a turbinei eoliene. Măsurătorii au fost vizualizați și monitorizați de către angajații Serviciului Hidrometeorologic de Stat la stația AWS Chișinău, la înălțimea de $h=10$ m.

Tabelul nr.3.2. Calculul puterii teoretice de generare conform vitezei reale ale vântului

ora	0	3	6	9	12	15	18	21	Teoretic
Viteza vântului, m/s	2,00	2,00	2,00	1,00	5,00	6,00	1,00	4,00	12,50
Puterea turbinei, kW	0,01	0,01	0,01	0,00	0,09	0,16	0,00	0,05	1,47

Pentru examinarea impactului GD din surse eoliene asupra profilului tensiunii sau ales turbine eoliene de tipul WE1500 cu puterea nominală $P_n = 1,5 kW$, înălțimea de montare $h=12$ m deasupra solului. Intru asigurarea condițiilor minime egale cu condițiile din calculului pentru sursele fotovoltaice și se propune montarea în gospodărie a 3 turbine de tip WE 1500 ($P_{tot}=4500 W$ la viteza vântului de 9-12 m/s, $P_{tot2}=7800 W$ și $P_{med}=6150 W$). În raza municipiului Chișinău conform datelor colectate pentru data de 15 iulie 2015, de către serviciul Hidrometeorologic de Stat viteza vântului, la înălțimea de $h=10$ m deasupra solului, este prezentată în tabelul 3.2.

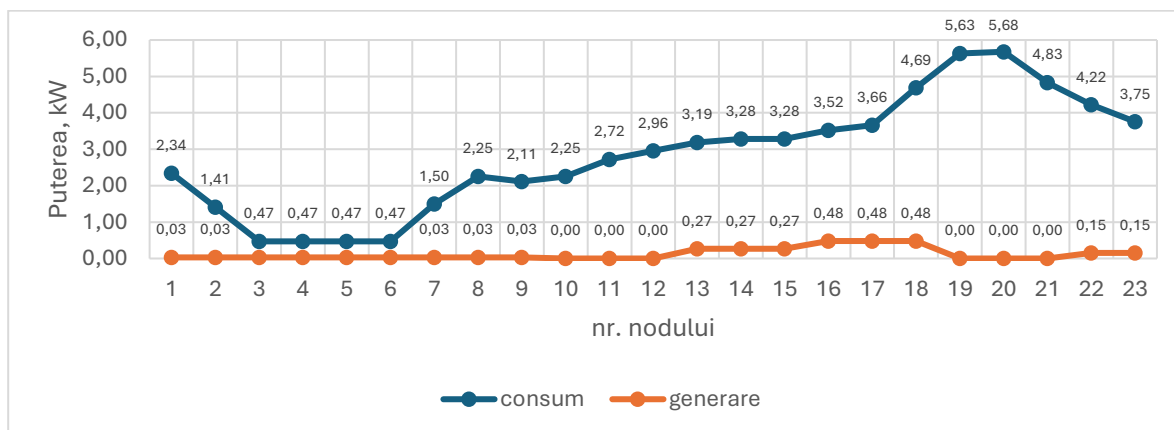


Fig.3.8. Curbele de consum a e.e și generare a e.e în dependență de vânt pentru data de 15 iulie 2015

În figura 3.9 este indicat graficul orei 6⁰⁰ modelat prin metoda curenților de buclă, care corespunde $P_g < P_c$. Din rezultatele modelării se stabilesc profilurile de tensiune cu SGD ce au valori de la $U= 220 - U=188,78 V$, iar fără SGD valorile profilurilor de tensiune corespund profilurilor de tensiune $220 - 179,54 V$.

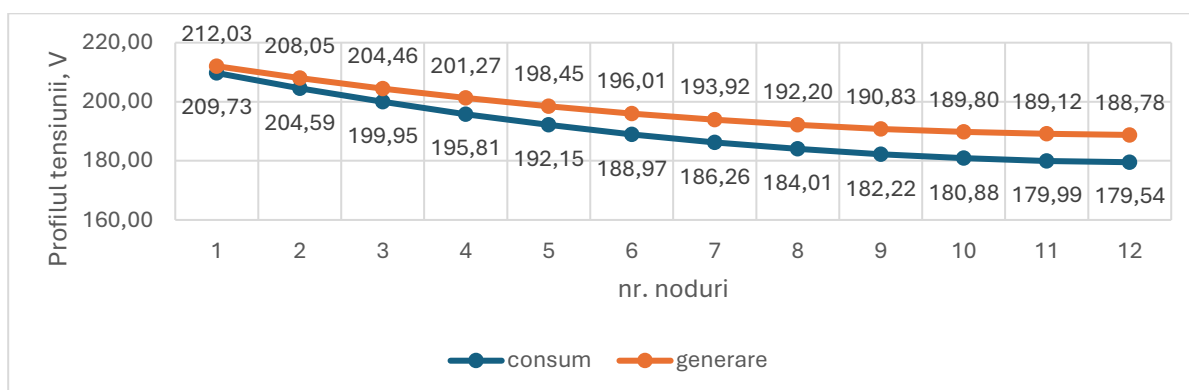


Fig.3.9. Profilul tensiunii din noduri calculat conform curbelor de sarcina și consum pentru data de 15 iulie 2015

Datele modelelor obținute permit stabilirea impactului în diferite regimuri de funcționare. Reieșind din instabilitatea condițiilor meteorologice pe parcursul anului (și anume a celor legate de mișcările maselor de aer) stabilim că o prognoză exactă a regimului de funcționare în dependență de curbele de sarcină nu este posibil. Totodată, rezultatele obținute permit elaborarea

condițiilor tehnice speciale și a măsurilor necesare de întreprins cunoscând condițiile meteorologice prognozate pe perioada de până la 5 zile (prognoza apropiată realității) în REJT.

O altă problemă se conturează din arhitectura REJT și anume din specificul acestora caracterizat de consumatori monofazați cu puteri de consum apropiate cerințelor individuale, ceea ce producătorii de turbine eoliene nu pot asigura prin turbine monofazate cu puteri de $P=5-7$ kW din cauza randamentului scăzut și dimensiunilor specifice turbinelor trifazate.

3.2. Examinarea impactului generării distribuite în rețelele electrice de tip RL asupra profilului de tensiune

Elaborarea metodei de analiză a impactului GD în REJT cu prezența elementelor RL se realizează conform figurii 3.10 prin determinarea mărimilor necunoscute a curenților și tensiunilor în diferite porțiuni ale circuitului descriem sistemul de ecuații (3.1) [14-16]:

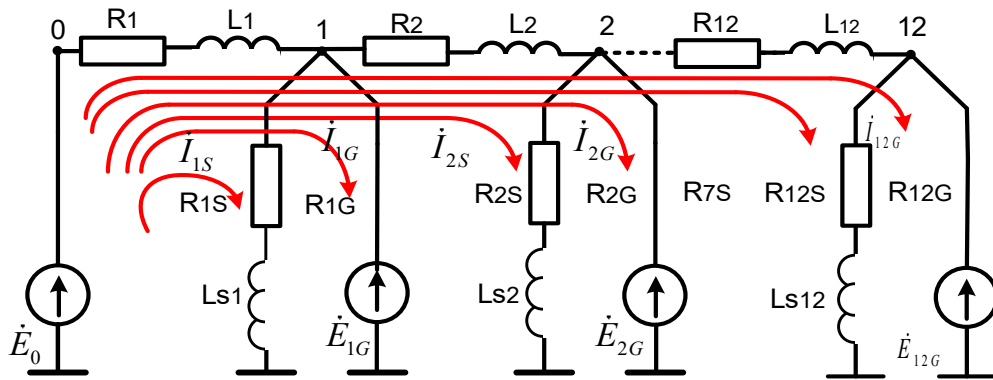


Fig.3.10. Schema de calcul pentru 12 sarcini

Alcătuiim ecuațiile diferențiale pentru schema din figura 3.10:

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1 i_{1s} + L_1 \frac{di_{1s}}{dt} + r_{1s} i_{1s} + L_{s1} \frac{di_{1s}}{dt} = e_0; \\ r_1 i_{1G} + L_1 \frac{di_{1G}}{dt} = e_0 - e_1; \\ \vdots \\ r_1 i_{12s} + L_1 \frac{di_{12s}}{dt} + r_{2s} i_{12s} + L_2 \frac{di_{12s}}{dt} + \dots r_{12} i_{12s} + L_{12} \frac{di_{12s}}{dt} + r_{12s} i_{12s} + L_{s12} \frac{di_{12s}}{dt} = e_0; \\ r_1 i_{12G} + L_1 \frac{di_{12G}}{dt} + r_{2s} i_{12G} + L_2 \frac{di_{12G}}{dt} + \dots r_{12} i_{12G} + L_{12} \frac{di_{12G}}{dt} = e_0 - e_n. \end{array} \right. \quad (3.1)$$

Alcătuiim ecuațiile diferențiale pentru schema din figura 3.10:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} = e_0; \\ R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} = e_0 - e_1; \\ \vdots \\ R_{12} i_{12} + L_{s12} \frac{di_{12}}{dt} = e_0; \\ R_{12} i_{12} + L_{12} \frac{di_{12}}{dt} = e_0 - e_{12}. \end{array} \right. \quad (3.2)$$

unde:

$$R_{k-1} = R_0 + \sum_{i=1}^k r_{Li} + R_{Sk}; R_k = R_0 + \sum_{i=1}^k r_{Li} + R_{Ek}$$

$$L_{k-1} = L_0 + \sum_{i=1}^k L_{Li} + L_{Sk}; L_k = R_0 + \sum_{i=1}^k L_{Li} + L_{Ek}.$$

În baza metodologiei se prezintă schema electrică de calcul pentru imaginile funcțiilor Laplace.

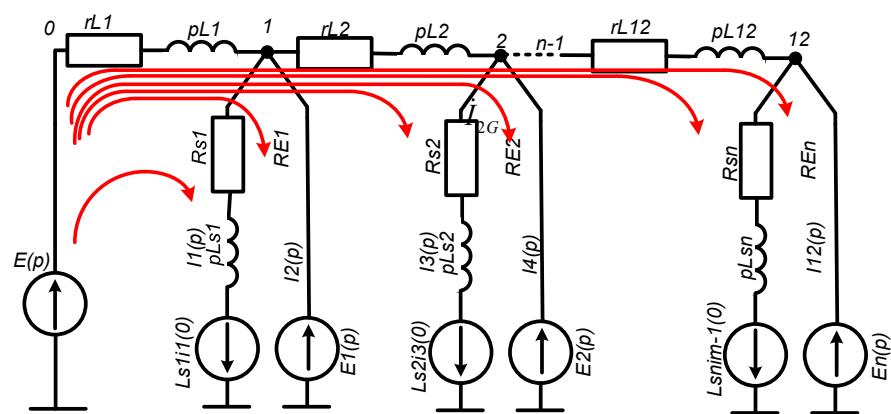


Fig. 3.11. Schema circuitului echivalent în ceea ce privește parametrii funcției imaginii după Laplace

Stabilim ecuațiile pentru schema din figura 3.11:

$$\left\{ \begin{array}{l} Z_{1S}(p)I_{1S}(p) = E_0(p); \\ Z_{2G}(p)I_{2G}(p) = E_0(p) - E_1(p); \\ \vdots \\ Z_{12S}(p)I_{12S}(p) = E_0(p); \\ Z_{12G}(p)I_{12G}(p) = E_0(p) - E_{12}(p). \end{array} \right.$$

Funcția de tensiune inițială în nodul 12 exprimată de parametrii circuitului de sarcină:

$$u_{S12}(t) = \frac{E_{0m} \left[\omega^2 L_{S1-12} - j\omega R_{S1-12} \right]}{-2L_{S1-12} \omega^2 + j2R_{S1-12} \omega} e^{-j\omega t} - \frac{E_{0m} \left[\omega^2 L_{S1-12} - j\omega R_{S1-12} \right]}{4L_{S1-12} \omega^2 - j2R_{S1-12} \omega} e^{-j\omega t} + \frac{E_0 \left[\left(\frac{R_{S1-12}}{L_{S12}} \right)^2 L_{S12} - \left(\frac{R_{S12}}{L_{S12}} \right) R_{S12} \right]}{3L_{S1-12} \left(\frac{R_{S1-12}}{L_{S1-12}} \right)^2 - 2R_{S1-12} \left(\frac{R_{S1-12}}{L_{S1-12}} \right) + L_{S1-12} \omega^2} e^{\frac{R_{S1-12}}{L_{S1-12}} t} \quad (3.3)$$

Funcția inițială a tensiunii în nodul 12 pentru circuitul cu sursa de generare este determinată din relația:

$$u_{Ek}(t) = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{Q_{E12}(p_{E12})}{D'_{E12}(p_{E12})} \right) e^{p_{Ei}t} = \frac{j\omega(E_0 - E_{G12})R_{G1-12}}{-2L_{G1-12} \omega^2 + j2R_{G1-12} \omega} e^{j\omega t} - \frac{j\omega(E_0 - E_{G12})R_{G1-12}}{4L_{G1-12} \omega^2 - j2R_{G1-12} \omega} e^{-j\omega t} + \frac{-\left(\frac{R_{G1-12}}{L_{G1-12}} \right) (E_0 - E_{G1-12}) R_{G1-12}}{3L_{G1-12} \left(\frac{R_{G1-12}}{L_{G1-12}} \right)^2 - 2R_{G1-12} \left(\frac{R_{G1-12}}{L_{G1-12}} \right) + L_{G1-12} \omega^2} e^{\frac{R_{G1-12}}{L_{G1-12}} t} \quad (3.4)$$

Considerăm o rețea electrică cu tensiunea de $U=380 \text{ V}$, cu surse și consumatori de energie care funcționează concomitent. Modelul presupune un studiul consumului monofazat în care se conectează SD și SGD în regim normal de funcționare. În așa mod se calculează numai o fază și se ia în calcul valorile pentru tensiunea de linie $U_L=220 \text{ V}$.

Studiu de caz 3. Se conectează 11 consumatori trifazați dotați cu centrale electrice cu panouri fotovoltaice $P=5600 \text{ W}$. Transformatorul este cu puterea aparentă de $S=630 \text{ kVA}$.

Tabelul 3.4. Date inițiale pentru calculul circuitului RL

Nr.	Denumirea	R, Ω	L, H
1.	LEA-0,4 kV (L=32,5 m)	0,020	$2,5 \cdot 10^{-3}$
2.	LEA-0,2 kV (L=15 m)	0,029	$1,16 \cdot 10^{-3}$
3.	Sarcina, P=5,6 kW	8,643	$1,3 \cdot 10^{-3}$
4.	Invertor pe baza de transformator	0,418	$7 \cdot 10^{-4}$

Stabilim parametrii unei faze pentru a efectua modelarea. Calculul presupune modelarea pentru 11 noduri de consum și generare pentru stabilirea impactului asupra profilului tensiunii.

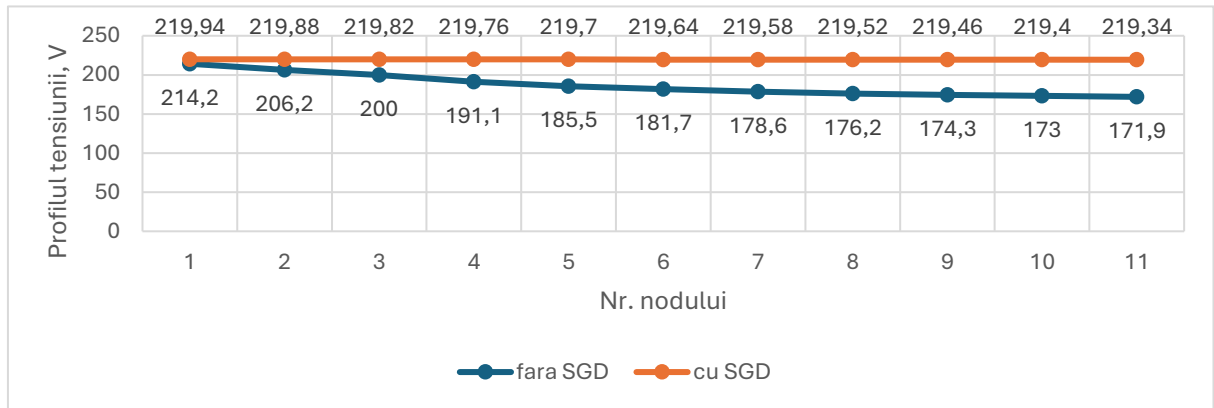


Fig. 3.12. Schema circuitului echivalent cu parametrii funcției imagine conform teoremei lui Laplace

În figura 3.12 este indicată valoarea profilului de tensiune (volți) dintr-o singură fază cu receptori de tip RL. Așadar, în scopul stabilirii formei de tensiune în noduri indicăm rezultatele modelului în figura 3.13.

În figura 3.13 este indicat modelul, care corespunde $P_g = P_c$ ($P=5600 W$). Din rezultatele modelării se stabilesc profilurile de tensiune cu SGD ce au valori de la $U= 220 - U=219,34 V$, iar fără SGD valorile profilurilor de tensiune corespund profilurilor de tensiune $220 - 171,9 V$.

Forma profilului de tensiune este prezentată pentru nodul 1. Figura 3.13 ilustrează regimul $P_c=5600 W$ cu tensiunea în nod de $U=214, 2 V$, modelul corespunde formulei (3.3).

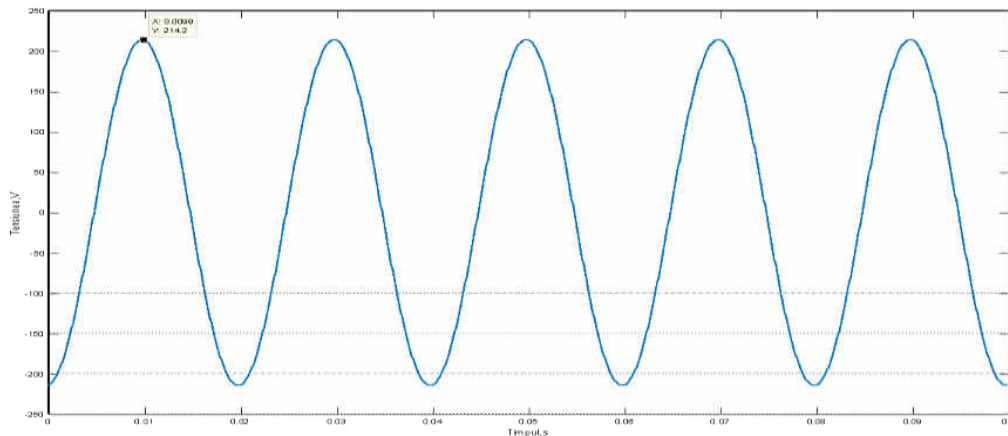


Fig. 3.13. Forma curbei profilului de tensiune în nodul 1 (fără SGD)

Cunoscând valoare de referință ($U_l=220 V$), stabilim că pentru modelul de calcul cu SGD, valoare profilului de tensiune este de $U=214, 2 V$. În acest sens, aplicăm formula (3.4) și obținem rezultatele din nodul 1 cu SGD (figura 3.14). Acestea reprezintă profilul căderii de tensiune.

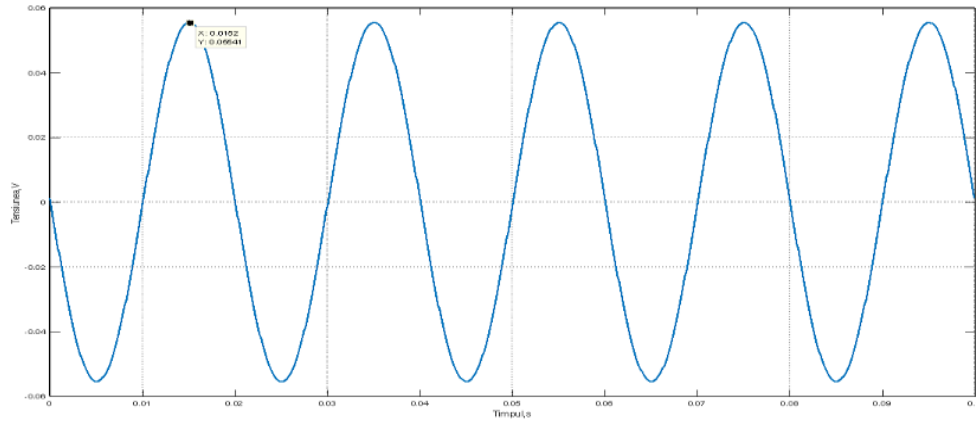


Fig. 3.14. Forma curbei profilului căderii de tensiune în nodul 1 (cu SGD)

Modelul matematic analizat permite stabilirea valorilor tensiunii și modelării curbei acesteia în orice nod al rețelei electrice în baza rezistenței și inductanței cunoscute. Profilul căderii de tensiune de ($U=0.0554 V$) în nod se datorează pierderilor în REJT. În lipsa examinării inductanței sarcinii și a REJT valorile de generare sunt compensate din SGD în comun cu pierderile în nod, iar datele indică $U=0$ (zero). Includerea în calcul a impedanței conform modelului propus sporește precizia de calcul și indică forma tensiunii analizate.

În figura 3.15 indicăm valoarea medie a profilului de tensiune fără SGD: $U_c=189,39 V$ și cu SGD $U=219,7 V$.

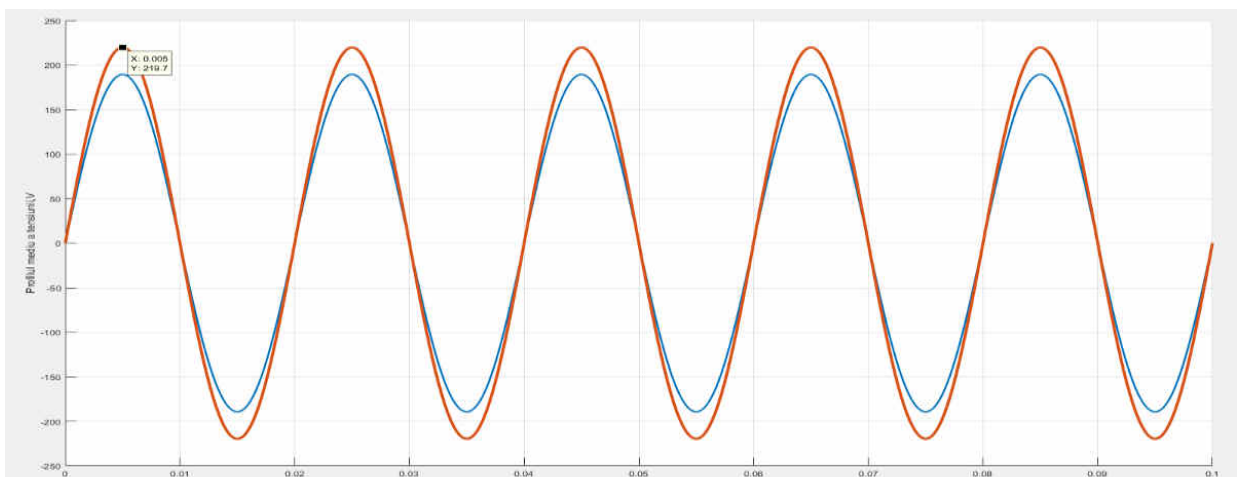


Fig. 3.15. Valoarea medie a profilului tensiunii (P=5,6 kW)

Consumul și generarea concomitentă din SD având puterea de consum egală cu puterea de generare în care se calculează și cu inductanța rețelei indică o pierdere nesemnificativă a profilului

de tensiune. Profilul prezentat cu SGD este unul normativ, iar SGD au sarcina de diminuare a pierderilor indiferent de numărul conectate.

3.3. Calculul rețelei electrice cu sarcini și surse de generare distribuite cu tensiunea $U=380\text{ V}$ în diferite regimuri de funcționare

Studiul de caz 4. Regim simetric. Considerăm o rețea electrică cu tensiunea de $U=380\text{ V}$, cu surse și consumatori de energie care funcționează concomitent. Modelul presupune studiul consumului trifazat simetric pe care conectează SD și SGD în regim de funcționare concomitent.

Modelul prevede conectarea în fiecare fază a câte 11 consumatori cu impedanțe egale (în total primim 33 consumatori). Aparatele de măsură se conectează în nodul 11 a fiecărei faze pentru stabilirea valorilor tensiunii. Modelul grafic prezintă valorile eficace ale curbelor de curent și tensiune din nodul 11 ale fiecărei faze. Valorile reale sunt indicate de parametrul RMS indicat pe interfața modelului de măsurare. Spre exemplu, în graficul din figura 3.19 este indicată valoarea eficace a tensiunii egală cu $U_{eficace}=284,20\text{ V}$ ceea ce corespunde valorii reale de $U_{RMS}=200,96\text{ V}$.

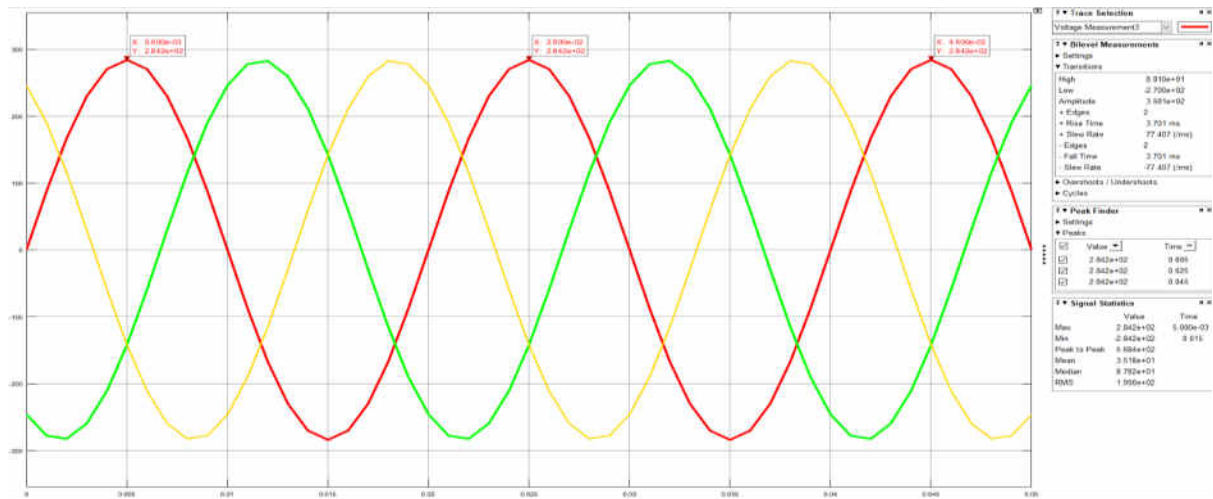


Fig.3.16. Curba tensiunilor de linie din nodul 11 a circuitului trifazat simetric $U=380\text{ V}$ (faza C) pentru $P=5,6\text{ kW}$

În figura 3.16 modelul corespunde sarcinii simetrice, sistemul de conectare este TNC (Terra Neutru Concentrat) cu punere la pământ cu firul nul conectat la neutrul transformatorului și legat la pământ (schema de conexiune a transformatorului (Y_0)).

Considerăm generarea din SER egală cu puterea consumată pentru fiecare nod iar în nodul 11 efectuăm măsurarea (figura 3.17).

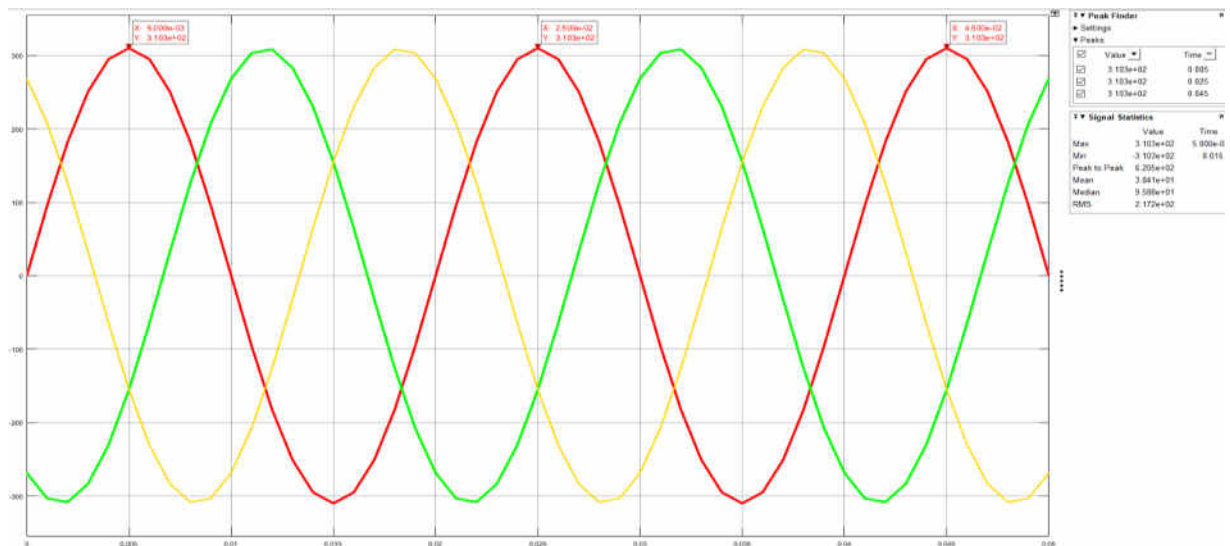


Fig.3.17. Curba tensiunilor de linie din nodul 11 a circuitului trifazat simetric cu GD $U=380\text{ V}$ (faza C) pentru $P=5,6\text{ kW}$

Tensiunea eficace în figura 3.18 în nodul 11 cu sarcina $P_c=5,6\text{ kW}$ și conectate SGD cu puterea $P_g=5,6\text{ kW}$ corespunde valorilor $U_{eficace}=310,3$ ceea ce este o valoare reală a tensiunii $U_{RMS}=217,2\text{ V}$. Diferența de $U=2,8\text{ V}$ reprezintă pierderile care apar în rețeaua electrică.

Regim nesimetric. Considerăm că faza s-a deconectat ($U_C=0\text{ V}$). În așa mod stabilim regimul de funcționare a REJT și anume valorile tensiunii în nodul 11. Tensiunile $U_A=U_B$ indică valori $U_{RMS(A-B)}=177,72\text{ V}$, iar în faza U_C circulă tensiunea de $U_{RMS(C)}=67,17\text{ V}$ (figura 3.18).

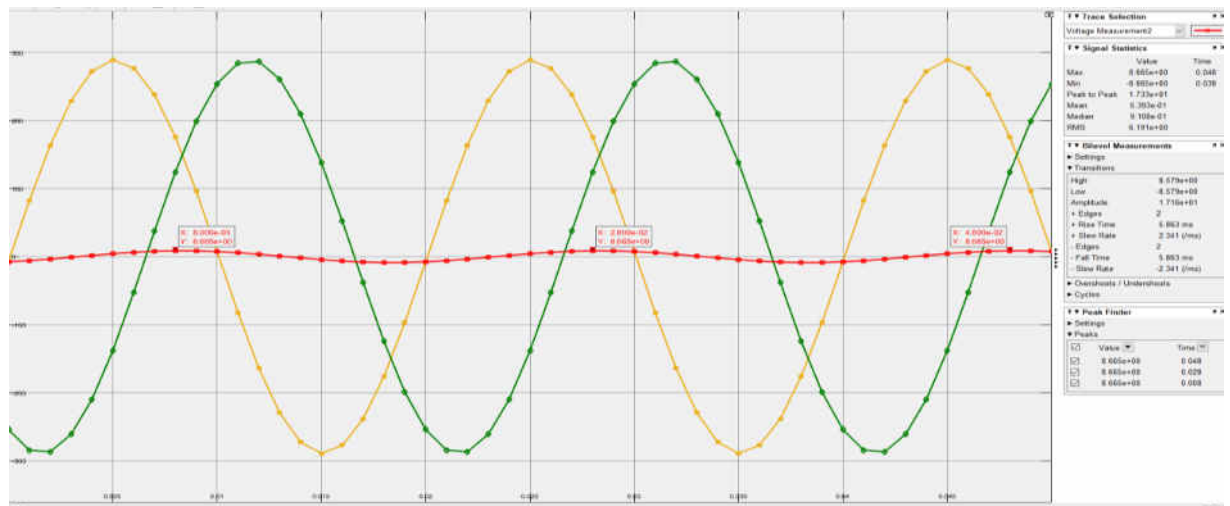


Fig.3.18. Curba tensiunilor de linie din nodul 11 a circuitului trifazat $U=380\text{ V}$ (faza C $U_C=0\text{ V}$) pentru $P=5,6\text{ kW}$

În modelul propus conectăm SGD cu $P=5,6\text{ kW}$ în toate fazele egal și obținem rezultatele din figura 318. Tensiunea în nodul 11, cu conectarea SGD indică valori $U_{RMS(A-B)}=220\text{ V}$ ($U_A=U_B$), iar în faza U_C circulă tensiunea de $U_{RMS(C)}=220\text{ V}$.

Datorită faptului generării trifazate și conectării tensiunii în nodul 11, rețeaua lucrează în regim insular și pierderile sunt acoperite din generarea din nod. În acest model firul nul este conectat și echilibrează sarcina.

Tensiunea în nodul 11 a fazei U_C corespunde tensiunii generate de SGD în acel nod. Este un factor pozitiv pentru asigurarea calității e.e din nodul 11.

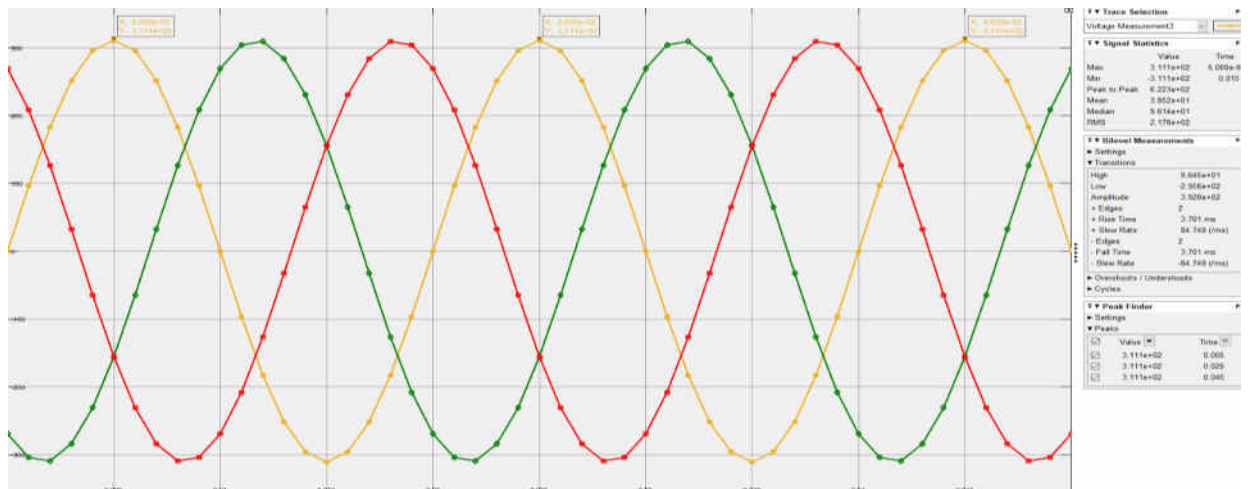


Fig.3.19. Curba tensiunilor de linie din nodul 11 a circuitului trifazat cu SGD $U=380\text{ V}$ (faza C $U_C=0\text{ V}$) pentru $P=5,6\text{ kW}$

Aici apare necesitatea de a fi examinat impactul SGD cu $U_C=0\text{ V}$ și cu neutrul deconectat. Rezultatele modelării indică valorile tensiunii $U_{RMS(A-B)}=264,41\text{ V}$, iar tensiunea $U_{RMS(C)}=146,67\text{ V}$.

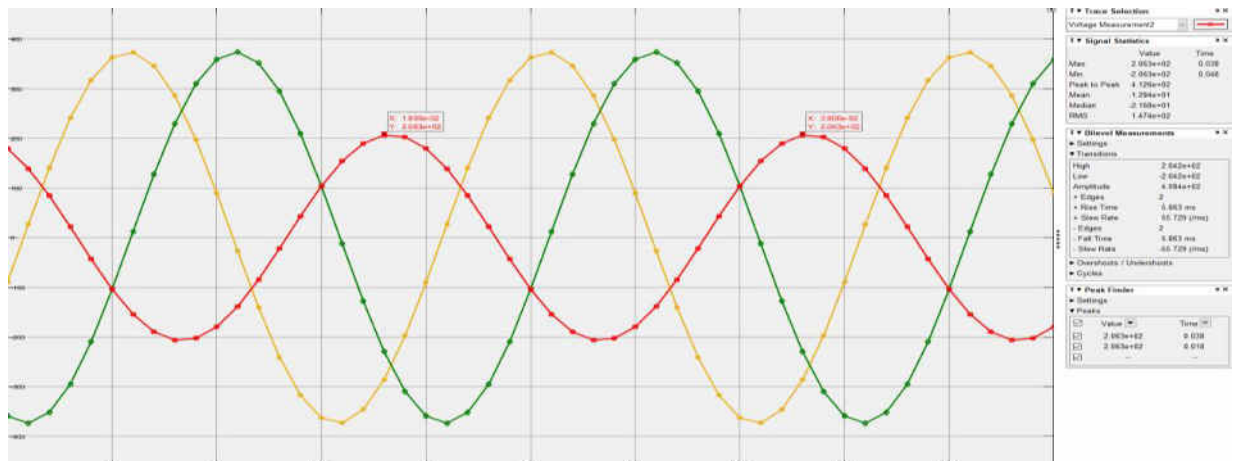


Fig.3.20. Curba tensiunilor de linie din nodul 11 a circuitului trifazat nesimetric cu SGD conectate și cu firul nul deconectat $U=380\text{ V}$ (faza C) pentru $P=5,6\text{ kW}$

3.4. Estimarea impactului variabilelor independente asupra corectitudinii restabilirii semnalului ne-sinusoidal

REJT sunt poluate de armonici superioare de curent și tensiune condiționate de prezența sarcinilor neliniare. Gradul de poluare este caracterizat de coeficientul de distorsiune. armonicile

superioare sunt caracterizate de amplitudine și faza. Calcularea regimului circuitului se poate realiza, considerând că este cunoscut spectrul armonicilor în baza principiului de superpoziție. De fapt prin aceasta se face o liniarizare a circuitului și avem posibilitatea de a utiliza metodele clasice de calcul ale bazelor teoretice ale electrotehnicii. Cel mai frecvent este cunoscut spectrul, dar nu sunt cunoscute fazele armonicilor superioare. În acest context vom formula problema estimării influenței fazei armonicilor superioare asupra formei semnalului sinusoidal primar, având ca scop determinarea condițiilor, când se poate neglija al doilea parametru (faza) analiza indicilor de calitate a energiei în rețelele electrice.

Procedura de analiză are la bază reconstruirea formei semnalului etalon în baza spectrului cunoscut. Pentru aceasta se utilizează două forme a semnalului periodic: de formă dreptunghiulară și cu forma de triunghi. Pentru aceste semnale spectru se poate prezenta în formă analitică

$$x(t) = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \sin(n\omega_0 t + \varphi_n).$$

În baza spectrului cunoscut vom restabili forma semnalului pentru diferite lungimi ale șirului de armonici superioare, inclusiv cu varierea fazei armonicilor superioare. În calitate de criteriu al preciziei restabilirii vom utiliza coeficientul de determinare R^2 al formei semnalului etalon prezentat în formă discretă cu pasul de discretizare în timp Δt și al semnalului restabilit pentru aceleași puncte pe axa timpului. Astfel vom opera cu două serii de mărimi, pentru care calculează coeficientul de corelare și coeficientul R^2 . În figura 3.24 se prezintă exemple de restabilire a formei semnalului dreptunghiular și cu forma de triunghi pentru diferite ansambluri de armonici superioare luate în considerare.

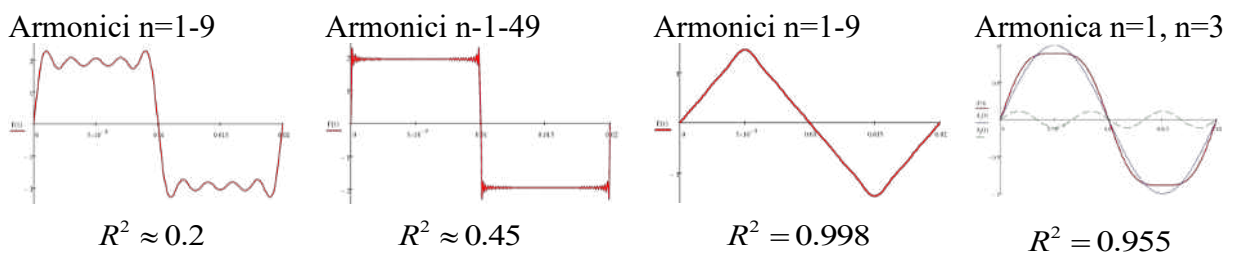


Fig. 3.21. Forma restabilită a semnalului inițial

Pentru a sesiza trendul, calculele privind impactul fazei inițiale ale armonicilor superioare asupra corectitudinii restabilirii semnalelor inițiale s-a efectuat pentru armonicile impare 3, 5, 7 și 9 și varierea discretă a fazei inițiale cu pasul de 30 grade electrice, deci pentru patru valori $\varphi = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$. Valoarea recalcularea coeficientul de determinare R^2 pentru fiecare caz în parte (figura 3.21) [17].

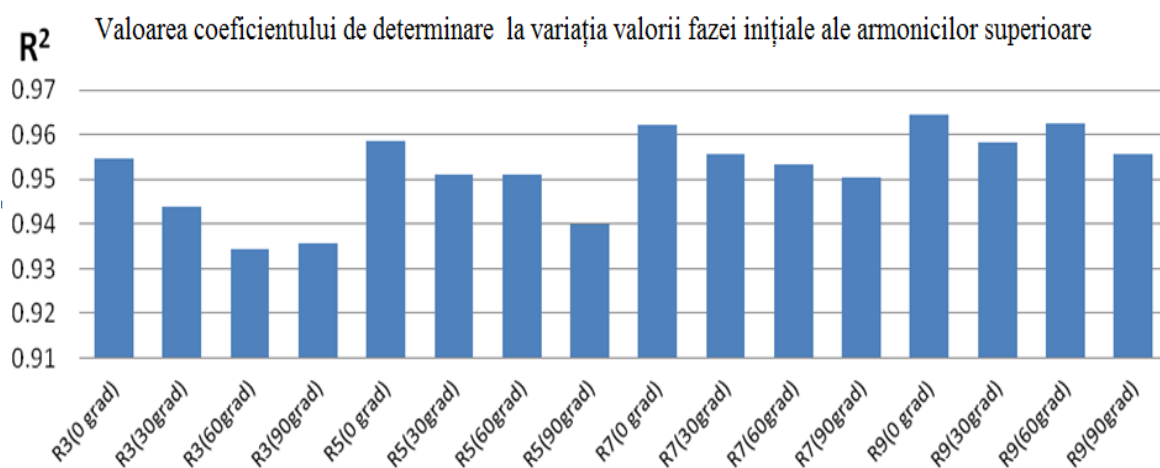


Fig. 3.22. Diagrama variației coeficientul de determinare R^2 în funcție de numărul armonicilor luate în calcul

Gradul de influență a fazei inițiale ale armonicilor superioare depinde de numărul armonicilor superioare și cu creșterea valorii acestui indicator se micșorează. Cea mai puternică influență este caracteristică pentru armonicile cu frecvența apropiată de frecvența armonicilor fundamentale. Ca factor semnificativ se prezintă amplitudinile armonicilor superioare din spectru.

În figura 3.22 se prezintă date informații privind influența defazajului de fază asupra preciziei restabilirii semnalului etalon de formă triunghi.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

În urma elaborării tezei au fost înaintate propuneri de soluționare a problemei științifice privind impactul SGD asupra calității energiei electrice prin elaborarea metodologiilor de calcul a profilului de tensiune în REJT în diferite regimuri de funcționare ca indicatori al calității e.e. în rețelele menționate în funcție de puterile de generare și consum dictate de curbele consumatorilor.

1. A fost elaborat conceptul și metodologia de calcul pentru cercetarea regimului rețelei de joasă tensiune cu surse și SD, similară topologiei reale a rețelei trifazate, prin aplicarea procedurii de calcul a curenților și căderii tensiunii pe fiecare element al circuitului conform primei teoreme a lui Kirchhoff și a legii lui Ohm, care are scopul de stabilirea profilului tensiunii în nodurile rețelei. În urma modelării matematice în mediul MATLAB s-a constatat utilitatea metodei și s-a stabilit că aceasta poate fi utilizată la proiectarea rețelelor electrice de joasă tensiune cu generare și consum concomitent din surse distribuite la etapa de prefezabilitate.

2. A fost elaborat modelul matematic a rețelei electrice cu surse și SD aplicând conceptul de decompoziție a circuitului trifazat cu substituirea elementelor neliniare cu componente liniare. Avantajul modelului de calcul propus permite stabilirea impactului generării distribuite și consumului concomitent atât a regimurilor permanente, cât și a regimurilor tranzitorii. Concomitent se pot realiza calcule estimative a valorilor coeficienților de distorsiune a profilului tensiunii și curentului în fiecare nod al rețelei de alimentare fără a face măsurători directe. În așa mod, modelările unei rețele reale în baza unei programe elaborate în MATLAB a stabilit utilitatea modelului de calcul propus și a indicat forma profilului de tensiuni din nodurile examinate, iar rezultatele pot fi utilizate ca indicator de impact în urma cercetării.

3. S-a argumentat că utilizarea unui spectru limitat de armonici superioare poate fi utilizat la stabilirea impactului elementelor neliniare din rețele electrice cu sarcini și surse distribuite conectate concomitent. Această reiese din analiza estimării bandei de frecvență a spectrului evaluat după criteriile de limitare a cotei puterii armonicilor superioare și/sau a distorsiunii curbei de variație în timp a amplitudinii armonicilor menționate al spectrului de ordinul k . Raportul caracterizează cota de putere care revine armonicii de ordinul k și se micșorează odată cu creșterea valorii ordinului armonicii.

4. S-a stabilit valoarea coeficientului de determinare R^2 , pentru valori $\varphi = 0^0, 30^0, 60^0, 90^0$ ale armonicilor impare 3, 5, 7 și 9 pentru variația discretă a fazei cu 30 de grade electrice care corespunde valorilor : 1) semnal dreptunghiular (armonica 1-3) - $R^2 = 0,998$ și (armonica 1 - 49) - $R^2 = 0,45$; 2) semnal triunghiular (armonica 1-9) - $R^2 = 0,2$ și (armonica 1

- 3) - $R^2 - 0955$, ceea ce permite simplificarea analizei de impact a surselor neliniare asupra calității e.e în REJT.

5. Impactul generării distribuite și consumului concomitent asupra calității energiei electrice a fost examinat în circuit ținând cont de parametrii RL pentru a stabili impactul SGD asupra profilului tensiunii. În așa mod, s-a obținut valorile profilului de tensiune (fără SGD – 19,91 %, cu SGD – (0,13%)), dar rezultatele indică și forma curbei care este neschimbată, ceea ce este un impact pozitiv și regim recomandat de funcționare ($P_g=P_n$), indiferent de SGD (fotovoltaică sau eoliană).

Așadar, în baza cercetării efectuate a rezultatelor obținute privind stabilirea impactului SGD care funcționează concomitent cu SD în rețelele electrice **se recomandă:**

1. În contextul examinării impactului generării distribuite asupra calității energiei electrice se recomandă utilizarea termenului de „*profil al tensiunii*” ceea ce reprezintă examinarea variației tensiunii de-a lungul rețelei electrice, iar analiza efectuată indică că, profilul tensiunii se poate examina în diferite regimuri, indiferent de curba de sarcină și consum, ceea ce este actual pentru sursele verzi de energie;

2. La etapa de cercetare a impactului SGD cu SD concomitente conectate în REJT, ca element al analizei de recomandă utilizarea procedeu de calcul al regimului staționar a rețelei electrice arborescente, iar pentru stabilirea unei precizii matematice înalte (ideale) și formei de tensiune de utilizat metoda de calcul a regimului tranzitoriu.

3. În timpul evaluării impactului sarcinilor neliniare asupra rețelelor electrice cu GD asupra formei curbei de tensiune din nodul rețelei de utilizat ansambluri de circuite active și pasive, iar caracteristică generalizată să fie similară caracteristicii reacției elementului neliniar după spectrul de armonici generate. Numărul acestor circuite trebuie să fie egal cu numărul armonicilor superioare luate în calcul pentru fiecare nod de racord a sarcinii neliniare conectate la rețea.

4. Pentru o analiză a impactului GD asupra calității e.e se vor neglija puterile aparente a armonicilor superioare transmise de GD în comparare cu valoarea puterii aparente a armonicii fundamentale, necăutând la faptul că există o dependență liniară și proporțională a valorilor coeficienților de distorsiune de curent și tensiune în funcție de puterea aparentă a armonicii fundamentale în fazele rețelei de alimentare.

5. Regimul recomandat optim pentru stabilirea profilului de tensiune și a formei tensiunii cu SGD și SD în REJT cu neliniarități este recomandat ($P_g=P_n$).

BIBLIOGRAFIA

1. Legea pentru aderarea Republicii Moldova la Protocolul de la Kyoto la Convenția-cadru a Organizației Națiunilor Unite cu privire la schimbarea climei: nr. 29-XV din 13 februarie 2003. *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, 2003, nr. 48, art. 193.
2. Gomory, Ralph. Benoît Mandelbrot [online]. *Nature*, citat 15.12.2016. Disponibil: DOI: 10.1038/468378a.
3. Duka, Georgij, Postolatij, V. M., Bykova, Elena. Analiz sostoyaniya energeticheskoy bezopasnosti Respubliki Moldova. In: *Upravlyaemye elektroperedachi: Laboratoriya upravlyaemyh elektroperedach 35 let (1972–2007)*, 1 ianuarie 1972 - 31 decembrie 2007, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Institut energetiki, 2007, pp. 93–106. ISBN 978-9975-62-194-6.
4. Postolatij, V. M., Bykova, E. V., Chiorsac, M. Razvitie generiruyushih moshnostej v Moldavskoj energosisteme na baze ispolzovaniya parogazovyh ustanovok. In: *Upravlyaemye elektroperedachi: Laboratoriya upravlyaemyh elektroperedach 35 let (1972–2007)*, 1 ianuarie 1972 - 31 decembrie 2007, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Institut energetiki, 2007, pp. 65–74. ISBN 978-9975-62-194-6.
5. Demirchyan, K. S., Nejman, L. R., Korovkin, N. V., Chechurin, V. L. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki: V 3-h t. Uchebnik dlya vuzov. Tom 1.* 4-e izd. SPb.: Piter, 2003. 463 p. ISBN 5-94723-620-6.
6. Bessonov, L. A. *Teoreticheskie osnovy elektrotehniki. Elektricheskie cepi: uchebnik.* 11-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe. M.: Gardariki, 2007. 701 p. ISBN 5-8297-0159-6.
7. Potâng, A. *Analiza circuitelor electrice liniare în regim periodic sinusoidal și nesinusoidal: Ciclul de prelegeri.* Chișinău: Tehnica-UTM, 2018. 196 p.
8. Erhan, Fiodor. *Bazele teoretice ale electrotehnicii.* Centrul Editorial al U.A.S.M., Chișinău, 2009. ISBN 978-9975-64-145-6.
9. Volkov, N. G. *Kachestvo elektroenergii v sistemah elektrosnabzheniya: uchebnoe posobie.* Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. 152 p. Disponibil: <https://portal.tpu.ru/SHARED/d/DIMMASSIKK/academics/Tab2/B8.pdf> (accesat 04.10.2020).
10. Zhezhelenko, I. V. *Vysshie garmoniki v sistemah elektrosnabzheniya prompredpriyatij.* M.: Energoatomizdat, 6-e izdanie dopolnenoe, 2010. 375 p. ISBN 978-5-283-033-07-5.
11. Dmitrii, V. Application of the Operational Method for Calculating the Mode of the Electrical Grid Circuit with Distributed Loads. In: *2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)*. IEEE, 2019, pp. 1–6.

12. Vieru, D., Postoronca, S. V., Berzan, V., Garștea, V. Utilizarea procedurii de decompoziție la calcularea regimului rețelelor electrice. In: *Сборник Трудов «Энергетическая безопасность и управляемые электропередачи» за 2020*, Выпуск № 11 (26). Кишинэу: CEPUSM, 2020, pp. 85–108.
13. Postoronca, Sveatoslav, Vieru, Dmitrii. Calcularea regimului tranzitoriu în circuitul cu sarcini distribuite de tip RL și RC. In: *Inginerie agrară și transport auto*, 12–13 noiembrie 2015, Chișinău. Chișinău, Republica Moldova: Universitatea Agrară de Stat din Moldova, 2015, vol. 45, pp. 381–385. ISBN 978-9975-64-276-7.
14. Vieru, Dmitrii. Application of the Operational Method for Calculating the Mode of the Electrical Grid Circuit with Distributed Loads. Chișinău, 2019, pp. 1–6. DOI: 10.1109/SIELMEN.2019.8905864.
15. Berzan, V. P., Postoronke, S. V. A., Vieru, D. Raschet metodom konturnyh tokov rezhima seti s raspredelennymi nagruzkami tipa RLC. *Elektrotehnicheskie i kompyuternye sistemy. Obshaya elektrotehnika*, 2016, № 22 (98), pp. 101–105. ISSN 2221-3805, ISSN 2221-3807.
16. Vieru, D. Determinarea unor indici de calitate a energiei electrice în circuitul cu sarcini neliniare. In: *A 70-ea Conferință științifică a studenților și masteranzilor, Universitatea Agrară de Stat din Moldova*, 15–29 martie 2017, Secția Electricizare și automatizarea mediului rural, 22 martie 2017 (Raportul nr. 14). pp. 125.

Lista lucrărilor științifice, științifico-metodice:

Articole în diferite reviste științifice (în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, cu indicarea categoriei):

- **categoria A**

1. **VIERU D.** Cercetarea impactului generării distribuite asupra modificărilor lente de tensiune în rețelele electrice de joasă tensiune. *Problemele energeticii regionale*, 2020, no. 3(47), pp.20-28. ISSN 1857-0070. DOI: 10.5281/zenodo.4028507.(Baza de date WoS)

- **categoria B**

2. BERZAN, V., POSTORONCĂ, SV., **VIERU, D.**, TINTIUC, IU. O tratare generalizată a procedurii de calcul a regimului permanent și tranzitoriu a rețelei de distribuție. *Problemele Energeticii Regionale*. Institutul de Energetică al Academiei de Științe, Chișinău, Republica Moldova. 2015, 29(3), 25-32. ISSN 1857-0070.

Articole în culegeri științifice.

- **culegeri internaționale**

1. БЕРЗАН, В.П.; ПОСТОРОНКЭ, СВ.А.; **ВИЕРУ, Д.** Расчет методом контурных токов режима сети с распределенными нагрузками типа RLC. “Электротехнические и компьютерные системы”, *Общая электротехника*, №22 (98), 2016. –р.101-105. ISSN 2221-3805, ISSN 2221-3807 (Ucraina).

- **culegeri ale conferintelor naționale**

1. **VIERU Dumitru**, TATIAN, Ivan, POSTOTONCA, Sveatoslav. Procedeu de calculul al regimului staționar a rețelei electrice arborescente. In: Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, Universitatea Tehnică a Moldovei, 20 – 21 octombrie, 2014. Chișinău, 2015, vol. 1, pp. 353-356. ISBN 978-9975-45-249-6. ISBN 978-9975-45-381-3 (Vol.1).

2. ERMURACHI Iu., BERZAN V., **VIERU D.**, MORARU Larisa, ERMURACHI Iu.Iu. , CABAC S.. Convertor de curent continuu în curent continuu. *Conferința Științifică Jubiliară a studenților și colaboratorilor UTM*, 20 octombrie, 2014, Chișinău. Secțiunea EIE-3. Electrotehnica, Electromecanica și Metrologie.4p.

3. **VIERU Dumitru**. Analiza regimului nesimetric în rețelele electrice de joasă tensiune asupra calității energiei electrice. In: Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, Universitatea Tehnică a Moldovei, 1-14 decembrie, 2016. Chișinău, 2017, vol. 1, pp. 373-375. ISBN 978-9975-45-500-8. ISBN 978-9975-45-501-5 (Vol.1).

4. POSTORONCĂ Sveatoslav, **VIERU Dmitrii**. Calcularea regimului tranzitoriu în circuitul cu sarcini distribuite de tip rL și rC. Culegere a lucrărilor conferinței UASM 65 ani ai Facultății Inginerie Agrară și Transport Auto. Ch.: Ed. UASM, 2015. – 6p.

5. BERZAN, Vladimir, POSTORONCA Sveatoslav, **VIERU Dmitrii**, TINTIUC, Iurie. Calcularea regimului circuitului cu sarcini distribuite. In: Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, Universitatea Tehnică a Moldovei, 26-28 noiembrie, 2015. Chișinău, 2016, vol. 1, pp. 395-398. ISBN 978-9975-45-440-7. ISBN 978-9975-45-441-4 (Vol.1).

6. **VIERU, Dmitrii**. Calculul regimului rețelelor electrice de joasă tensiune cu surse de energie regenerabilă distribuită. *Materialele Conferinței Științifice a Doctoranzilor. Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători*. Ediția a V-a, 25.05.2016, UnAȘM, Ch.: 2016. 229-232.

7. **VIERU, D.;** TATIAN, I. Modelarea regimului de funcționare a microrețelei cu diferite tipuri ale surselor de generare de mică putere. Teze a 69-a Conferință științifică a studenților și masteranzilor UASM, 23 martie 2016, Chișinău. Ch.: Editura UASM. –pp.85-87.ISBN 978-9975-64-281-1.

8. Cojocari Marian, **VIERU Dumitru**. Modelarea matematică a creșterii temperaturii în circuitul R, L, în regim tranzitoriu. Materialele conferinței științifice a studenților și masteranzilor USEFS din 15 martie 2017, Chișinău. Culegere de articole științifice, 84 pagini, 50 exemplare.

9. Țurcan Irina, **VIERU Dumitru**. Calculul probabilității de apariție a incendiilor în turbinele eoliene de puteri mari. Materialele conferinței științifice a studenților și masteranzilor USEFS din 15 martie 2017, Chișinău. Culegere de articole științifice, 84 pagini, 50 exemplare.

10. **VIERU Dmitrii**, TURCULET Ștefan, GRAPĂ Doina. Modelarea matematică a riscurilor de incendiu în instalațiile eoliene. [Resursă electronică]. In: Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților, Universitatea Tehnică a Moldovei, 16-18 noiembrie, 2017. Chișinău, 2018, vol. 2, pp. 207-208. ISBN 978-9975-45-545-9 (Vol.2).

11. **VIERU D.**, POSTORONCA SV., BERZAN V., GARȘTEA V. Utilizarea procedurii de decompoziție la calcularea regimului rețelelor electrice. Сборник Трудов «Энергетическая безопасность и управляемые электропередачи» за 2020. Выпуск No.11 (26).Кишинэу, CEPUSM, 2020, с.85-108.

- **Materiale/ teze la forurile științifice**

1. **ВІЕРУ ДУМІТРУ**, БЕРЗАН ВЛАДИМИР. Расчет стационарного режима радиальной сети с распределенными нагрузками и источниками генерации. Belorusia, Minsk. Conference „Integrating science and technology for a sustainable and secure future: energy, environment, informatics and human health. SSF-2014”, 18-21 septembrie 2014.Minsk/Alexander von Humboldt Foundation/Humboldt Kolleg Book of abstracts.-P.43-46. ISBN 978-985-6456-92-6.

2. ЕРМУРАКИ, Ю.В.; ЕРМУРАКИ, Ю.Ю.; **ВІЕРУ**, Д. Моделирование работы инвертора PV модулей при их параллельной работе с электрической сетью. Belorusia, Minsk. Conference „Integrating science and technology for a sustainable and secure future: energy, environment, informatics and human health. SSF-2014”, 18-21 septembrie 2014.Minsk/Alexander von Humboldt Foundation/Humboldt Kolleg Book of abstracts.-P.46-48. ISBN 978-985-6456-92-6

- **conferințe internaționale în republică**

1. **VIERU D.** Particularitățile racordării surselor regenerabile distribuite la rețeaua electrică de joasă tensiune. Conferința științifică Internațională a Doctoranzilor. Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători, 10 martie 2015, Chișinău, UnAȘM. Resp.ed. M. DUCA. Ch.: Artpoligraf, 2015, 45. ISBN 978-9975-3036-4-4.

2. **Dmitrii Vieru**. Application of the Operational Method for Calculating the Mode of the Electrical Grid Circuit with Distributed Loads. Chisinau, 2019 1-6. 10.1109/SIELMEN.2019.8905864.

ADNOTARE

Vieru Dmitrii, „Cercetarea impactului consumului și generării distribuite în rețelele de joasă tensiune asupra calității energiei electrice” Teză de doctor în științe inginerești, Chișinău, 2023

Structura tezei: Introducere, trei capitole, concluzii generale și recomandări, bibliografie din 121 de surse, 128 pagini text de bază, 62 de figuri, 11 tabele. Rezultatele obținute sunt publicate în 13 lucrări științifice, prezentate la două foruri internaționale și trei conferințe științifice.

Cuvinte-cheie: metode clasice de calcul, generarea distribuită, calitatea energiei electrice, surse distribuite, regim de scurtcircuit, regim de mers în gol, metoda operațională, sarcini neliniare.

Scopul lucrării: stabilirea impactului surselor de generare distribuită conectate în rețelele electrice de joasă tensiune cu sarcini distribuite asupra calității energiei electrice prin elaborarea unor metode noi de calcul ce ar permite stabilirea profilului de tensiune în diferite regimuri de funcționare a rețelelor electrice de joasă tensiune.

Obiectivele cercetării: 1) Elaborarea procedurii de calcul al regimului staționar a rețelei electrice arborescente care va permite stabilirea profilului de tensiune în rețelele electrice de joasă tensiune cu surse de generare și sarcini distribuite; 2) Stabilirea procedurii de liniarizare a elementelor neliniare (surse distribuite de energie și sarcinilor neliniare cu componente liniare) din rețelele electrice de joasă tensiune, reieșind din profilul tensiunii stabilit în nodul examinat; 3) Adaptarea metodei de calcul a rețelei electrice cu parametrii complecși în regim tranzitoriu pentru rețeaua arborescentă cu surse și consumatori distribuiți; 4) Examinare impactului dependențelor dintre puterile consumate și generate conform curbelor de sarcină și generare asupra profilului de tensiune; 5) Evaluarea profilului de tensiune în noduri pentru stabilirea impactului calitativ asupra calității energiei electrice.

Noutatea și originalitatea științifică: în baza metodologiilor de calcul elaborate s-a cercetat impactul generării distribuite asupra profilului de tensiune ca componentă a calității energiei electrice și s-a propus liniarizarea surselor neliniare la examinarea impactului în funcție de puterea aparentă a armonicilor fundamentale în fazele rețelei de alimentare.

Rezultatele obținute aduc contribuții la încercarea de soluționare a problemei științifice importante și rezidă din elaborarea unor metodologii generalizate de calcul a rețelei electrice arborescente cu sarcini și surse de generare distribuite în baza cărora se vor evalua profilele tensiunilor în orice nod a rețelei cu stabilirea impactului acestora asupra calității energiei electrice.

Semnificația teoretică: implicarea unui aparat matematic utilizat la rezolvarea ecuațiilor liniare combinat cu metodologia de calcul a curenților de buclă, demonstrează operabilitatea și simplitatea aplicării în circuitele complexe așa cum sunt rețelele electrice de joasă tensiune. Numărul mare de noduri și sarcini, complexitatea rețelelor electrice de joasă tensiune, varietatea și caracterul sarcinii, impune aplicarea metodei operaționale de calcul a ecuațiilor integro-diferențiale, ceea ce reprezintă aportul teoretic de bază a acestei lucrări.

Valoarea aplicativă constă în: stabilirea metodelor de calcul, în cadrul proiectelor de cercetare, a profilelor de tensiune din rețelele electrice de joasă tensiune cu surse de generare și sarcini distribuite, ce ar permite evaluarea impactului asupra unor indici de calitate a e.e.

Rezultatele cercetării teoretice și practice au fost realizate în cadrul elaborării documentației de proiect a societăților de proiect pentru instalarea generatoarelor distribuite și a societăților de diagnosticare a surselor de calitate a energiei electrice, precum și prin publicații științifice în reviste naționale și internaționale.

ABSTRACT

Vieru Dmitrii, “*Study of the impact of distributed consumption and generation in low voltage networks on power quality*”, dissertation for the degree of PhD of technical sciences, Chisinau, 2023

Structure of the thesis: Introduction, three chapters, general conclusions and recommendations, bibliography of 23 titles, 128 pages of main text, 62 figures, 11 tables. The obtained results are published in 13 scientific articles, presented at two international forums and three scientific conferences.

Keywords: classical calculation methods, distributed generation, quality of electricity, distributed sources, short-circuit mode, idle mode, operation method, non-linear loads.

The purpose of the work: to determine the influence sources of distributed generation, working in low-voltage electrical networks with distributed loads, on the quality of electricity by developing new calculation methods that would allow to determine the voltage profile in different operating modes of low-voltage networks.

Research tasks: 1) Development of a method for calculating the stationary mode of an electric network, which will allow establishing the voltage profile in low-voltage electric networks with generation sources and distributed loads; 2) Establishing of process of linearization of non-linear elements (distributed energy sources and non-linear loads with linear components) of low-voltage electric networks resulting from the voltage profile established in the node under study; 3) Adaptation of the method of calculation of the electric network with complex parameters in the transition mode for the network with distributed sources and consumers; 4) Investigation of the influence of the dependencies between the consumed and generated power on the load and generation curves on the voltage profile; 5) Estimation of the voltage profile in nodes to determine the qualitative influence on the quality of the electricity.

Scientific novelty and originality: on the basis of the developed calculation methods, the influence of distributed generation on the voltage profile as a component of the quality of electricity is studied and the linearization of nonlinear sources is proposed when studying the influence of the load on the voltage profile.

The obtained results contribute to the demand for the solution of an important scientific task and lie at the basis of the development of generalized methods for the calculation of the electric network with loads and sources of distributed generation, on the basis of which the voltage profiles in any node of the network will be estimated with the determination of their impact.

Theoretical significance: the use of the mathematical apparatus for solving linear equations, combined with the method for calculating contour currents, demonstrates the efficiency and simplicity of its application in complex circuits, such as low-voltage electrical networks. The large number of nodes and loads, the complexity of low-voltage electrical networks, the variety and nature of the load require the application of the operational method of solving integro-differential equations, which is the main theoretical contribution of this work.

The practical importance is: to establish, within the framework of research projects, methods for calculating the voltage profiles of low-voltage electrical networks with generation sources and distributed loads, which would allow us to estimate the influence on some indicators of the quality of the electricity.

Implementation of scientific results. Theoretical and practical research results have been implemented by developing project documentation of project companies for installation of distributed generators and companies for diagnosis of power quality sources, as well as by scientific publications in national and international journals.

РЕЗЮМЕ

Виеру Дмитрий, Исследование влияния распределённого потребления и генерации в сетях низкого напряжения на качество электроэнергии”, диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, Кишинёв, 2023 г.

Структура диссертации: Введение, три главы, общие выводы и рекомендации, библиография из 121 наименований, 128 страниц основного текста, 62 фигуры, 11 таблиц. Полученные результаты опубликованы в 13 научных статьях, представлены на двух международных форумах и трёх научных конференциях.

Ключевые слова: классические методы расчета, распределённая генерация, качество электроэнергии, распределённые источники, режим короткого замыкания, режим простоя, метод эксплуатации, нелинейные нагрузки.

Цель работы: установить влияние источников распределённой генерации, работающих в низковольтных электрических сетях с распределёнными нагрузками, на качество электроэнергии путём разработки новых методов расчёта, которые позволили бы установить профиль напряжения в различных режимах работы низковольтных сетей.

Задачи исследования: 1) Разработка методики расчёта стационарного режима электрической сети, которая позволит установить профиль напряжения в низковольтных электрических сетях с источниками генерации и распределёнными нагрузками; 2) Установление процесса линеаризации нелинейных элементов (распределённых источников энергии и нелинейных нагрузок с линейными составляющими) низковольтных электрических сетей, возникающих из профиля напряжения, установленного в исследуемом узле; 3) Адаптация метода расчёта электрической сети с комплексными параметрами в переходном режиме для сети с распределёнными источниками и потребителями; 4) Исследование влияния зависимостей между потребляемой и вырабатываемой мощностью по кривым нагрузки и генерации на профиль напряжения; 5) Оценка профиля напряжения в узлах для определения качественного влияния на качество электроэнергии.

Научная новизна и оригинальность: на основе разработанных методик расчёта исследовано влияние распределённой генерации на профиль напряжения как составляющую качества электроэнергии и предложена линеаризация нелинейных источников при исследовании влияния по полной мощности основной фазной гармоники в узле электросети.

Полученные результаты вносят вклад в попытку решения важной научной задачи и лежат в основе разработки обобщённых методов расчёта электрической сети с нагрузками и источниками распределённой генерации, на основе которых будут оцениваться профили напряжения в любом узле сети с установление их воздействия.

Теоретическая значимость: использование математического аппарата, используемого для решения линейных уравнений, в сочетании с методикой расчёта контурных токов, демонстрирует работоспособность и простоту применения в сложных схемах, например, в низковольтных электрических сетях. Большое количество узлов и нагрузок, сложность низковольтных электрических сетей, разнообразие и характер нагрузки требуют применения оперативного метода расчёта интегро-дифференциальных уравнений, что и составляет основной теоретический вклад данной работы.

Прикладное значение состоит в: установлении в рамках исследовательских проектов методов расчёта профилей напряжения низковольтных электрических сетей с источниками генерации и распределёнными нагрузками, которые позволили бы оценить влияние на некоторые показатели качества электроэнергии.

Внедрение научных результатов. Теоретико-практические результаты исследования были реализованы при разработке проектной документации проектных компаний по установке распределённых генераторов и компаний по диагностике источников качества электроэнергии, а также посредством научных публикаций в национальных и международных журналах.

VIERU DMITRII

**CERCETAREA IMPACTULUI CONSUMULUI ȘI GENERĂRII
DISTRIBUITE ÎN REȚELELE DE JOASĂ TENSIUNE ASUPRA
CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE**

221.01. SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

Aprobat spre tipar: 24.12.2024

Formatul hârtiei 60x84 1/16 Hârtie ofset.

Hârtie ofset. Tipar Ofset

Tirajul 50 ex

Coli de tipar: 2.0