

## CONDIȚIILE DE CALITATE ÎN ALIMENTAREA CU ENERGIE ELECTRICĂ A CONSUMATORILOR

### DEFINIȚII

**Calitatea energiei electrice:** termenul a fost propus în S.U.A. de IEEE și reprezintă conceptul alimentării și legării la pamânt 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 aparute în SEE.

**Compatibilitate electromagnetică (*electromagnetic compatibility*):** termenul este utilizat de CEI și reprezintă aptitudinea unui echipament sau sistem de a funcționa satisfăcător în mediul sau 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:** reflectă relația furnizor – consumator; are o componentă tehnică – calitatea tensiunii - și o componentă care reflectă relațiile cu consumatorul – calitatea serviciilor.

**Calitatea consumului:** reflectă relația consumator-furnizor; se referă la calitatea curentului, corectitudinea în plata facturii electrice, etc.

**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 frecvența 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.

**Nivel de compatibilitate (electromagnetica)** = 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.

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

**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 ( $P_{lt}$ ) calculată într-o secvență de 12 valori  $P_{st}$ - într-un interval de 2 ore, conform relației :

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

**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. Înteruperile 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 – descărcări atmosferice, arderea fuzibililor).

**Tensiune armonică** = o tensiune sinusoidală cu frecvență egală cu un multiplu întreg al frecvenței fundamentale a tensiunii de alimentare.

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

**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:

- trazețe
- 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 ca sarcinile se modifica permanent, iar generatoarele sunt astfel reglate încât sa mentina 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
- rezonante în sistem

### **NOTIUNI GENERALE**

**Calitatea** reprezintă capacitatea unui produs sau serviciu de a satisface necesitățile utilizatorului. Calitatea serviciului de alimentare cu energie electrică este determinată de următorii factori:

- siguranța în funcționare a instalației, asigurată prin continuitatea în alimentare cu energie electrică;
- calitatea energiei electrice furnizate la punctul racord, de delimitare între consumator și furnizor;
- compatibilitatea electromagnetică a instalațiilor cu mediul în care funcționează.

Calitatea serviciului de alimentare cu energie electrică depinde nu numai de furnizor, ci și de consumatorii racordați la aceeași rețea de alimentare. Creșterea ponderii receptoarelor perturbatoare la unii abonați obligă ceilalți consumatori să suporte o parte din acțiunea negativă a perturbațiilor transmise prin rețea și care pot influența procesul tehnologic.

De aceea se impune promovarea unei politici a calității energiei electrice și nu numai, cu limita impactului instalațiilor electrice asupra mediului.

**Compatibilitatea electromagnetică** are în vedere perturbațiile datorate rețelelor de curent alternativ asupra instalațiilor electrice și omului. Aceste perturbații se manifestă prin influența electrostatică, care este în funcție de valoarea tensiunii și a capacității sistemului influențat, și inducția electromagnetică datorată curentului alternativ și cuplajului care există între rețeaua de forță și buclele create. Tensiunile care rezultă în circuitele de curenți slabi pot crea pericole pentru personalul de exploatare, încălziri suplimentare, zgomote și anomalii de funcționare (greșeli de selectare în circuitele de telecomunicații, bruiaj, comenzi intempestive). Se impune cunoașterea acestor fenomene, a situațiilor în care apar, pentru a putea lua măsurile corespunzătoare încă din faza de proiectare, la execuție și exploatare. Se va acorda, de asemenea, atenția cuvenită supratensiunilor ( interne de comutație și atmosferice ) și modului de protecție împotriva acestora, probleme care fac obiectul prescripției PE 109/92.

### **TENSIUNEA DE ALIMENTARE**

**Tensiunea constantă**, ca valoare eficace și ca formă (de undă ) a semnalului, constituie o primă condiție pentru orice tip de receptoare.

Este recomandabil de tensiunea la bornele receptoarelor să fie constantă și egală cu cea nominală sau variațiile posibile să se încadreze în limitele precizate pentru fiecare receptor în parte. În exploatarea instalațiilor electrice apar variații de tensiune, cauzate de consumator, datorită variațiilor de sarcină sau scurtcircuitelor. Aceste variații pot fi lente, cauzate de modificarea de timp a încărcării receptoarelor, sau rapide, cauzate de scurtcircuite sau de modificări rapide ale sarcinii, inclusiv celor datorate conectărilor-deconectărilor de la receptoare.

Se folosește denumirea de **gol de tensiune** orice scădere a valorii eficace a tensiunii unei rețele electrice cu o amplitudine cuprinsă între o valoare minimă sesizabilă (cca.  $0,2 U_n$ ) și  $U_n$  pentru o durată de cel mult 3s.

Dintre receptoarele și instalațiile sensibile la globuri de tensiune fac parte:

- motoarele și compensatoarele sincrone;
- motoarele asincrone (în funcție de caracteristica cuplului rezistent);
- echipamentele electronice, inclusiv redresoare comandate;
- conectoarele din circuitele de forță de 0,4 KV și cele din circuitele secundare;
- echipamentele de automatizări, protecții, blocajele și reglajele din circuitele tehnologice.

O diminuare cu caracter permanent a valurii tensiunii poate fi consecința subdimensionării secțiunii conductoarelor, situație cu urmări negative: suprasolicitare termică a receptoarelor și conductoarelor, ce poate duce la distrugerea izolației electrice și nefuncționarea echipamentului.

Tensiunile de alimentare mai mari decât cele nominale determină străpungerea izolației, funcționarea în suprasarcină a unor receptoare de forță și reducerea duratei de viață a receptoarelor de iluminat.

**Frecvența constantă** a tensiunii de alimentare constituie un deziderat major atât pentru buna funcționare a receptoarelor și menținerea preciziei aparatelor de măsură, cât și pentru mașinile de lucru antrenate cu motoare de curent alternativ. Variațiile frecvenței pot fi cauzate de variații de sarcină sau de avarii grave în sistem, originea unor asemenea cauze putând fi și consumatorii de energie electrică.

Menținerea constantă a frecvenței industriale (50 Hz) este o problemă la nivel de sistem energetic, fiind legată de puterea în rezervă din centralele electrice ale sistemului și de operativitatea dispecerului. În anumite situații, când posibilitățile de producere a energiei electrice în centrale sunt limitate, se decide întreruperea alimentării unor consumatori (sacrificarea consumatorilor) în scopul menținerii frecvenței în sistem.

Abaterile maxim admise ale frecvenței sunt de  $\pm 0,5$  Hz.

**Efectul de flicker.** Funcționarea unor receptoare este însoțită în unele momente de fluctuații de tensiune, care au ca efecte variația vizibilă a fluxului luminos emis de sursele de iluminat, deformarea imaginii televizoarelor, deranjarea funcționării unor instalații electronice. Aceste efecte pot avea influență directă asupra oamenilor din incintă, producând stres și oboseală putând duce la scăderea productivității muncii și chiar la accidente.

**Flickerul** constă în fluctuații de tensiune periodice sau aleatorii, cauzate în principal de funcționarea cu șocuri de puterea reactivă a unor receptoare care pot provoca efectele menționate anterior.

**Doza de flicker** ( $f$ ) este definită în relația:

$$f = \int_0^T a_{10}^2 dt, \quad (1.1)$$

unde:  $a_{10}^2$  este fluctuația sinusoidală cu frecvența de 10 Hz, echivalentă cu fluctuația reală a tensiunii care prezintă amplitudini și frecvențe aleatorii și se calculează cu relația:

$$a_{10}^2 \sum g_i^2 * a_i^2 \quad (1.2)$$

în care:  $a_i$  - amplitudinea fluctuației de frecvență  $i$ ;  $g_i$  - coeficienți ce depind de frecvență, determinați experimental.

Aceștia se pot determina cu echipamente de măsură specializate - flickermetre.

Pentru receptoarele care funcționează cu șocuri se determină fluctuațiile de tensiune în funcție de frecvența șocurilor, cu relația:

$$\Delta U_{fi} = \frac{Q_{soc,i}(MVar)}{S_K(MVA)} \cdot 100(\%) \quad (1.3)$$

în care:  $Q_{SOC,i}$  - șocul cu puterea respectivă produs cu frecvența  $i$ , recalculat pentru bara critică;  $S_k$  - puterea aparentă de scurtcircuit minimă în punctul comun de racord.

Pentru a putea fi conectat la o rețea, curba fluctuațiilor de tensiune a receptorului analizat trebuie să fie sub curba limită de iritabilitate, prezentată în figura 1.1.

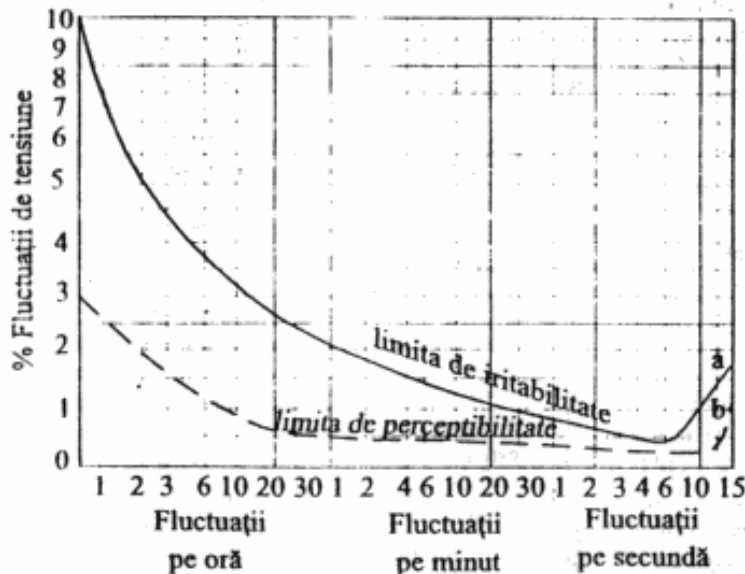


Fig.1.1 Curba limită de iritabilitate (a) și perceptibilitate (b) în cazul fluctuațiilor de tensiune

Pentru cuptoarele cu arc electric se calculează *factorul de acceptabilitate* ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{S_t}{S_k} = 0.02 \dots 0.026 \quad (1.4)$$

în care:  $S_t$  - puterea aparentă a transformatorului de alimentare a cuptorului (MVA);  $S_k$  - puterea de scurtcircuit pe bara de racord.

Pentru *combaterea* efectului de flicker se utilizează: bobine cu reactanță montate în circuitul de alimentare, mărirea puterii de scurtcircuit a rețelei în punctul de racord, creșterea tensiunii de racord, utilizarea unor compensatoare statice pentru compensarea dinamică a șocurilor de putere reactivă, exploatarea corespunzătoare tehnologic.

### **REGIMUL DEFORMANT ȘI DEZECHILIBRAT**

Problema *forme de undă* a tensiunii se pune atât în cazul receptoarelor alimentare în curent continuu, cât și în cazul celor alimentare în curent alternativ.

Tensiunea continuă la bornele receptoarelor de curent continuu poate să conțină o serie de armonici, mai ales dacă sursa de tensiune este un redresor semicomandat sau comandat. Conținutul de armonici este limitat în funcție de efectele acestora asupra receptoarelor, prin precizia coeficientului de distorsiune admis.

Cauzele distorsiunii unde sinusoidale de tensiune se găsesc în cea mai mare parte la consumator. În timp ce o serie de echipamente cum sunt bobinele cu miez feromagnetic, receptoarele cu arc magnetic și mutatoarele, reprezintă surse de armonici de tensiune și curent, echipamentele reactive de circuit ca bobinele și condensatoarele constituie amplificatoare de armonici de tensiune, respectiv de curent.

Abaterile de la forma sinusoidală a unde de tensiune determină funcționarea receptorilor de curent alternativ în regim deformant. În timp ce la unele receptoare, cum sunt cuptoarele cu inducție, prezența harmonicilor în unda de tensiune nu deranjează, la altele, printre care și motoarele

electrice, prezența armonicilor de tensiune trebuie limitată prin precizarea coeficientului de distorsiune admis.

Se definesc mai multe mărimi.

- *Rangul armonicii* ( $n$ ) este raportul dintre frecvența armonicii și frecvența fundamentalei.
- *Nivelul armonicii* ( $\gamma$ ) este raportul, în procente, dintre valoarea eficace a armonicii considerate ( $Y_n$ ) și valoarea eficace a fundamentalei ( $Y_1$ ):

$$\gamma = \frac{Y_n}{Y_1} \cdot 100(\%), \text{ deci}$$

$$\gamma_n = \frac{U_n}{U_L} \cdot 100(\%) \text{ pentru unde de tensiune și} \quad (1.5)$$

$$\gamma_I = \frac{I_n}{I_1} \cdot 100(\%) \text{ pentru unde de curent.}$$

- *Reziduul deformant* al unei unde periodice nesinusoidale este unda care rezultă suprimând din unda dată ( $Y$ ) fundamentala ( $Y_1$ ) și componenta continuă ( $Y_0$ ).

$$Y_d = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} Y_n^2}, \text{ deci}$$

$$U_d = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} U_n^2} \text{ pentru tensiune și} \quad (1.6)$$

$$I_d = \sqrt{\sum_{n=2}^{40} I_n^2} \text{ pentru curent.}$$

*Coeficientul de distorsiune* ( $\delta$ ) al unei nesinusoidale, reprezintă raportul, în procente, dintre valoarea eficace a reziduului deformant ( $Y_d$ ) și valoarea eficace a unei fundamentale ( $Y_1$ ). Se poate scrie:

$$\delta_U = \frac{U_d}{U_1} \cdot 100(\%), \quad (1.7)$$

$$\delta_I = \frac{I_d}{I_1} \cdot 100(\%),$$

*Puterea deformantă* ( $D$ ) este dată de relația:

$$D = \sqrt{U_1^2 \cdot I_d^2 + U_d^2 \cdot I_1^2 - 2 \cdot U_1 \cdot I_n \cos(\varphi_I - \varphi_n)} \quad [VAr] \quad (1.8)$$

Acești parametri se pot determina prin descompunerea în serie Fourier a expresiei formelor de undă măsurate sau prin utilizarea unor echipamente specializate de achiziție și prelucrare automată a datelor cu afișare pe ecranul calculatorului a parametrilor și formei de undă a semnalelor măsurate.

Dacă în instalațiile de raport ale consumatorilor se depășesc nivelele limită admise pentru parametrii regimului deformat, trebuie luate măsurile tehnice de limitare a acestora, conform normativelor în vigoare, pentru reducerea efectelor regimului deformant și a reducerii influenței acestora asupra rețelei electrice de alimentare.

**Regimul nesimetric.** Simetria tensiunilor este condiția în baza căreia sistemului tensiunilor de fază trebuie să-i corespundă trei fazori egali și defazați cu  $120^\circ$ . Cauzele nesimetriei sunt pe de o parte instalațiile de producere și transport, independente de consumator, iar pe de altă parte sarcinile dezechilibrate ale consumatorilor.

Consecințele nesimetriei tensiunilor se studiază prin metoda componentelor simetrice, cu ajutorul căreia se determină componentele directe, inverse și homopolare. Ultimele două sunt cauzele unor cupluri de frânare, respectiv încălzire și vibrații la motoarele de curent alternativ.

Parametrii ce caracterizează mărimile armonice nesimetrice într-un nod electroenergetic sunt:

a) Coeficientul de nesimetrie negativă:

$$k_- = \frac{A_-}{A_+}; \quad k_{U_-} = \frac{U_-}{U_+}; \quad k_{I_-} = \frac{I_-}{I_+}; \quad (1.9)$$

b) Coeficientul de nesimetrie zero:

$$k_0 = \frac{A_0}{A_1}; \quad k_{U_0} = \frac{U_0}{U_1}; \quad k_{I_0} = \frac{I_0}{I_1}; \quad (1.10)$$

în care:  $A_1$ -este fundamentală tensiunii sau curentului.

$A_2$ - este componenta de succesiune inversă a tensiunii sau curentului;

$A_0$ - este componenta de succesiune homolară a tensiunii sau curentului.

Valorile limită admise pentru coeficientul de disimetrie sunt:

- 2% pentru joasă și medie tensiune; stații electrice de cale ferată ;
- 1% pentru înaltă tensiune.

### **SIGURANTA ÎN FUNCIONARE**

*Continuitatea în alimentarea cu energie electrică a consumatorilor* reprezintă cea mai importantă condiție calitativă.

În funcție de natura efectelor produse de întreruperea alimentării cu energie electrică, receptoarele se încadrează în mai multe categorii.

**Categoria 0**, la care întreruperea în alimentare cu energie electrică poate duce la explozii, incendii, distrugerii grave de utilaje sau pierderi de vieți omenești. Încadrarea receptoarelor în această categorie se admite în cazul în care nu se dispune de alte forme de energie, în cazul în care acestea nu sunt justificate tehnic sau sunt prohibitive economic în comparație cu acționarea electrică, precum și în situațiile în care măsurile de prevenire de natură tehnologică nu sunt eficiente.

Se încadrează în categoria 0 instalații și echipamente ca: iluminatul de siguranță, instalațiile de ventilație și evacuarea gazelor nocive sau a amestecurilor explozive, serviciile interne ale centralelor nucleare-electrice, sălile de operație ale spitalelor, pompele de răcire ale furnalelor și cuploarelor din oțelării.

**Categoria 1**, la care întreruperea alimentării duce la dereglarea proceselor tehnologice în flux continuu, necesitând perioade lungi pentru reluarea activității la parametrii cantitativi și calitativi existenți în momentul întreruperii, la rebuturi importante de materii prime, materiale auxiliare, scule, semifabricate, la pierderi materiale importante prin nerealizarea producției planificate și imposibilitatea recuperării acesteia, la repercusiuni asupra altor unități importante sau la dezorganizarea vieții sociale în centrele urbane.

Receptoarele de categoria 1 sunt incluse în instalații tehnologice, organizate pentru producția în serie mare, în flux continuu, în instalații de ventilație, de cazare, de transport al clincherului etc.

**Categoria a II-a**, la care întreruperea alimentării determină nerealizări de producție, practic numai pe durata întreruperii, care pot fi, de regulă, recuperate. În această categorie se încadrează majoritatea receptoarelor din secțiile prelucrătoare.

**Categoria a III-a**, cuprinde receptoarele care nu se încadrează în categoriile precedente (ex. magazine, depozite, consumatori casnici și edilitari).

La stabilirea categoriei receptoarelor se ține seama de:

- cerințele de continuitate în alimentarea receptorilor;

- cerințele speciale în ceea ce privește calitatea tensiunii și a frecvenței;
- indicatorii valorici ai daunelor provocate de întreruperile în alimentarea cu energie electrică.

Clasificarea receptoarelor pe categorii, cu stabilirea duratei de realimentare, adică a duratei întreruperilor admisibile în alimentare, se efectuează de către proiectantul general, după consultarea furnizorilor de echipamente, a beneficiarului investiției și a proiectantului de specialitate.

Durata de realimentare se situează deasupra unei valori minime de 3s, corespunzând duratei de acționare a automatizării de sistem, putând ajunge chiar câteva ore, fără a depăși însă 24 h.

*Indicatorii de calitate* din punct de vedere al continuității în alimentarea cu energie electrică sunt:

- numărul mediu anual de întreruperi eliminate prin reparații;
- numărul mediu anual de întreruperi eliminate prin manevre;
- durata medie a unei întreruperi;
- numărul maxim anual de întreruperi eliminate;
- durata maximă a restabilirilor;
- durata totală medie de întreruperi pe an.

În relația furnizor-consumator vor putea exista două situații:

- a) *Furnizorul nu garantează indicatorii de siguranță*. Consumatorul are la dispoziție indicatorii medii pentru numărul de întreruperi și durata medie a unei întreruperi eliminate prin reparații.
- b) *Furnizorul dă garanții*, cu un anumit nivel de risc, pentru unul sau mai mulți indicatori:
  - numărul maxim anual de întreruperi eliminate prin reparații sau manevre;
  - durata maximă de restabilire.

Plata energiei electrice se va face în conformitate cu reglementările tarifare în vigoare la un moment dat, corespunzătoare garanțiilor preluate.

Nu se consideră întreruperi în alimentare situațiile eliminate prin automatizările de sistem (AAR, RAR și DAS centralizat), precum și golurile de tensiune. De asemenea, nu sunt în considerație întreruperile datorate unor situații catastrofale (inundații, cutremure, acte teroriste, avarii extinse în SEN). În ceea ce privește deconectarea consumatorilor prin DAS la reduceri de putere în sistem, acestea vor avea regimul stabilit la contractare (consumatorul admite sau nu deconectări intempestive, corelat cu condițiile de plată a energiei electrice).



**Aplicații**

1. În urma măsurărilor efectuate într-o substație de tracțiune feroviară 110/27,5 kV, 50 Hz a rezultat următoarea analiză armonică a undelor de tensiune și de curent:

Nr. armonicii	U=110 kV				U=27,5 kV			
	U <sub>n</sub> (kV)	γ <sub>n</sub> (%)	I <sub>n</sub> (A)	γ <sub>i</sub>	U <sub>n</sub> (kV)	γ <sub>n</sub>	I <sub>n</sub>	γ <sub>i</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	111,63	100,0	42,31	100,0	26,86	100,0	339,0	100
2	0,91	0,81	0,45	1,05	0,08	0,30	0,80	0,24
3	0,24	0,21	11,88	28,08	1,12	4,17	69,75	20,57
4	0,75	0,67	0,24	0,58	0,08	0,30	1,08	0,32

Tabel (continuare)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	1,39	1,25	6,77	16,01	1,34	4,98	37,06	10,93
6	0,76	0,68	0,28	0,67	0,09	0,30	0,95	0,28
7	0,33	0,30	4,30	10,17	1,15	4,28	28,95	8,54
8	0,77	0,69	0,28	0,66	0,07	0,28	0,97	0,28
9	0,77	0,69	3,34	8,10	1,37	5,1	32,34	9,54
10	0,74	0,66	0,23	0,54	0,07	0,28	0,08	0,24
11	1,08	0,96	4,76	11,24	2,23	8,3	41,50	12,24
12	0,71	0,64	0,21	0,50	0,07	0,28	0,82	0,24
13	1,13	1,01	5,59	13,21	0,28	1,04	5,67	1,67
14	0,68	0,61	0,23	0,55	0,07	0,28	0,94	0,28
15	0,60	0,54	1,08	2,56	0,57	2,12	4,04	1,19

Să se calculeze coeficienții de distorsiune pentru tensiune și curent.

Rezolvare:

Reziduul deformant se calculează cu relația (1.6):

Tensiunea de lucru 110 kV

Tensiunea de lucru 27 kV

$$U_{d_{110}} = \sqrt{\sum_{n=2}^{15} U_n^2} = 3,093 \text{ kV}$$

$$U_{d_{27}} = 3,14 \text{ kV}$$

$$I_{d_{110}} = \sqrt{\sum_{n=2}^{15} I_n^2} = 16,506 \text{ A}$$

$$I_{d_{27}} = 99,507 \text{ A}$$

Coeficienții de distorsiune se calculează cu relațiile (1.7):

$$\delta_{U_{110}} = \frac{U_d}{U_1} \cdot 100 = \frac{3,093}{111,63} \cdot 100 = 2,77 \% ;$$

$$\delta_{U_{27}} = 12,71 \% .$$

$$\delta_{I_{110}} = \frac{I_d}{I_1} \cdot 100 = \frac{16,506}{42,31} \cdot 100 = 39,01 \% ;$$

$$\delta_{I_{27}} = 29,35 \% .$$

Din analiza rezultatelor, prin comparație cu nivelele limită admise conform PE 143/94 rezultă încadrarea coeficientului de distorsiune pentru tensiune, dar depășirea substanțială a distorsiunii de curent, pentru rețeaua de 110 kV și depășirea nivelului admis pentru armonicile pare de tensiune de ordinul 6, 8, 10, 12. În general, în rețelele de tracțiune apar depășiri ale distorsiunilor de curent.

1.2. Măsurătorile efectuate pe barele unei stații tip racord adânc care alimentează o turnătorie au evidențiat următoarele valori:

$$\begin{aligned} U_R &= 63,8 \text{ kV} & R_S &= 112,86 \text{ kV} \\ U_S &= 63,25 \text{ kV} & U_{ST} &= 112,75 \text{ kV} \\ U_T &= 62,70 \text{ kV} & U_{RT} &= 112,86 \text{ kV} \end{aligned}$$

Să se determine coeficienții de disimetrie și asimetrie.

*Rezolvare:*

Folosind metoda componentelor simetrice s-au calculat componentele de succesiune directă, inversă și homopolară:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_{d(\text{linie})} = 109,19 \text{ kV} & U_1 &= U_{d(\text{fază})} = 63,04 \text{ kV} \\ U_2 &= U_{i(\text{linie})} = 6,908 \text{ kV} & U_2 &= U_{i(\text{linie})} = 3,988 \text{ kV} \\ U_0 &= U_h = 3,244 \text{ kV} \end{aligned}$$

Coeficientul de disimetrie se calculează cu relația (1.9):

$$k_{nsi2} = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100 = \frac{3,988}{63,04} \cdot 100 = 6,33\%$$

Coeficientul de asimetrie se calculează cu relația (1.10):

$$k_{ns0} = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100 = \frac{3,244}{63,04} \cdot 100 = 5,15\%$$

Valorile coeficienților de nesimetrie sunt superioare valorilor admise de normativul PE 143/94, CU 1% la înaltă tensiune. Dezechilibrul apare datorită cuptoarelor cu inducție alimentate bifazat.

1.3. În punctul de racord al unui consumator s-au măsurat următoarele valori caracteristice ale curenților absorbiți:  $I_R = 100 \angle 0^\circ$  A;  $I_S = 141,4 \angle 225^\circ$  A;  $I_T = 100 \angle 90^\circ$  A.

Să se determine coeficienții de disimetrie și asimetrie.

*Rezolvare:*

Aplicând metoda componentelor simetrice rezultă:

$$\begin{aligned} I_1 &= 100,72 - j28,86 = 115,51 \angle -15^\circ \text{ (A)}; \\ I_2 &= -7,73 + j28,86 = 29,87 \angle 105^\circ \text{ (A)}; \\ I_0 &= 0 \text{ A.} \end{aligned}$$

Coeficientul de disimetrie va fi:

$$k_{ns_0} = \frac{I_2}{I_i} \cdot 100 = \frac{29,87}{115,51} \cdot 100 = 25,85\%$$

Coeficientul de asimetrie va fi:

$$k_{ns_0} = \frac{I_0}{I_i} \cdot 100 = 0.$$

Se remarcă gradul ridicat de disimetrie.

1.4. Să se studieze condițiile de racordare a unui cuptor de topit cu arc electric de 1,5 t, la sistemul electroenergetic, din punct de vedere al efectului de flicker. Instalația electrică a cuptorului este racordată la bara de 6 kV a unei stații de transformare 110/6 kV printr-o bobină de șoc de 500 kVA și un transformator cu  $S_{TC}=1,2$  MVA; 6/0,1±0,18 kV. Se cunosc:  $S_{k(6\text{ kV})}=315$  MVA,  $S_{kc}=0,89$  MVA, impedanțele amonte și aval de punctul de racord:  $Z_{am}=0,32 \Omega$ ;  $Z_{av}=47,6 \Omega$ .

*Rezolvare:*

Factorul de acceptabilitate se determină cu relația (1.4):

$$\lambda = \frac{S_{kc}}{S_{k(6\text{ kV})}} = \frac{0,89}{315} = 0,0028 < 0,008.$$

Puterea de scurtcircuit minimă în punctul de racord se calculează cu relația:

$$S_{k\text{ min}} = \frac{36U_n^2}{Z_{av}} = \frac{36 \cdot 6^2}{47,6} = 27,2\text{ MVA} < 315\text{ MVA} = S_{k(6\text{ kV})}$$

Puterea maximă de scurtcircuit a instalației unui cuptor cu arc electric ce va putea fi racordat pe bara de 6kV, se calculează cu relația:

$$S_{k\text{ max.c}} = \frac{U_n^2}{36Z_{am}} = \frac{6^2}{36 \cdot 0,32} = 3,12\text{ MVA} > 0,89\text{ MVA} = S_{kc}.$$

Deci instalația cuptorului cu arc electric analizat îndeplinește condițiile impuse de PE 142/93 și CEI 555-5 pentru a fi racordată la rețeaua electrică fără a produce efect de flicker.