

Curs 2_1

Aspecte generale referitoare la calitatea energiei electrice

Cuprins

1.1	Introducere.....	2
1.2	Obiect.....	2
1.3	Definiții.....	2
1.4.	Cauzele și efectele perturbațiilor în RE.....	7

1. Introducere

Termenul de *calitate a energiei electrice* (power quality) a fost utilizat cu precădere după anul 1980. El reprezintă un generic acoperitor pentru considerarea influenței unui număr mare de perturbații electromagnetice care pot să apară în SEE (în special la m.t. și j.t.). Sintagma însă nu este unanim acceptată pe plan mondial.

Calitatea energiei electrice: termenul a fost propus în S.U.A. de IEEE și reprezintă **conceptul alimentării și legării la pământ a echipamentelor sensibile, într-un mod care să permită funcționarea lor corectă**. Termenul este utilizat într-un sens mai larg însă, referindu-se atât la problema poluării armonice generată de sarcinile neliniare, cât și la alte tipuri de perturbații electromagnetice apărute în SEE.

Compatibilitate electromagnetică (electromagnetic compatibility): termenul este utilizat de CEI și reprezintă **aptitudinea unui echipament sau sistem de a funcționa satisfăcător în mediul său electromagnetic, fără a induce perturbații inacceptabile în alt echipament sau sistem existent în acel mediu**.

Calitatea tensiunii: termenul este utilizat în Franța și în diferite publicații europene; se referă la **abaterile formei curbei de variație în timp a tensiunii de la sinusoida ideală**.

Calitatea curentului: este o definiție complementară celei anterioare; se referă la **abaterile formei curbei de variație în timp a curentului de la sinusoida ideală** → performanțele convertoarelor electronice.

Calitatea alimentării cu energie electrică (quality of supply): reflectă relația furnizor – consumator; are o componentă tehnică – calitatea tensiunii - și o componentă care reflectă relațiile cu consumatorul – calitatea serviciilor.

Calitatea consumului (quality of consumption): reflectă relația consumator-furnizor; se referă la calitatea curentului, corectitudinea în plata facturii electrice, etc.

În analiza problemelor legate de compatibilitatea electromagnetică, standardele CEI operează în primul rând cu termenii:

- **Emisia (emission)** – se referă la nivelul poluării electromagnetice produsă de un echipament;
- **Imunitatea (immunity)** – reflectă capacitatea unui echipament de a nu fi afectat de poluarea electromagnetică.

2 . Obiect

Obiectul acestui capitol este definirea și descrierea caracteristicilor de tensiune referitoare la:

- frecvență;
- amplitudine;
- forma de undă;
- simetria tensiunilor trifazate de alimentare.

Aceste caracteristici variază pe parcursul unei funcționări normale a sistemului de alimentare, datorită modificărilor de sarcină, perturbațiilor introduse de anumite echipamente și apariției unor defecte determinate în principal de cauze externe.

Variația acestor parametri este una aleatoare în timp într-un anumit nod sau ca locație la un moment dat.

Unele din fenomenele care afectează caracteristicile tensiunii sunt imprevizibile, astfel că este imposibilă definirea unor valori pentru acele caracteristici.

Indicator de calitate reprezintă o caracteristică de apreciere cantitativă a proprietăților unui produs, care este analizat sub aspectul îndeplinirii cerințelor privind elaborarea, exploatarea sau consumul.

În ceea ce privește energia electrică, scopul ideal urmărit de orice furnizor de energie electrică este de a pune permanent la dispoziția consumatorilor o tensiune alternativă sinusoidală, de frecvență și valoare efectivă menținute între anumite limite fixate contractual, egale pe cele trei faze ale rețelei.

Sistemul de indicatori de calitate ai energiei electrice trebuie să permită măsurarea/estimarea nivelului de calitate într-un anumit punct al rețelei și la un moment dat, precum și compararea informației obținute cu nivelul considerat optim sau cel puțin tolerabil de majoritatea consumatorilor racordați la rețeaua electrică respectivă.

În majoritatea țărilor, sistemul de indicatori ai calității energiei electrice este alcătuit din anumite **caracteristici cantitative ale variațiilor lente (abateri) sau rapide (fluctuații) ale valorii efective a tensiunii, forma și simetria în sistemul trifazat, precum și caracteristicile de variație lentă/rapidă ale frecvenței.**

3. Definiții

Consumator = cumpărătorul de energie de la furnizor

Furnizor = entitatea care furnizează energie electrică printr-un sistem de distribuție

Borne de alimentare = punctul de conectare a instalației consumatorului la sistemul public de alimentare

NOTĂ: poate fi diferit de punctul de măsurare sau de punctul comun de cuplare.

Tensiunea de alimentare = valoarea efectivă a tensiunii la un moment dat la bornele de alimentare, măsurată pe un interval dat.

Tensiunea nominală a unui sistem (U_n) = tensiunea la care un sistem este proiectat să opereze cu anumite caracteristici

Joasă tensiune (abreviere: j.t.) = tensiune sub 1 kV.

Medie tensiune (abreviere: m.t.) = tensiune în domeniul 1 kV ... 35 kV

Condiții normale de funcționare = caracterizate de absența unor condiții excepționale datorate de influențe externe sau evenimente deosebite

Nivel de compatibilitate (electromagnetică) = Nivel maxim (de referință) precizat (specificat) pentru perturbațiile electromagnetice la care se poate presupune (aștepta) că va fi supus un dispozitiv, un aparat sau un sistem funcționând în condiții particulare.

Notă: În practică nivelul de compatibilitate electromagnetică nu este un maxim; el poate fi depășit cu o mică probabilitate (în mod obișnuit 5%).

Niveluri de planificare = Niveluri care pot fi utilizate în scopul de planificare pentru a evalua impactul sarcinilor utilizatorilor asupra rețelei. Acestea sunt inferioare nivelurilor de compatibilitate.

Perturbație (electromagnetică) = Fenomen electromagnetic susceptibil de a determina tulburări în funcționarea unui dispozitiv, aparat sau sistem, sau de a afecta defavorabil materia vie sau inertă.

Nivel de perturbare = Intensitatea dată și cuantificată, cuprinsă într-o limită (plajă) de niveluri de perturbare corespunzând unui fenomen electromagnetic particular întâlnit în mediul considerat. (CEI-1000-2-5)

Nivel total de perturbare = Valoarea unei perturbații electromagnetice date, provocată de suprapunerea emisiei tuturor părților unui echipament într-un sistem dat și măsurată pe o cale specificată

Limita de perturbare = Nivelul de perturbare maxim admis, măsurat printr-o metodă specificată (VEI-161-03-08)

Nivel de imunitate = Nivelul maxim al unei perturbații electromagnetice de o formă dată, acționând asupra unui dispozitiv, aparat sau un sistem particular, astfel ca acesta să rămână capabil de a funcționa, cu performanța cerută, la calitatea dorită

Nivel de susceptibilitate al echipamentului = Nivelul de perturbare care ar afecta funcția echipamentului; trebuie să fie egal sau mai mare decât nivelul de imunitate stabilit prin teste

Nivel de emisii a unei sarcini perturbatoare = Nivelul perturbației care se va produce în rețeaua de alimentare în lipsa oricărei alte sarcini perturbatoare

Fond de perturbații (background disturbance) = Emisii perturbatoare existente în PCC, datorate unor cauze (consumatori) necunoscute, în absența consumatorilor perturbatori nominalizați

Nivel de perturbații maxim alocabil (disturbance level margin) = Diferența dintre limita pentru perturbația respectivă și nivelul fondului de perturbație respectiv, stabilită cu o anumită probabilitate de nedepășire

Punct de cuplare (PC) = Punctul în care compatibilitatea electromagnetică trebuie să fie considerată

Putere totală disponibilă a rețelei = Capabilitate nominală (kVA, MVA) a instalațiilor furnizorului în punctul comun de cuplare (PCC)

Perturbații conduse = fenomene electromagnetice propagate de-a lungul conductoarelor liniilor unui sistem de distribuție. Aceste perturbații pot duce la degradarea performanțelor unui echipament sau system sau pot determina defecțiuni.

Variații de tensiune = o creștere sau scădere a tensiunii determinată în mod normal de variația sarcinii unui sistem de distribuție

Variații rapide de tensiune = variația rapidă a valorii efective a tensiunii între două nivele consecutive, menținută o anumită durată, nespecificată

Fluctuații de tensiune = o serie de modificări de tensiune sau o variație ciclică a înfășurătorii tensiunii (IEV 161-08-05)

Flicker = jena fiziologică asupra ochiului uman, la variația fluxului luminos (IEV 161-08-13) (fluctuații de tensiune)

Nivelul flicker-ului = intensitatea disconfortului produs de flicker definită conform metodei de măsurare a flicker-ului UIE-IEC și evaluată cu ajutorul următoarelor cantități:

- indicator de flicker instantaneu (P) – corespunde pragului convențional de iritabilitate (CEI 1000-3-3)
- indicator de flicker de timp scurt (P_{st}) măsurată pe o perioadă de 10 min;
- indicator de flicker pe timp lung (P_{it}) calculată într-o secvență de 12 valori P_{st} într-un interval de 2 ore, conform relației :

$$P_{it} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}}$$

Goluri de tensiune = scăderea bruscă a tensiunii de alimentare la o valoare cuprinsă între 90% și 1% din tensiunea declarată, urmată la un interval mic de timp de revenirea la valoarea anterioară. În mod normal, durata unui gol de tensiune este de 10 ms până la 1 min. Amplitudinea golului de tensiune se definește ca diferența între valoarea efectivă minimă pe perioada golului și tensiunea declarată. Modificările de tensiune care nu reduc valoarea acesteia la mai puțin de 90% din valoarea declarată nu sunt considerate goluri

Înteruperea alimentării = situația în care tensiunea la bornele de alimentare este mai mică de 1 % din tensiunea declarată U . Întreruperile în alimentare pot fi clasificate în :

- **aranjate anterior**, consumatorii sunt informați în avans, pentru a permite execuția unor operații planificate în sistemul de distribuție
- **accidentale**, cauzate de defecte tranzitorii sau permanente, majoritatea determinate de evenimente externe, defectări ale echipamentelor sau interferențe. O întrerupere accidentală poate fi la rândul ei:
 - de lungă durată (mai lungă de 3 min) cauzată de un defect permanent
 - de scurtă durată (până în 3 min) cauzată de un defect tranzitoriu

Supratensiuni temporare la frecvența de alimentare = o supratensiune de scurtă durată, într-un anumit punct al sistemului (determinată de comutații ale echipamentelor, reduceri ale sarcinii, defecte monofazate, neliniarități)

Supratensiuni tranzitorii = o tensiune oscilantă sau neoscilantă de scurtă durată, de obicei puternic amortizată și cu o durată mai scurtă de câteva ms (cauze – deșărcări atmosferice, arderea fuzibililor)

Tensiune armonică = o tensiune sinusoidală cu frecvența egală cu un multiplu întreg al frecvenței fundamentale a tensiunii de alimentare. Tensiunea armonică poate fi evaluată:

- individual cu nivelul armonicii = raportul dintre valoarea efectivă a armonicii h considerate și valoarea efectivă a armonicii fundamentale: $\gamma_{hu} = \frac{U_h}{U_1} \cdot 100$

- global, de exemplu cu ajutorul factorului total de distorsiune armonică THD:

$$THD = \sqrt{\sum_{k=2}^{40} (u_h)^2}$$

NOTE: Armonicile tensiunii de alimentare sunt determinate în principal de sarcinile nelineare conectate în sistem.

Circulația armonicilor de curent prin impedanțele sistemului determină creșterea armonicilor de tensiune. Armonicile de curent și impedanțele sistemului variază în timp, ducând la modificarea amplitudinii tensiunilor.

Raportul dintre valoarea efectivă a armonicilor (în acest context curenții armonici I_h de rang h) și valoarea efectivă a fundamentalei (CEI-1000-3-4) :

$$THD_I = \sqrt{\sum_{k=2}^{40} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \quad (\text{notat uzual în literatura tehnică din România } \delta_I)$$

Întrucât aparatele de măsurare (distorsiometru) indică valoarea factorului de distorsiune cu raportare la valoarea efectivă a curentului de sarcină este necesară atenție atunci când se compară limitele de planificare cu valorile măsurate.

Factor de distorsiune armonică parțial ponderată: CEI-1000-3-4 : $THD_{IP} = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} h \cdot \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2}$ (notat uzual în literatura tehnică din România δ_{IP})

Distorsiunea armonică parțial ponderată a fost introdusă pentru a lua în considerare că odată cu creșterea rangului, armonicile descresc

Putere perturbatoare ponderată :

$$S_{DWi} = \sum_j S_{Dj} \cdot W_j$$

în care: W_j - factor de ponderare;

S_{Dj} - puterea echipamentului deformant j al instalației i .

Impedanța armonică (Z_h): Impedanța pe fază într-un sistem de succesiune pozitivă (directă) de armonică de rang h .

Interarmonici de tensiune = o tensiune sinusoidală cu frecvență între cea a armonicilor (multiplu neîntreg al frecvenței fundamentale)

Nesimetrie de tensiune = condițiile în care valorile efective ale tensiunilor de fază într-un sistem trifazat sau defazajele între faze consecutive nu sunt egale

Semnale conduse de tensiune = semnale suprapuse peste tensiunea de alimentare având ca scop transmiterea informațiilor în sistemul de distribuție publică și la consumatori. În sistemele de distribuție se întâlnesc 3 tipuri de semnale:

- semnale de control sub formă de unde întreținute sau tranzitorii: suprapuse peste semnalele tensiunii sinusoidale, în domeniul 110 ...3000 Hz;
- semnale conduse pe liniile electrice: suprapuse peste semnalele tensiunii sinusoidale, în domeniul 3...148,5 kHz.

Perturbațiile care apar în RE pot fi determinate de :

- Surse naturale (fenomene atmosferice) ;
- Surse artificiale – fenomene care se produc în timpul exploatării echipamentelor de producere, transport și utilizare a energiei electrice.

Cele mai importante **fenomene electromagnetice care pot considerate surse de perturbații**

sunt :

i) **Fenomenele tranzitorii** - se referă la variațiile rapide ale tensiunii și curentului electric din sistem

- **Regimuri tranzitorii de tip impuls** - determinate de:

- trăznete
- comutarea separatoarelor
- comutarea sarcinii

- **Regimuri tranzitorii oscilante**

- comutarea liniei/cablului
- comutarea condensatoarelor
- comutarea sarcinilor
- ii) **Regimul staționar** – într-un sistem de distribuție este doar teoretic, având în vedere faptul că sarcinile se modifică permanent, iar generatoarele sunt astfel reglate încât să mențină sistemul în echilibru. Perturbațiile în regim permanent sunt:
 - întreruperi
 - goluri de tensiune
 - supratensiuni temporare
- iii) **Fluctuațiile de tensiune** – variații sistematice sau aleatoare ale valorii efective sau ale valorii de vârf sau o serie de variații ciclice ale înfășurătoarei curbei de variație în timp a tensiunii, pe o anumită perioadă de timp
 - sarcini intermitente
 - porniri repetate ale motoarelor
 - cuptoare cu arc
 - sudarea electrică
- iv) **Poluarea armonică** – se datorează
 - prezenței sarcinilor neliniare
 - rezonanțe în sistem

4. Cauzele și efectele perturbațiilor în RE

Natura	Originea	Efecte	Detectare și măsurare	Remedii
1	2	3	4	5
Întreruperi de lungă durată (> 1 min)	<u>Sursa</u> defecte permanente <u>Cauze:</u> - atmosferice - defecte	- oprirea producției - pierderi de produse - dezorganizarea producției - reducerea siguranței în funcționare	- echipament de monitorizare	<u>Furnizor</u> - o rețea mai bine organizată - linii în cablu - reconfigurare automată a rețelei - mentenanță preventivă <u>Consumator</u> - grupuri de siguranță - dublă alimentare - rezervare pe parte tehnologică
Întreruperi de scurtă durată (3 s...1 min)	<u>Sursa:</u> defecte în rețea eliminate prin automatica de sistem <u>Cauze:</u> cicluri lente de RAR	- riscuri în special pt. echipamentele cu comenzi electronice - risc de oprire a motoarelor de acționare	Echipament de monitorizare	<u>Furnizor</u> - similare celor de la întreruperile de lungă durată <u>Consumator</u> dublă alimentare dotată cu AAR rezervare pe parte tehnologică
Microîntreruperi (< 3 s)	<u>Furnizor</u> : defecte pasagere pe LEA	- perturbații ale sistemelor comandate de calculator - opriri ale proceselor tehnologice cu comenzi electronice - stingerea lămpilor cu descărcări în gaze	Echipament de monitorizare	<u>Furnizor</u> : - paratrăsnete - linii subterane <u>Consumator</u> -proiectarea echipamentelor având în vedere aceste perturbații - surse neîntreruptibile (UPS) pentru echipamente sensibile
A. Variații ale amplitudinii tensiunii și valorii frecvenței				
Variații lente de tensiune	<u>Furnizor</u> variații ale încărcării rețelei	- nu sunt deranjante dacă nu sunt depășite toleranțele	- voltmetru - Echipament de monitorizare	- regulatoare de tensiune - controlul în timp real al surselor de Q - echipamente FACTS
Goluri de tensiune	<u>Furnizor</u> s.c. în rețea	- oprirea unor echipamente sensibile	- echipament de monitorizare	<u>Furnizor și consumator</u> : - îmbunătățirea

	<u>Consumator</u> - s.c. în sistemul intern de alimentare - șocuri de curent	- oprirea unor motoare electrice	- perturbograf	tehnologiilor de mentenanță - utilizarea de echipamente cu caracteristici superioare
Supratensiuni	-fenomene atmosferice -regimuri tranzitorii -comutații în rețele	- îmbătrânirea izolației echipamentelor electrice	Echipament de monitorizare Voltmetru	- tratarea neutrului - paratrăznete - DRV - Filtre
Variații de frecvență	<u>Furnizor</u> defecte în rețea cu pierderea unor surse	- perturbarea echipamentelor electronice sensibile - dereglarea ceasurilor sincronizate la RE	Echipament de monitorizare Frecvențmetru	<u>Furnizor</u> Reglaj de frecvență
Variații lente de tensiune	<u>Furnizor</u> variații ale încărcării rețelei	- nu sunt deranjante dacă nu sunt depășite toleranțele	- voltmetru - Echipament de monitorizare	- regulatoare de tensiune - controlul în timp real al surselor de Q - echipamente FACTS
B. deformarea formei curbei de variație în timp a tensiunii				
Armonici și interarmonici	<u>Furnizor</u> - saturația trafo de sistem - descărcarea corona pe linii <u>Consumator</u> - surse de armonici de tensiune și curent (arc electric, redresoare de mare putere, invertoare, etc.)	- pierderi în Fe și încălziri și îmbătrâniri ale condensatoarelor - dereglări ale circuitelor electronice - supratensiuni	-analizor armonic - echipament de monitorizare	<u>Furnizor</u> - controlul tensiunii în nodurile rețelei <u>Consumator</u> - controlul procesului tehnologic - filtre de armonici - urmărirea încadrării în limitele înscrise în contractul de furnizare
Impulsuri de tensiune și fenomene tranzitorii de înaltă frecvență	- manevre în circuite inductive - supratensiuni atmosferice - comutația tiristoarelor - descărcări electrostatice etc.	- străpungeri de izolație - perturbarea semnalelor de comandă și a transmisiilor de date - comenzi intempestive	-perturbograf și analizoare de spectru - echipament de monitorizare	- varistoare - DRV