

## CALITATEA ENERGIEI ÎN PIETELE LIBERALIZATE

### 1. Sistemul indicatorilor calității energiei electrice

1.1. Cerințe privind elaborarea unor acte normative privind calitatea energiei electrice

1.2. Sisteme de indicatori folosite în lume și în România pentru asigurarea calității energiei electrice

1.3. Indicatori și valori normate pentru aprecierea calității frecvenței

1.4. Indicatori și valori normate pentru aprecierea calității tensiunii

### 2. Aspecte de legislație, standarde și normative europene și naționale, perspective.

## 1. SISTEMUL INDICATORILOR CALITĂȚII ENERGIEI ELECTRICE

Promovarea riguroasă a unei politici a calității în sistemul energetic, presupune definirea și promovarea unei legislații noi, adecvate și armonizată cu reglementările adoptate la nivel internațional, care vizează responsabilitatea furnizorilor pentru eventualele daune pricinuite utilizatorilor prin livrarea unor produse de calitate necorespunzătoare contractelor dintre agenții economici. Aceste reglementări trebuie să constituie baza legală a protejării consumatorilor și stabilească obligații și răspunderi precise pentru toți partenerii de afaceri implicați pe întregul traseu producție-consum.

Calitatea energiei electrice depinde însă nu numai de furnizor, ci și de toți consumatorii racordați la aceeași rețea de alimentare.

Este deci necesară elaborarea unor recomandări și/sau norme acceptate internațional, fie cu privire la nivelul admisibil al perturbațiilor, fie cu privire la capacitatea receptoarelor electrice de a face față situației.

### 1.1. Cerințe privind elaborarea unor acte normative privind calitatea energiei electrice

Pentru a putea fi bine utilizate în cadrul noilor relații de furnizare a energiei electrice, actele normative, standardele și/sau prescripțiile referitoare la CEE trebuie revizuite și perfecționate, unele dintre acestea chiar elaborate pe principii noi.

#### 1.1.1. Setul de indicatori ai calității energiei electrice CEE

Sistemul de indicatori ai calității 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.

**Indicatorii CEE trebuie:**

- definiți ca *mărimi statistice*, într-un interval de timp,
- trebuie să fie suficient de *universali*, pentru a fi posibilă folosirea lor practică în proiectare și/sau exploatare, precum și îndeplinirea unui control metodologic de masă, cu precizia necesară, utilizând dispozitive relativ simple și ieftine, atât în rețelele furnizorilor, cât și la abonați,

- trebuie să permită o departajare, *fără echivoc*, a răspunderilor pentru nerespectarea condițiilor de calitate, ce trebuie să revină furnizorului, de cele de care sunt răspunzători abonații,
- trebuie să fie *ușor perfectibil*, pentru a putea surprinde rapid și cât mai complet multiplele aspecte, care definesc la o anumită etapă CEE,
- trebuie să fie *cât mai puțin la număr*,
- trebuie să fie *clar și precis delimitați*, pentru a caracteriza cât mai exact toate proprietățile distinctive ale energiei electrice, într-un regim de funcționare stabilizat al SEN.

### ***1.1.2. Valorile normate pentru indicatorii de calitate a energiei electrice***

Actele normative privind CEE trebuie să constituie documentele pe baza cărora se stabilește sistemul de relații reciproce dintre întreprinderile furnizoare de energie electrică și abonați.

Nivelul admisibil de perturbații, care poate fi suportat de un echipament, depinde în mod esențial de caracteristicile locale ale rețelei în punctul de racordare.

Din acest motiv, normele de calitate ai energiei electrice trebuie precizate în funcție de *tipul și tensiunea* rețelei la care se referă și **trebuie precizat punctul în care se normează indicatorii de calitate:**

- la bornele receptoarelor
- la punctul de delimitare a rețelei furnizorului de cea a abonatului
- în rețeaua de transport etc.

Normarea unor valori și/sau toleranțe admisibile pentru indicatorii de calitate, trebuie realizată *pe baza unei cunoașteri foarte exacte a efectelor noncalității în diferitele sectoare de activitate.*

*Abaterea indicatorilor de calitate a energiei electrice de la un nivel considerat optim, (sau cel puțin tolerabil) de majoritatea utilizatorilor racordați la același nod de consum energetic, poate conduce la implicații economice, ecologice și sociale.*

**La estimarea prejudiciilor datorate lipsei de calitate și, implicit, la normarea indicatorilor de calitate, trebuie să se țină seama de *legăturile de interdependență*, care există între unii indicatori de calitate.**

### ***1.1.3. Controlul și asigurarea calității energiei electrice***

Actele normative privitoare la calitatea energiei electrice trebuie să conțină referiri și la controlul CEE: **periodicitatea și durata măsurărilor, precizia necesară** etc.

Valorile normate ale indicatorilor de calitate trebuie asigurate în regim normal de exploatare și sunt necesare rezerve pentru situațiile critice în care se pot afla sistemele energetice, evitându-se unele consecințe foarte grave.

În concluzie, **normele de calitate a energiei electrice trebuie să conțină referiri cu privire la indicatorii ce trebuie asigurați în regimuri de avarie și post-avarie sau să includă mențiuni cu privire la dispozitivele de compensare necesare.**

## **1.2. Sisteme de indicatori folosite în lume și în România pentru asigurarea calității energiei electrice**

În majoritatea țărilor sistemul de indicatori ai calității energiei electrice este format dintr-o serie de caracteristici cantitative ale:

- variațiilor lente (abateri) ale valorii efective a tensiunii

- variațiilor rapide (fluctuații) ale valorii efective a tensiunii
- formei și simetriei în sistemul trifazat
- variațiilor lente/rapide ale frecvenței.

În România nu există un sistem unitar de indicatori ai calității energiei electrice, fiind definiți și normați individual, prin diferite acte normative, doar o parte din parametrii care pot prezenta interes în monitorizarea calității.

### 1.3. Indicatori și valori normate pentru aprecierea calității frecvenței

Alegerea frecvenței de funcționare într-un sistem energetic este de fapt o problemă de compromis optim, care trebuie să ia în considerare cerințele diferite, cu privire la frecvență, ale celor trei sectoare de bază din sistem: producere, transport și utilizare a energiei electrice.

Prin urmare, alegerea unei frecvențe optime de funcționare, unică pentru întreg sistemul energetic, s-a efectuat pe baza unui compromis, în majoritatea țărilor între anii 1920-1930 (în România în perioada 1953-1959), și s-a ales valoarea de 50 Hz. Astăzi, ținând cont de progresele tehnologice, se apreciază că valoarea optimă a frecvenței ar fi deja peste această valoare.

#### 1.3.1. Indicatori de estimare a variațiilor frecvenței

În România, delimitarea variațiilor lente ale frecvenței de cele rapide nu este reglementată. În Uniunea Statelor Independente se folosește drept criteriu de delimitare viteza de variație a frecvenței pentru o valoare de 0,2 Hz/s.

Un indicator foarte folosit pentru estimarea variațiilor lente de frecvență este **abaterea frecvenței față de valoarea nominală**, exprimată prin relații de forma:

$$\Delta f = f - f_N [\text{Hz}], \quad (1)$$

sau:

$$\Delta f [\%] = \frac{f - f_N}{f_N} 100 = (f' - 1) 100, \quad (2)$$

unde  $f$  reprezintă valoarea frecvenței la un moment dat, exprimată în Hz,  $f_N$  - frecvența nominală, egală cu 50 Hz și  $f'$  - frecvența relativă sau **nivelul de frecvență la un moment dat**.

Luând în considerare variația în timp a frecvenței sistemului, se definește **abaterea medie a frecvenței față de valoarea sa nominală**, într-un interval de timp  $T$ :

$$\Delta \bar{f} = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta f(t) dt = \frac{100}{T} \int_0^T \frac{f(t) - f_N}{f_N} dt [\%], \quad (3)$$

sau:

$$\Delta \bar{f} = 100(\bar{f}' - 1) [\%], \quad (4)$$

în care  $\bar{f}'$  este **nivelul mediu de frecvență pe intervalul  $T$** .

În calculul statistic, variabilele aleatoare se reprezintă sub forma unei perechi de valori, care este compusă din valoarea medie și abaterea medie pătratică față de valoarea medie, respectiv, coeficientul de variație al variabilei aleatoare.

**Abaterea medie pătratică a nivelului de frecvență ( $f'$ )** se determină cu relația:

$$\sigma_{f'} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [f'(t) - \bar{f}']^2 dt} = \frac{\sigma_{\Delta f} [\%]}{100}. \quad (5)$$

Coeficientul de variație a unei mărimi aleatoare este un alt indicator sintetic adimensional al împrăștierii statistice a datelor în jurul valorii medii. **Coeficientul de variație a frecvenței** este:

$$cv_f = \frac{\sigma_{f'}}{\bar{f}'} = \frac{\sigma_f}{\bar{f}}, \quad (6)$$

unde  $\bar{f}$  reprezintă frecvența medie pe intervalul  $T$ , în Hz, iar  $\sigma_f$  - abaterea medie pătratică a frecvenței față de valoarea sa medie, în Hz.

### 1.3.2. Valori normate pentru frecvență

Variațiile frecvenței influențează funcționarea majorității instalațiilor electrice.

Majoritatea receptoarelor electrice acceptă **limite de imunitate la variații de frecvență** de aproximativ  **$\pm 1$  Hz ( $\pm 2\%$ )**.

Unele studii mai recente demonstrează că aproape toți consumatorii funcționează stabil la frecvența de 48,5 Hz ( $f' = 0,97$ ) și chiar sub această valoare, respectiv, la frecvențe care nu depășesc valoarea de 51,5 Hz. Prin urmare, valorile de  $\pm 1$  Hz, considerate ca limite admisibile pentru abaterile de frecvență, nu sunt susținute întotdeauna de considerente tehnologice.

**În cazul motoarelor de curent alternativ**, STAS 1893 recomandă ca abaterile frecvenței față de valoarea nominală să nu depășească  **$\pm 5\%$** . În cazul unor abateri simultane de frecvență și tensiune, unde suma valorilor absolute ale acestor abateri nu depășește 5%, motorul trebuie să dezvolte puterea nominală.

*Uniunea pentru Coordonarea Producției și Transportului de Energie Electrică* (cuprinde 12 țări europene), recomandă ca **serviciile proprii ale centralelor electrice** să fie astfel concepute încât, în caz de avarii însoțite de scăderea frecvenței, pentru următoarele valori ale parametrilor:

- 48,4 Hz <  $f \leq$  50 Hz ( $0,968 < f' \leq 1$  și  $-3,2\% < \Delta f \leq 0$ ) – blocul să funcționeze la întreaga putere; la frecvența de 48,5 Hz (-3%), serviciile proprii sunt trecute automat pe sursa de rezervă independentă (turbine cu gaze sau grupuri Diesel);
- 47,6 Hz <  $f \leq$  48,4 Hz ( $0,952 < f' \leq 0,968$  și  $-4,8\% < \Delta f \leq -3,2\%$ ) – blocul să funcționeze la cel puțin 94% din puterea nominală; la scăderea frecvenței sub 47,6 Hz, blocul se va decupla de la rețea și se va opri, în cazul în care nu poate fi insularizat;
- $f = f_N$  ( $f' = 1$ ;  $\Delta f = 0$ ) – serviciile proprii trebuie supradimensionate;
- 50 Hz <  $f \leq$  53 Hz ( $1 < f' \leq 1,06$ ;  $0 < \Delta f \leq 6\%$ ) – serviciile proprii trebuie să funcționeze fără perturbații.

**Convertizoarele cu semiconductoare** se realizează, conform normelor CEI 146, în trei clase de imunitate (A, B, C). Pentru a nu-și pierde performanțele garantate, convertizoarele de clasă A și B admit un domeniu de variație a frecvenței rețelei de alimentare de cel mult  $\pm 2\%$ , iar cele de clasă C de cel mult  $\pm 1\%$ , în condițiile în care o scădere de frecvență nu se suprapune peste o creștere a tensiunii, și invers. În ceea ce privește viteza de variație a frecvenței, convertizoarele de clasă A admit o variație de cel mult  $\pm 2\%/s$ , spre deosebire de convertizoarele de clasă B și C, care admit o variație maximă de  $\pm 1\%/s$ .

În **sistemele energetice**, abaterile admisibile ale frecvenței pentru regimurile normale de exploatare se situează, în general, în domeniul  $\pm(0,1...2)\%$ , valorile minime fiind caracteristice sistemelor interconectate. În unele țări, abaterile frecvenței se acceptă doar în domeniul valorilor

pozitive. În condiții de avarie, în majoritatea țărilor, se acceptă abateri de frecvență ceva mai mari (-5%...+2%).

În **România**, Regulamentul pentru furnizarea și utilizarea energiei electrice prevede obligația furnizorului de a menține frecvența de 50 Hz, cu o abatere de cel mult  $\pm 0,5$  Hz ( $\pm 1\%$ ). În condițiile funcționării SEN interconectat, limita superioară admisă este de +0,05 Hz.

#### 1.4. Indicatori și valori normate pentru aprecierea calității tensiunii

Procesul aleator de variație a tensiunii, în orice punct al unei rețele, poate fi reprezentat prin suprapunerea următoarelor componente:

- **variații lente** (cu o periodicitate apropiată de 24 ore), care în general se datoresc variațiilor progresive ale sarcinii și sunt mai mult sau mai puțin compensate prin reglajul sub sarcină al transformatoarelor; variațiile lente tipice sunt de ordinul  $\pm 10\%$ , pe o durată de aprox. 10 min;
- **variații rapide** (cu o periodicitate de la o variație pe oră la aproximativ 40-50 variații pe secundă), care se datoresc, de cele mai multe ori, instalațiilor consumatorilor, ca urmare unor cereri aleatoare (pornirea unor mari cuptoare cu arc) și/sau neregulate (posturi de sudură); de regulă amplitudinea variațiilor rapide nu depășește 10%;
- **goluri de tensiune** sunt provocate de scurtcircuitele apărute în rețelele furnizorului și/sau ale consumatorilor, care determină acțiunea protecțiilor prin relee și a automatizărilor (AAR, RAR etc.) ; amplitudinea golurilor este cuprinsă între o valoare minimă de ordinul - 10%... - 20% și ajunge până la -100%, cu o durată de 10 ms – 20 s (în România durata este de cel mult 3 s); amplitudinea și durata golului depinde de configurația și caracteristicile rețelei, de tipul scurtcircuitului, de modul de eliminare a defectului;
- **impulsuri de tensiune**, determinate de descărcările atmosferice, funcționarea aparatelor de comutație sau a unor receptoare; amplitudinea acestora poate depăși de câteva ori valoarea nominală, durata sub 10 ms.

Modul de reacție diferit al receptoarelor electrice la diverse tipuri de variații ale tensiunii de alimentare necesită stabilirea unor indicatori, care să caracterizeze cât mai corect fenomenele și care să fie folosiți pentru cuantificarea nivelului de calitate a energiei electrice ce trebuie asigurat consumatorilor. Între diverși indicatori folosiți există relații strânsă interdependență, anumiți indicatori fiind chiar deductibili din ceilalți.

##### 1.4.1. Indicatori și valori normate pentru variații lente de tensiune

Variații lente = variațiile tensiunii de aproximativ  $\pm 10\%$ ... $20\%$  față de valoarea nominală, cu o periodicitate de cel puțin 5-10 minute.

*Indicatori pentru aprecierea variațiilor lente de tensiune*

- **abaterea** tensiunii față de valoarea sa nominală sau față de valoarea sa medie
- **nivelul de tensiune**
- **iregularitatea tensiunii.**

**Abaterea de tensiune într-un anumit punct al rețelei**

Abaterea de tensiune într-un anumit punct al rețelei se estimează, de regulă, prin diferența dintre valoarea tensiunii de serviciu și a celei nominale, în cadrul unui proces determinist sau prin

diferența dintre valoarea medie și cea nominală, în condițiile unei variații aleatoare a tensiunii, în care caz timpul ales pentru mediere depinde de caracteristicile concrete ale proceselor din instalațiile respective.

**Abaterea de tensiune** față de valoarea nominală se exprimă în procente din tensiunea nominală a instalației cu relația:

$$\Delta U = \frac{U_s - U_N}{U_N} \cdot 100 = (u - 1) \cdot 100 [\%], \quad (7)$$

unde  $U_s$  este tensiunea de serviciu a rețelei, respectiv tensiunea dintre două faze ale rețelei electrice, măsurată într-un anumit punct și la un moment dat,  $U_N$  este tensiunea nominală a rețelei, respectiv tensiunea prin care este denumită rețeaua și la care se face referirea pentru anumite caracteristici ale funcționării acesteia iar  $u$  este *nivelul de tensiune* care caracterizează, printre altele, distanța electrică a punctului de rețea analizat față de sursa de producere a puterii reactive: dacă punctul este apropiat de această sursă  $u > 1$ , iar dacă este situat la extremitățile rețelei atunci  $u < 1$ ; dar caracterizează și echilibrul general al puterii reactive în sistem, valoarea acestui indicator scăzând atunci când sistemul nu dispune de rezervă suficientă.

Dacă se ia în considerare variația în timp a tensiunii de serviciu în punctul de rețea analizat, **abaterea medie de tensiune** față de valoarea nominală într-un interval de timp T, se determină cu relația:

$$\Delta \bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta U(t) dt = \frac{100}{T} \int_0^T \frac{U_s(t) - U_N}{U_N} dt [\%] \quad (8.a)$$

sau:

$$\Delta \bar{U} = (\bar{u} - 1) \cdot 100 [\%], \quad (8.b)$$

Unde  $\Delta U(t)$  reprezintă abaterea de tensiune față de valoarea nominală în punctul analizat, la momentul  $t$ , [%];

$U_s(t)$  - tensiunea de serviciu la momentul  $t$  în punctul considerat, [V]

$\bar{u}$  - *nivelul mediu de tensiune*, în intervalul T, în punctul de rețea considerat.

### **Dispersia abaterilor de tensiune**

Dispersia abaterilor de tensiune față de abaterea medie se determină cu relația:

$$\sigma_{\Delta U}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [\Delta U(t) - \Delta \bar{U}]^2 dt = \frac{100^2}{T} \int_0^T [u(t) - \bar{u}]^2 dt [\%] \quad (9.a)$$

sau:

$$\sigma_{\Delta U}^2 = 100 \sigma_u [\%], \quad (9.b)$$

unde  $\sigma_{\Delta U}^2$  reprezintă dispersia nivelului de tensiune în jurul valorii medii iar  $\sigma_u$  este abaterea medie pătratică a nivelului de tensiune față de nivelul mediu.

Coeficientul de variație a tensiunii este definit de relația:

$$cv_u = \frac{\sigma_u}{\bar{u}} = \frac{\sigma_U}{\bar{U}}, \quad (10)$$

unde  $\bar{U}$  reprezintă valoarea medie a tensiunii de serviciu, [V]

$\sigma_U$  - abaterea medie pătratică a tensiunii față de valoarea medie, [V].

### **Gradul de iregularitate a tensiunii sau valoarea medie pătratică a abaterii de tensiune**

Acest indicator a fost introdus de P. Ailleret, pentru evaluarea calității energiei electrice din punct de vedere a variațiilor lente ale tensiunii și se determină cu relația:

$$\varepsilon_q^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [\Delta U(t)]^2 dt = \frac{100^2}{T} \int_0^T [u(t) - 1]^2 dt \quad [\%]^2. \quad (11)$$

Între dispersia abaterilor de tensiune față de abaterea medie se poate stabili o relație de legătură:

$$\sigma_{\Delta U}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [\Delta U(t) - \Delta \bar{U}]^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T [\Delta U(t)]^2 dt - \frac{2}{T} \Delta \bar{U} \int_0^T \Delta U(t) dt + \frac{\Delta \bar{U}^2}{T} \int_0^T dt = \varepsilon_q^2 - (\Delta \bar{U}^2) \quad [\%]^2.$$

Prin urmare gradul de iregularitate se exprimă cu relația:

$$\varepsilon_q^2 = \sigma_{\Delta U}^2 + (\Delta \bar{U})^2 \quad [\%]^2 \quad (12)$$

O variantă a gradului de iregularitate, în exprimare energetică, aparține lui Gaussens:

$$\varepsilon_{qW}^2 = \frac{\int_0^T [\Delta U(t)]^2 P(t) dt}{\int_0^T P(t) dt} = \frac{1}{W} \int_0^T [\Delta U(t)]^2 dW \quad [\%]^2 kWh, \quad (13)$$

unde  $P(t)$  reprezintă curba de sarcină a consumatorului la bornele căruia se apreciază calitatea tensiunii, pe intervalul  $T$ , iar  $W$  – energia consumată în intervalul de timp  $T$ .

### **1.4.2. Indicatori și norme pentru impulsuri de tensiune (supratensiuni)**

**Impuls de tensiune** = creșterea bruscă a tensiunii, pe un interval de timp de la câteva microsecunde la zeci de milisecunde, după care urmează restabilirea tensiunii la nivelul inițial.

**Problema considerării unor indicatori privind impulsurile de tensiune printre indicatorii calității energiei electrice este deocamdată mai puțin studiată.**

Supratensiunile sunt abordate în legătură cu probleme de alegere și coordonare a izolației, având drept scop reducerea deteriorărilor provocate de solicitările dielectrice aplicate echipamentelor electrice și deci creșterea siguranței în funcționare a instalațiilor.

Un echipament electric este proiectat, din punct de vedere al izolației, să funcționeze la o tensiune maximă admisibilă, care este cea mai mare valoare efectivă a tensiunii între faze pentru care este proiectat să funcționeze echipamentul din punct de vedere al izolației acestuia și al altor caracteristici care pot fi legate de această tensiune. Această tensiune trebuie însă să fie cel puțin egală cu valoarea maximă a tensiunii de serviciu a rețelei în care va fi utilizat echipamentul, în condiții normale de exploatare.

Supratensiunile care apar într-un punct al rețelei pot fi:

- **de trăsnet:** care apar datorită unei descărcări atmosferice sau a unei alte cauze fiind de obicei de o singură polaritate și de durată foarte scurtă (au amplitudinea de ordinul miilor de kV și durata de ordinul microsecundelor,
- **de comutație:** care apar datorită unei operații de comutare, a unui defect sau a altor cauze fiind de obicei puternic amortizate (de 1,5-3 ori valoarea de vârf a tensiunii de linie sau de fază) și de scurtă durată (jumătate de undă la frecvența rețelei),
- **temporare:** care sunt provocate de comutații (deconectarea bruscă a unei sarcini importante), de apariția unor defecte (de exemplu monofazate) sau de unele fenomene

neliniare (ferorezonanță, armonici) fiind oscilați neamortizate sau slab amortizate fază-pământ sau între faze, cu durată relativ mare.

Supratensiunile fiind întotdeauna fenomene tranzitorii, ele se pot împărți în două categorii:

- **puternic amortizate și de durată relativ scurtă,**
- **neamortizate sau slab amortizate și de durată relativ lungă.**

Printre indicatorii de apreciere a supratensiunilor, în scopul studierii coordonării izolației, se numără:

- **valoarea în unități relative a supratensiunii fază – pământ:** care reprezintă raportul dintre valoarea de vârf a unei supratensiuni între fază și pământ și valoarea tensiunii fază – pământ, corespunzătoare tensiunii celei mai ridicate a rețelei,
- **valoarea în unități relative a supratensiunii între faze :** care reprezintă raportul dintre valoarea de vârf a unei supratensiuni între faze și valoarea tensiunii fază – pământ, corespunzătoare tensiunii celei mai ridicate a rețelei.

Unii autori consideră că normarea unor indicatori pentru impulsurile de tensiune și mai ales garantarea lor în punctele de livrare nu este posibilă fiindcă:

- nu există suficiente date cu privire la impulsurile de tensiune (mai ales pentru rețele aeriene de 0,4 kV), iar datele existente nu sunt suficient de reprezentative pentru a constitui o bază de normare,
- impulsurile de tensiune garantate la punctul de livrare a energiei electrice nu pot fi mai mici ca tensiunea de străpungere a descărcătorului, iar normele determinate de rigiditatea dielectrică a izolației nu pot fi eficient utilizate pentru aprecierea CEE.

**Exemplu:** impulsurile de trăsnet în rețelele aeriene de 220/380 V sunt limitate de descărcătoare la 10 – 12 kV, iar cele de comutație la 4,5 kV în timp ce compatibilitatea electromagnetică a unor echipamente electronice se asigură pentru impulsuri de cel mult 500 – 1000 V, valori care nu pot fi garantate de furnizor, deci nu pot fi înscrise într-un standard al calității energiei electrice, dar nici frecvența impulsurilor de trăsnet nu poate fi normată.

## **2. ASPECTE DE LEGISLAȚIE, STANDARDE ȘI NORMATIVE EUROPENE ȘI NAȚIONALE, PERSPECTIVE**

Preocuparea crescândă din ultimii ani, atât din partea consumatorilor, cât și din partea companiilor de electricitate, privind calitatea energiei, s-a manifestat prin elaborarea unui număr important de standarde, norme, recomandări practice și ghiduri privind indicatorii CEE

Aceste documente urmăresc în general, introducerea unor mărimi de control și aprecierea limitelor acestora, dar la fel de bine pot oferi o estimare cantitativă a celor mai grave situații apărute în practică sau pot indica procedeele de proiectare a echipamentelor și dispozitivelor de îmbunătățire a acestor indici. În funcție de prioritățile stabilite pe plan național, se pot impune cerințe suplimentare documentelor cu valabilitate internațională.

În general **un standard sau o reglementare tratează trei aspecte principale:**

- i) introducerea de mărimi de control și stabilirea de valori limită ale acestora;
- ii) precizarea metodelor de măsurare și evaluare a rezultatelor măsurării pentru verificarea încadrării în limitele impuse la punctul i);
- iii) sugerarea de măsuri care pot conduce la încadrarea în limitele prescrise la pct.i).

### **Clasificare standarde de CEE**

#### *Standarde de sistem*

- se ocupă de legătura surselor de perturbații cu sistemul;



- sunt importante pentru companiile de electricitate.  
*Standarde de echipament*
- se ocupă de emisia perturbațiilor de către echipamente sau de susceptibilitatea echipamentelor la perturbații;
- sunt importante pentru producătorii de echipamente și pentru consumatori.

### Organisme abilitate cu elaborarea de standarde

*Comisia Internațională de Electrotehnică CEI*, în afara recomandărilor generale referitoare la tensiuni nominale și frecvențe nominale, a elaborat un set de normative, clasificate pe categorii de echipamente electrice, electronice, aparataj de măsurat etc., în care sunt prezentate cerințele de bază privitoare la calitatea energiei electrice generată/utilizată de către aceste echipamente:

- publicația CEI nr. 38 recomandă ca, în condițiile normale de distribuție, tensiunea în punctul de livrare să nu difere față de tensiunea nominală cu mai mult de  $\pm 10\%$ ,
- publicația CEI nr. 196 stabilește frecvențele nominale, fără a indica abaterile admisibile. Aceste abateri se găsesc în recomandările specifice ale unor categorii de echipamente, care trebuie să lucreze în condiții de siguranță deplină și în cazul unor abateri ale frecvenței față de valoarea nominală.

#### CEI

Comitete/sub-comitete tehnice	Domeniu de activitate
CT 77 – "Compatibilitate electromagnetica" SC 77A – "Fenomene de joasă frecvență" SC 77B – "Fenomene de înaltă frecvență" SC 77C – "Fenomene tranzitorii de mare putere"	Elaborează standarde și rapoarte tehnice în domeniul CEM, cu un accent deosebit pe aspectele destinate aplicării acestora de către comitetele tehnice de produs și pe aplicarea Directivei CEM și a altor directive ale EC care conțin referiri la CEM. • Publicații de bază: - terminologie, fenomenologie (61000-1-XX); - mediu electromagnetic (61000-2-XX); - metode de încercare și măsurare (61000-4-XX); • Standarde generice (61000-6-XX) • Standarde de familie de produse (61000-3-XX)
SC 47A – "Dispozitive semiconductoare – Circuite integrate"	Elaborează standarde CEM de produs / familie de produse sau cerințe CEM incluse în standardele care intră sub incidența respectivului CT/SC
CT 57 – "Managementul sistemelor energetice"	
SC 65A – " Măsură și comandă în procesele industriale – Aspecte de sistem"	

#### CENELEC

Comitete/sub-comitete tehnice	Domeniu de activitate
CT 210 – "Compatibilitate electromagnetica"	Elaborarea de standarde și rapoarte tehnice în domeniul compatibilității electromagnetice (CEM), cu accent pe aspectele destinate aplicării acestora de către comitetele tehnice de produs și

	pe aplicarea Directivei CEM și a altor directive ale EC care conțin referiri la CEM. Coordonarea activității CEM în cadrul CENELEC
--	--

### ETSI

Comitete/sub-comitete tehnice	Domeniu de activitate
CT ERM – "Compatibilitate electromagnetică și probleme ale spectrului radio"	Comitet tehnic orizontal responsabil cu elaborarea standardelor CEM armonizate în legătură cu Directiva EMC

### ASRO

Comitete/sub-comitete tehnice	Domeniu de activitate
CT 30 – "Compatibilitate electromagnetică"	Elaborarea de standarde și rapoarte tehnice în domeniul compatibilității electromagnetice (CEM), cu un accent deosebit pe armonizarea standardelor române cu cele elaborate de CENELEC (CT210)
CT 6 – "Radiocomunicații"	Elaborează standarde CEM de produs / familie de produse, armonizate cu cele elaborate de CEN, CENELEC sau ETSI în domeniul de activitate al comitetului respectiv
CT 23 – "Măsură și comandă în procesele industriale"	

### EXEMPLE NORME ȘI STANDARDE

IEC 50161:1990, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - cap. 161: Electromagnetic compatibility.

IEC 1000-3-2:1994, Compatibilité électromagnétique Part 3: Limites Section 2: Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils  $\leq 16A$  par phase).

IEC 1000-3-6:1996, Compatibilité électromagnétique Partie 3: Limites Section 6: Evaluation des limites d'émission pour les charges déformantes raccordées aux réseaux MT et HT.

IEC 1000-4-7:1991, Compatibilité électromagnétique Partie 4: Techniques d'essai et de mesure Section 7: Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés.

IEC 1000-3-7, Electromagnetic compatibility Part 3: Limits – Section 7: Assesment of emission limits for fluctuating loads in MV and HV power systems, 1996-10

SR EN 50160:1998, Caracteristicile tensiunii furnizate de rețelele publice de distribuție

IEEE Std 519 : 1995, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems

UNIPEDA Report on EMC co-ordination in electrical supply systems Norcomp 85, 3rd draft, December 1993.

NR 5048 - DRAFT 7 Electricity Transmission and Distribution - Minimum Quality of Supply Standards NRS June 1996.

SR CEI 61000-4-7:2000, Compatibilitate electromagnetică Partea 4: Tehnici de încercare și de măsurare Secțiunea 7: Ghid general relativ la măsurarea armonicilor și interarmonicilor ca și la aparatele de măsurare, aplicabil în rețeaua de alimentare și pentru echipamentul conectat la aceasta.

Condițiile actuale de dezvoltare și schimb de mărfuri între țări au dus la intensificarea eforturilor de elaborare a unor standarde internaționale privind armonicile și interarmonicile: exemplu, seria de standarde în domeniul compatibilității electromagnetice IEC 61000, incluzând armonici și interarmonici sau standardul IEEE 519: 1992 care furnizează recomandări doar asupra armonicilor, sunt două din cele mai importante documente în acest domeniu.

### ***EN 50160***

Satisfacerea limitelor parametrilor CEE trebuie verificată pentru toate intervalele limitate (ex. intervale de 10 min) pe durata unei anumite perioade (ex. 1 săptămână). Când un anumit parametru se încadrează în limite într-un procent cerut din intervalele constituite ale acestei perioade (ex.95%) se consideră că satisface cerința impusă pentru întreaga perioadă.

La evaluarea parametrilor CEE în sisteme trifazate trebuie precizat că intervalele de încadrare în limite sunt doar acelea în care aceasta se face pentru toate cele trei faze simultan (o evaluare individuală a celor trei faze nefiind aplicabilă).

### ***Standardele de calitate a energiei IEC***

Aceste documente au fost propuse ca urmare a întâlnirilor de lucru a Comitetului de acțiune IEC din 1996, privind calitatea energiei în rețelele electrice de medie și joasă tensiune, materializate într-un set de standarde IEC, publicate în seria IEC 1000-X-X.

#### **IEC 61000-2-1**

Definește armonicile. Precizează principalele surse de armonici.

Curenții armonici sunt generați în măsură mai redusă de echipamentele de generare, transmisie și distribuție, fiind mai importanți dacă provin de la consumatori. Saturarea miezului transformatoarelor reprezintă principala sursă de armonici din categoria echipamentelor la furnizorii de energie, dar și creșterea utilizării sistemelor de transmisie flexibile de c.a. FACTS va aduce contribuții importante la conținutul de armonici.

Cele mai poluante sarcini industriale sunt convertoarele de putere. Cuptoarele de inducție și cele cu arc contribuie de asemenea semnificativ la distorsiuni. Puterile mici la consumatori, volumul mare și distribuit de consumatori rezidențiali conectați simultan, pe perioade lungi, determină cumulativ distorsiuni importante în sistem.

IEC 61000-3-2 (1998) și IEC 61000-3-4 (1998) precizează limitele de emisie armonică pentru echipamente cu curent de intrare  $\leq 16$  A / fază.

#### **IEC 61000-4-7**

Reprezintă principalul standard IEC privind armonicile. Descrie tehnicile de măsurare a armonicilor în SEE. Pentru a formula cerințele privind instrumentele de măsură, împarte armonicile în trei categorii:

- cvasi-staționare (variație lentă);
- fluctuante;
- cu variație rapidă.

Acoperă instrumentele care lucrează atât în domeniul timp, cât și în domeniul frecvență, dar face referire doar la tehnicile în domeniul frecvență, bazate pe FFT (Transformata Fourier Rapidă).

Standardul recomandă 5 intervale de măsură pentru determinarea conținutului de armonici:

- interval de foarte scurtă durată ( $T_{vs}$ ): 3 s

- interval de scurtă durată ( $T_{sh}$ ): 10 min
- interval de lungă durată ( $T_L$ ): 1 h
- interval de 1 zi ( $T_D$ ): 24 h
- interval de 1 săptămână ( $T_W$ ): 7 zile.

Dacă sunt considerate importante efectele instantanee, trebuie înregistrată valoarea maximă a fiecărei armonici și trebuie calculată probabilitatea cumulativă (la cel puțin 95% și 99%) a acestor maxime. Dacă sunt urmărite efectele termice pe durate lungi, vor fi calculate și înregistrate maximele valorilor efective ale fiecărei armonici și probabilitățile lor cumulative (la 1%, 10%, 50%, 90%, 96% și 99%).

$$C_{n,ef} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^M C_{n,k}^2}{M}} \quad (14)$$

Pentru caracterizarea nivelului complet al armonicilor de curent și tensiune din sistem sunt propuși și câțiva factori de distorsiune, față de evaluarea statistică a conținutului de armonici.

### IEC 519

Identifică principalele surse de armonici în sistem. Include curbele distorsionate tipice acestor echipamente și informațiile complete legate de spectrul lor armonic. Descrie răspunsul sistemului (de distribuție și transport) în prezența poluării armonice. Face referire la efectele distorsiunilor armonice asupra funcționării diferitelor dispozitive sau sarcini. Este discutată interferența cu rețelele de telefonie, fiind menționate câteva metode de reducere a acesteia.

Sunt descrise metodele de analiză și cerințele de măsurare pentru determinarea nivelului conținutului de armonici în SEE. Sunt prezentate pe scurt metodele de calcul al armonicilor de curent, al răspunsului în frecvență al sistemului și de modelare a diferitelor componente de sistem.

Evidențiază măsurile de compensare și importanța lor și enumeră principalele echipamente de monitorizare disponibile actualmente. Precizează cerințele de precizie și selectivitate ale acestor echipamente.

Include metodele de proiectare a compensării puterii reactive în sistemele funcționând în regim deformant și sunt precizate principalele tehnici de reducere a armonicilor de curent în SEE.

Oferă recomandări de evaluare a noilor surse de armonici prin măsurări, modelare detaliată și simulări (exemple de aplicare).

### IEC 1000-3-7

Prevede criteriile de evaluare a flicker-ului, cu următoarele valori planificate pentru indicatorii  $P_{st}$  și  $P_{lt}$ :

	Niveluri planificate	
	<i>m.t.</i>	<i>î.t./f.î.t.</i>
$P_{st}$	0,9	0,8
$P_{lt}$	0,7	0,6

- Măsurările trebuie efectuate conform prevederilor Std. IEC 868 cu o durată minimă de 1 săptămână.
- Valorile planificate nu reglementează flicker-ul generat de evenimente necontrolabile: defecte în sistemul electroenergetic.

- Este recomandată o comparare a valorilor 99% și 95%. Dacă  $\frac{P_{99\%}}{P_{95\%}} > 1,3$  fie trebuie investigat motivul discrepanței, fie este necesară eliminarea unor rapoarte anormale (ex. valorile generate de defecte în sistem).

Funcțiile probabilistic cumulative ale indicatorilor  $P_{st}$  și  $P_{lt}$  trebuie obținute pe baza valorilor  $P_{st}$  măsurate pe durata săptămânii de monitorizare, rezultând valorile procentuale  $P_{st}$  95%,  $P_{st}$  99%,  $P_{lt}$  95%,  $P_{lt}$  99%.  $P_{st}$  99%,  $P_{lt}$  99% nu trebuie să depășească nivelurile planificate.

Însă, deoarece în lipsa eliminării rapoartelor anormale nu este posibilă o comparare corectă a flicker-ului în diferite noduri din rețea, mențiunea „este recomandată” ar trebui înlocuită cu „este necesară”.

## 2.1. Reglementări tehnice naționale privind calitatea energiei electrice

- 1) **SR EN 61000-3-2:2006** "Compatibilitate electromagnetica (CEM). Partea 3-2: Limite - Limite pentru emisiile de curenti armonici (curent de intrare al echipamentelor  $\leq 16$  A pe fază)"
- 2) **SR EN 61000-3-3:1998/ A2:2006** "Compatibilitate electromagnetica (CEM). Partea 3-3: Limite - Limitarea variatiilor de tensiune si a flickerului în rețelele publice de alimentare de j.t., pentru echipamente având un curent nom. 16 A/faza si nesupuse unui racord conditionat"
- 3) **SR EN 61000-4-3:2006** "Compatibilitate electromagnetica (CEM). Partea 4-3: Tehnici de încercare și măsurare - Încercări de imunitate la câmpuri electromagnetice de radiofrecvență, radiate"
- 4) **SR EN 61000-6-2:2006** "Compatibilitate electromagnetica (CEM). Partea 6-2: Standarde generice. Imunitate pentru mediile industriale"
- 5) **SC 77A "Fenomene de joasă frecvență"**
- 6) **CEI 61000-2-14** "Supratensiuni în rețelele publice de distribuție a energiei electrice"
- 7) **CEI 61000-3-6** "Evaluarea emisiei de armonici în vederea conectării unor instalații perturbatoare în rețelele de FÎT, ÎT, și MT" (77A/575/DTR)
- 8) **CEI 61000-3-7** "Evaluarea limitelor de emisie în vederea conectării sarcinilor fluctuante la rețelele de FÎT, ÎT, și MT" (77A/576/DTR)
- 9) **CEI 61000-3-13** "Evaluarea limitelor de emisie în vederea conectării sarcinilor dezechilibrate la rețelele de FÎT, ÎT și MT" (77A/577/DTR)
- 10) **CEI 61000-4-30** "Metode de măsurare a indicatorilor de calitate a energiei" (77A/552/CD)
- 11) **SC 77B "Fenomene de înaltă frecvență"**
- 12) **CEI 61000-4-33:2005** "Metode de măsurare a parametrilor fenomenelor tranzitorii de mare putere"
- 13) **CEI 61000-2-13:2005** "Mediul electromagnetice pentru HPEM – perturbații conduse și radiate"
- 14) **PE 143 : 2001**, Normativ pentru limitarea regimului nesinusoidal și nesimetric. C.N. Transelectrica (Conform IEC 1000-2-2, 1000-3-4, 1000-3-6)
- 15) **PE 142**, Normativul privind combaterea efectului de flicker în RE (Cf. IEC 100-3-7)
- 16) **STAS 930**, Rețele electrice. Tensiuni nominale și abateri admisibile