

# CONTRIBUȚIA PARAMETRILOR DE CALITATE A ENERGIEI ELECTRICE PENTRU SISTEMELE DE GENERARE DISTRIBUITĂ

Sveatoslav POSTORONCĂ

*Universitatea Tehnică a Moldovei, Școala Doctorală Știința Calculatoarelor, Electronică și Energetică, Chișinău, Republica Moldova*

**Rezumat.** În lucrare sunt descrise realitățile ce condiționează gradul sporit de atenție pentru aspectele de menținere a parametrilor de calitate a energiei electrice în sistemele energetice mic dimensionate, promovate în baza concepției de generare distribuită sub denumirea de microrețele. Complexitatea acestui set de măsuri parvine din nivelul redus de inerție și de stabilitate a asemenea sisteme, comparând cu sistemele energetice de tip centralizat. Este evidențiat rolul managementului energetic din considerente de operare pentru optimizarea funcționării sub aspect ingineresc. Optimizarea în sensul atingerii celei mai cost-eficiente variante de gestionare a microrețelei se efectuează prin iterații, verificând la fiecare pas dacă parametrii de calitate, așa ca tensiunea, distorsiunile armonice și balanța fazelor nu ies din limitele standardizate, pentru care sunt prezentate simple raționamente matematice ce stau la baza algoritmului de manevrare.

**Cuvinte cheie:** generare distribuită, microrețele, parametri de calitate.

## Introducere

În setul de soluții preluat de operatorii microrețelelor (OM) electroenergetice și dedicat asigurării nivelului de reziliență și fiabilitate în funcționare, Managementul energetic (ME) al microrețelei (MR) este unul din cel mai important instrument, ce constă în integrarea unui mix de obiective de gen organizatoric, economic, ecologic și tehnic. Referitor la primele trei, aspectele principale ating în special: i)managementul cererii și ofertei pentru energia produsă; ii)dispeceerat; iii)reducerea costurilor; iv)participarea consumatorilor; v)reducerea emisiilor gazelor cu efect de seră și vi)angajamentele față de clienți. Partea tehnică a obiectivelor este segmentul în care se operează cu parametrii de calitate a energiei electrice în interiorul MR, în cazul curentului alternativ (AC) indicatorii principali fiind amplitudinea, frecvența și forma cât se poate de sinusoidală tensiunii electrice. Este relevant de menționat despre caracterul unei dinamici sporite a sistemelor electroenergetice (SE) de generare distribuită (GD), unde se regăsesc MR, față de cele centralizate. Prin prezența unei mai mari diversități a tipurilor de surse de generare convenționale și surse de energie regenerabilă (SER), apropierea valorii energiei produse de cea consumată, prezența fluxurilor bi-direcționale de energie, dinamica și caracterul liniar/nelinier al sarcinii consumatorului ș.a., inerția unei MR este cu mult redusă. Aceasta condiționează, pe de o parte avantaje, ce constau în flexibilitatea de operare, dezavantajele fiind legate de necesitatea unor instrumente de comandă mult mai sofisticate, pentru a menține parametrii standardizați de calitate (PQ) a energiei. Pentru promovarea GD prin intermediu MR, tot mai utilizată în activitatea OM devine abordarea gestionării funcționării MR prin procedeul din două etape. La prima, se efectuează ME prin dispeceeratul la nivel de surse, sarcini, sisteme de stocare și rețele, pentru a satisface rigorile de competitivitate economică a operării MR, ecologice și cererea consumatorilor. A doua etapă constă în analiza PQ pentru a se încadra în normele standardizate. La etapa când sunt afectați PQ, OM prin comandă întoarce sistemul la pasul precedent, și procesul se stopează. Un alt aspect în cadrul acestor operațiuni este elementul de histerezis, din motiv că nu întotdeauna se reușește a reveni la starea precedentă. În aceste cazuri se conectează aplicații tehnice adiționale, ridicând gradul de complexitate a ME. Din cele menționate este evident caracterul multi-iterativ al ME-PQ, având ca scop identificarea celui mai optimal regim de operare. Este important de accentual, că asemenea format este aplicabil pentru analiză și acționare în regim de ore. Fenomenele legate de impactul proceselor tranzitorii asupra stabilității funcționării MR, cauzate

de conectări/deconectări de la punctul de cuplare comună (PCC) cu rețeaua convențională (centralizată), intermitența pronunțată a SER, care de fapt ar putea fi prezisă utilizând informația meteo, alte situații și avarii, inclusiv, reprezintă un cadru aparte de studiu, cu propunerea altor tipuri de soluții caracteristice. În lucrare cadrul PQ conține descrierea a trei parametri: i) variații de tensiune; ii) distorsiuni armonice; iii) dezechilibrarea fazelor, toate având o contribuție esențială în aplicabilitatea ME pentru MR.

### 1. Stabilitatea funcționării microrețelei prin menținerea tensiunii

La barele SE fenomenele de variație ale tensiunilor au loc permanent, condiționat de fluxurile anormale ale puterii reactive. În cazul MR raportul dintre reactanța circuitului către rezistența activă  $X/R$ , este foarte mic și creșterea cotei de putere activă în flux poate afecta tensiunea. În dependență de țară sau regiune, standardul tensiunii într-un SE permite devieri de  $5\div 10\%$  de la valoarea nominală a tensiunii. Chiar dacă căderile de tensiune sunt mai dependente de caracterul inductiv al liniilor electrice [6], ambele puteri activă și reactivă au un impact evidențiat asupra tensiunii, depistând unghiul defazajului  $\delta$  între două bare. Abordarea se bazează pe definirea unei variabile  $\alpha_{l,t}^{\Delta V}$ , ce reprezintă relația între puterile active și reactive la toate sursele MR, unde  $l$  este bara respectivă, iar  $t$  – intervalul de timp. Atribuind o valoare pentru schimbarea tensiunii  $\Delta V$ , la timpul  $t$ , parametrul  $\alpha_{l,t}^{\Delta V}$  va căpăta valori noi pentru fiecare iterație  $i$  Ec (1.1).

Ecuțiile Ec. (1.1) și (1.2) vor fi declanșate la fiecare iterație când amplitudinea tensiunii va fi mai mică din valoarea tensiunii sale nominale. Rata de schimbare a limitei superioare  $\alpha_{l,t}^{\Delta V}$  este setată cu ajutorul parametrului de sensivitate  $\lambda_{\Delta V}$ . Valorile mai mari ale  $\lambda_{\Delta V}$  duc la o scădere mai pronunțată a  $\alpha_{l,t}^{\Delta V,lim}$  după fiecare iterație, ceea ce determină, prin urmare, o modificare mai mare a sarcinilor de către ME. Pe de altă parte, valorile mai mici ale  $\lambda_{\Delta V}$  ar necesita mai multe iterații pentru ca algoritmul să se îndrepte către același punct, și anume pentru a restabili indicii calității energiei la limite acceptabile.

$$\alpha_{l,t}^{\Delta V} \Big|_{it=1} = p_{l,t}^{\text{sarc.total}} \Big|_{it=i} + \left(\frac{X}{R}\right)_l q_{l,t}^{\text{sarc.total}} \Big|_{it=i} \quad \forall l, t \quad (1.1)$$

$$\alpha_{l,t}^{\Delta V} \Big|_{it=i+1} \leq \alpha_{l,t}^{\Delta V,lim} \Big|_{it=i+1} \quad \forall l, t \quad (1.2)$$

$$\alpha_{l,t}^{\Delta V,lim} \Big|_{it=i+1} = \alpha_{l,t}^{\Delta V} \Big|_{it=i} (1 - \lambda_{\Delta V} \Delta V_t) \Big|_{it=i} \quad \forall l, t \quad (1.3)$$

### 2. Tratarea distorsiunilor armonice

După cum s-a mai menționat în lucrare, MR sunt caracterizate de o varietate sporită de tipuri de surse de generare, în comparație cu SE de tip centralizat. Panourile fotovoltaice (PV) solare sau pilele de combustie (PC) generează tensiune de curent continuu (DC). Evident, dacă MR va opera la curent alternativ (AC), la ieșirea unor asemenea instalații se vor monta invertoare (DC/AC). La ieșirea microturbinelor, care generează de obicei energie la tensiune AC la frecvența de cca 1 kHz, vor fi instalate invertoare de frecvență, pentru a injecta în MR energie cu valoarea frecvenței de 50 Hz. În unele cazuri, în dependență de tipul MR după forma tensiunii (AC, DC, de tip combinat sau hibrid) invertoare se pot instala la intrarea de la fiecare sursă. În MR hibride invertoare pot fi instalate, de asemenea, pentru a conecta sistemele de stocare a energiei, sau pentru a conecta partea de tip AC din MR cu partea de tip DC. În dependență de modalitatea aleasă de asigurare a ME în interiorul MR, poate fi diferită și arhitectura sistemului de comandă, centralizată – când parametrii de frecvență sunt dați de un inverter principal pentru toate alte invertoare (principiul master-slave), sau decentralizat, în care fiecare inverter lucrează la nivel de auto-comandă. Invertoare mai pot fi utilizate și la inter-comutarea MR cu rețeaua convențională, sau mai multe MR între ele. În afară de aceasta, întreaga gamă a electrocasnicilor la ziua de azi a devenit foarte variată, din punct de vedere al caracterului inductiv sau capacitiv al sarcinii. Toate acestea conduc la distorsiuni armonice a formei sinusoidale a tensiunii electrice, urmate în final de creșterea pierderilor de energie în rețea [1]. Armonicile superioare pot fi filtrate ușor prin

utilizarea filtrelor active sau pasive, sau reduse prin procedee de modulare cu utilizarea dispozitivelor ce funcționează în baza cheilor electronice de putere. Mai complicat este de a minimiza armonicile de ordin jos (3-a; 5-a; 7-a; 11-a; etc) fără a reduce puterea semnalului la frecvența de bază. Mai există și alte soluții tehnologice moderne de reducere a armonicilor, dar ele sunt mai costisitoare și nu întotdeauna se potrivesc din considerente de cost-eficiență [2]. Pentru a putea opera în sensul minimizării distorsiunilor armonice și, respectiv, a pierderilor, sunt definite două mărimi fizice importante și bine cunoscute. Prima, distorsiunea armonică totală (DAT, sau THD în Eng.), ce reprezintă raportul dintre rădăcina sumelor pătratelor a tuturor componentelor de curent și tensiune a frecvențelor armonicilor, la valoarea tensiunii și a curentului la frecvența de bază, după cum e prezentat în Ec. (2.1) și Ec. (2.2), respectiv:

$$V^{THD} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (2.1)$$

$$I^{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \quad (2.2)$$

Totodată, aici se cer unele specificări la felul de interpretare. În MR, de obicei, nivelul de tensiune este de 1 kV, la care corespund armonicile de 4% la surse individual, și 2% în locul de comutare PCC a MR, în corespundere cu [4], ceea ce este dificil. În [3] s-a propus limitarea la valoarea DAT de 5%. Pentru comoditate se admite că este cunoscută valoarea DAT de curent pentru fiecare sarcină, pe când valoarea DAT pentru tensiune va fi calculată pentru fiecare nod din circuit. A doua mărime utilizată la analiza armonicilor este valoarea sumară a distorsiunii cauzate de toate tipurile de sarcină,  $\alpha_t^{hd}$ . Parametrul  $\alpha_t^{hd,lim}$  în Ec. (2.4) stabilește limita pentru  $\alpha_t^{hd}$ , dar valoarea sa se modifică la fiecare iterație  $i$  după valoarea parametrului de sensivitate  $\lambda^{hd}$  și valoarea maximă a DAT pentru tensiune la toate sursele,  $V_{l,t}^{DAT}$  din Ec. (2.5).

$$\alpha_t^{hd} \Big|_{it=i} = \sum_{l,ty} p_{l,ty,t}^{sarc.} \Big|_{it=i} I_{ty}^{DAT} \quad \forall t \quad (2.3)$$

$$\alpha_t^{hd} \Big|_{it=i+1} \leq \alpha_t^{hd,lim} \Big|_{it=i+1} \quad \forall t \quad (2.4)$$

$$\alpha_t^{hd,lim} \Big|_{it=i+1} = \alpha_t^{hd} \Big|_{it=1} (1 - \lambda^{hd} \max_l V_{l,t}^{DAT}) \Big|_{it=1} \quad \forall t \quad (2.5)$$

### 3. Parametrul de dezechilibrare a fazelor

În cazul AC, la un SE trifazat balanța tensiunilor în faze nu este altceva, decât situația, în care amplitudinile pe toate trei faze sunt diferite, sau diferă unghiurile de fază ( $120^\circ$ ), sau ambele [5]. Fenomenul este cauzat în mare parte de diferența volumului sarcinilor pe fiecare fază. Indicele mai poartă denumirea de Factor al Disbalanței de Tensiune (FDT). Se urmărește, ca valorile puterilor active transmise prin aceste trei faze să fie foarte apropiate. În aceeași manieră de iterație, ca și în cazurile parametrilor descriși mai sus, se introduce o variabilă, care arată valoarea distribuției sarcinilor pe faze,  $\alpha_t^{disb.Faz(X,Y)}$ , după cum e prezentat în Ec. (3.1) – (3.3).

$$\alpha_t^{disb.(A,B)} \Big|_{it=i} = \left| \sum_i P_{l,t}^{sarc.total} (FazaA_l^{dist.} - FazaB_l^{disct.}) \right| \quad \forall t \quad (3.1)$$

$$\alpha_t^{disb.(B,C)} \Big|_{it=i} = \left| \sum_i P_{l,t}^{sarc.total} (FazaB_l^{dist.} - FazaC_l^{disct.}) \right| \quad \forall t \quad (3.2)$$

$$\alpha_t^{disb.(C,A)} \Big|_{it=i} = \left| \sum_i P_{l,t}^{sarc.total} (FazaC_l^{dist.} - FazaA_l^{disct.}) \right| \quad \forall t \quad (3.3)$$

unde, valorile  $F(X)_l^{dist.}$  reprezintă parametrii pentru alocarea factorilor de sarcină  $l$  către fazele A,B și C în (%). Dacă FDT iese din limite procentului stabilit, foarte des 3%, atunci se conectează modelul iterativ menționat, reprezentat în expresiile din Ec, (3.4) și (3.5).

$$\alpha_t^{\text{disb.Faz}(X,Y)} \Big|_{it=i+1} \leq \alpha_t^{\text{disb.,lim}} \Big|_{it=i+1} \quad \forall t \quad (3.4)$$

$$\alpha_t^{\text{disb.,lim}} \Big|_{it=i+1} = \max_{\text{Faz}(X,Y)} \alpha_t^{\text{disb.,Faz}(X,Y)} \Big|_{it=i} (1 - \lambda^{\text{disb.}} \max_l \text{FDT}_{l,t}) \Big|_{it=i} \quad \forall t \quad (3.5)$$

unde, Faza  $\in \{AB, BC, CA\}$ . Pentru a atinge indicele dorit de echilibru al fazelor, la fiecare iterație  $i$  parametrul  $\alpha_t^{\text{disb.Faz}(X,Y)}$  crește limita în sus, dar mai mică decât în iterația precedentă. Rata de schimbare a parametrului  $\alpha_t^{\text{disb.,lim}}$  este selectată la fiecare iterație, legată de cea mai mare valoare a  $\alpha_t^{\text{disb.Faz}(X,Y)}$ , iar pentru sarcina la bara respectivă  $l$ , ce mai mare valoare a FDT. Mai mult decât atât, ca și în cazurile parametrilor descriși anterior, această rată poate fi accelerată sau încetinită prin ajustarea valorii parametrului de sensivitate  $\lambda^{\text{disb.}}$ .

### Concluzii

Conștientizând faptul, că domeniul managementului energetic pentru sistemele construite în baza concepției de generare distribuită este în topul celor mai dezvoltate subiecte în cercurile specialiștilor din întreaga lume, trebuie de menționat că la moment sunt elaborate modele ce constituie o varietatea impunătoare. În lucrare a fost dezvăluită o abordare din cele mai simple, dar verificată în practica cercetătorilor, arătând rezultate satisfăcătoare. Elementul - cheie este găsirea și unui echilibru între algoritmul iterativ de optimizare a caracteristicilor de cost-eficiență și menținerea parametrilor standardizați de calitate a energiei electrice utilizate.

### Referințe

#### Articole în reviste:

1. MAHDI, S., PASAND, M. Harmonic Aggregation Techniques. *Journal of Electricla and Electronic Engineering*, 2015, 3(5), pp. 117-120 2015;3(5):117. <https://doi.org/10.11648/j.jeee.20150305.13>.
2. MAZIN, HE., XU, W. Harmonic cancellation characteristics of specially connected transformers. *Electronic Power Systems Research Journal* 2009; 79(12):1689–97. <https://doi.org/10.1016/j.epr.2009.07.006>.
3. GRADY, W., SANTOSO, S. Understanding power system hannonics. *IEEE Power Engineering Review*. 2001; Volume 21(11): December 2001, pp.8–11. <https://doi.org/10.1109/MPER.2001.961997>.
4. IEEE. Definitions of voltage unbalance. *IEEE Power Engineering Review*; Volume 21: May 2001, pP.49–51. <https://doi.org/10.1109/MPER.2001.4311362>.

#### Articole în culegerile conferințelor:

5. HOEVENAARS, T., LEDOUX, K., COLOSINO, M. Interpreting IEEE STD 519 and meeting its harmonic limits in VFD applications. In: *IEEE Industry Aplication Society 50th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference*, 15–17 Sept.; 2003. p. 145–50. <https://doi.org/10.1109/PCICON.2003.1242609>.

#### Referințe Web:

6. THOMAS, D., D'HOOP, G., DEBLECKER., O. GENIKOMSAKIS, K., IOAKIMIDIS, S. *Electronic companion - An integrated tool for optimal energy scheduling and power quality improvement of a microgrid under multiple demand response schemes*; 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3298279>. European Commission: RE-SIZED - Research Excellence for Solutions and Implementation of net Zero Energy city Districts (621408).